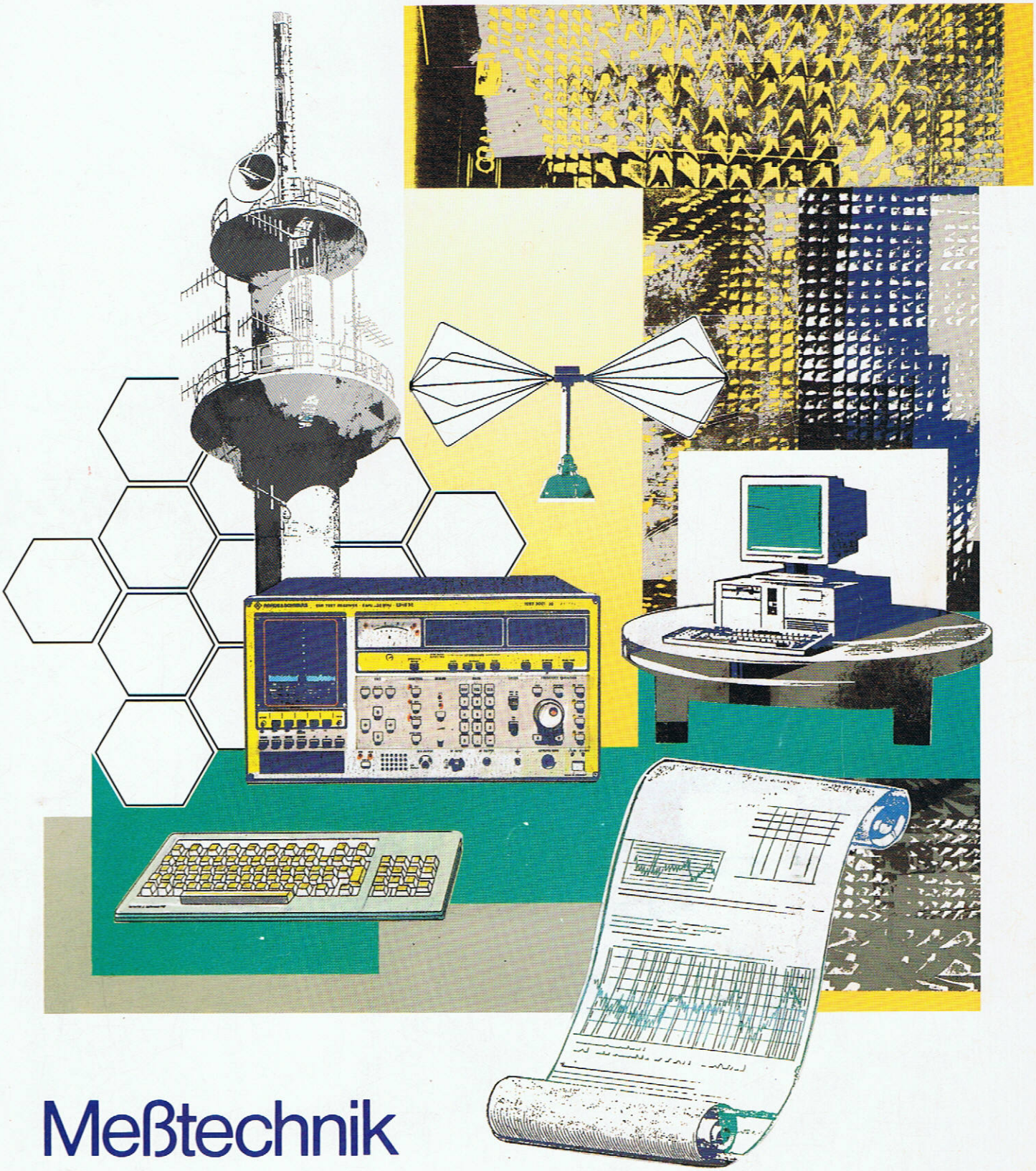
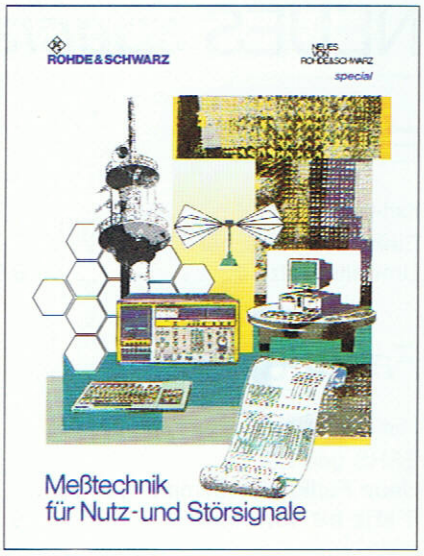
ROHDE&SCHWARZ

NEUES
VON
ROHDE&SCHWARZ

special



Meßtechnik für Nutz-und Störsignale



Alles über Nutz- und Störsignalmeßtechnik: Aufbau und Wirkungsweise der Meßempfänger von Rohde & Schwarz, Störmessungen nach CISPR, Meßverfahren und einschlägige Vorschriften, Kalibrierverfahren und Fehlergrenzen, intelligente Meßempfänger in Störmeßsystemen, EMV-Probleme und deren meßtechnische Erfassung, Software für automatische Meßempfänger, Lösungen anwenderspezifischer Meßaufgaben.

NEUES
VON
ROHDE&SCHWARZ
special

Herausgeber: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. · Mühldorfstraße 15 · 8000 München 80 · Telefon (089) 41 29-0 Telefax (089) 41 29-21 64 · Telex 5 23 703 (rs d) · Schriftleitung: Christian Rockrohr · Fotografie: Gerda Scharmann, Stefan Huber, Christian Rockrohr · Auflage deutsch/englisch 35 000 · Bezug gratis bei Angabe der Firmenzugehörigkeit oder Tätigkeit · Printed in the Federal Republic of Germany durch Rother Druck GmbH, 8000 München 19 · Nachdruck mit Quellenangabe und gegen Beleg gern gestattet. 0291 D 15

Einführung

Karl-Otto Müller
Elektromagnetischer Umweltschutz 6

Fachaufsätze

Karl-Otto Müller
ESHS und ESVS
Neue Funkstörmeßempfänger für 9 kHz bis 1000 MHz 8

Wolf Schreyer, Manfred Stecher
Automatische und manuelle Meßempfänger für 9 kHz bis 1300 MHz 13

Manfred Stecher
Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik 29

Jochen Wolle
ESAI – Erster normgerechter EMI-Meßempfänger mit zusätzlichen Spektrumanalysator-Vorteilen 35

Heinz Westenberger
Zusammenstellung Geräte und Applikationen 40

Manfred Stecher
Wozu braucht man Meßempfänger? 42

Karl-Otto Müller, Ludwig Nielsen, Dr. Christian Rohner, Josef Wolf
Fehlergrenzen und Kalibrierung von Meßempfängern und Feldstärkemeßgeräten 53

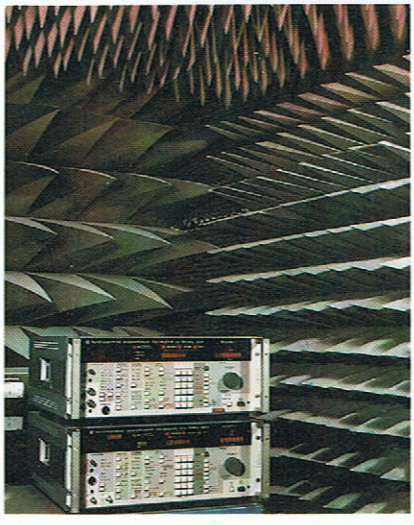
Klaus Danzeisen, Manfred Stecher
Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit den Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS 61

Karl-Otto Müller
Kommerzielle EMV-Normen und Zulassungsbestimmungen für Europa '92 65

Neue Maßstäbe auf dem Markt der Störmeßempfänger setzen die Geräte der Meßempfängerfamilie ESHS und ESVS von Rohde&Schwarz. Diese Empfänger bieten speziell für kommerzielle Funkstörmessungen kompromißlos optimierte Geräteeigenschaften (Seite 8).

◀ Der EMI-Meßempfänger ESAI kombiniert die ausgezeichneten technischen Eigenschaften der normgerechten R&S-Meßempfänger mit den Vorteilen eines Spektrumanalysators der Spitzenklasse (Seite 35).

Die nach CISPR bewertete Messung von Störimpulsen stellt vor allem im VHF- und UHF-Bereich außerordentlich hohe Anforderungen an den Meßempfänger (Seite 61).



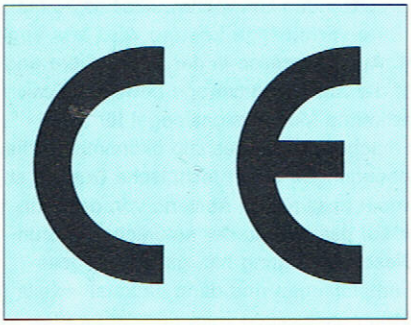
Manfred Stecher
Netznachbildungen für die Störmeßtechnik 70

Applikationen

Manfred Stecher
Meßempfängersystem EP-6 für Störmessungen nach VG-Normen und MIL-Standards 75

Manfred Stecher
Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen 77

inhalt



Der gemeinsame Europäische Markt wird zu einheitlichen Normen für die Elektromagnetische Verträglichkeit und Zulassungsverfahren führen. Der EMV wird in Europa künftig mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden müssen (Seite 65).

Rechnergesteuerte Lösungen für die Messung elektromagnetischer Störungen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 1,3 GHz stellt der Applikationsbericht ab Seite 77 vor. ▶

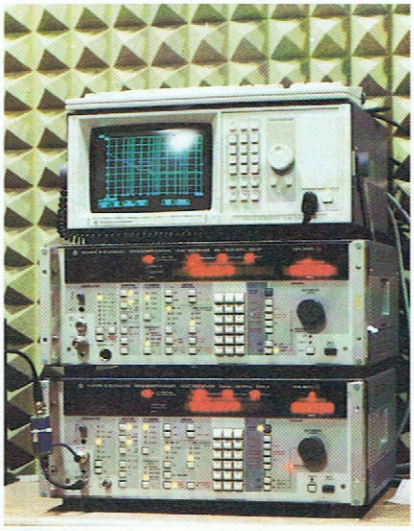
Internationale Informationsbildung vor Ort: Siebzehn Anwender in Behörden und aus der Industrie wurden über ihre Arbeit und zu ihren Erfahrungen mit Nutz- und Störsignalmeßgeräten von Rohde&Schwarz befragt (ab Seite 95).

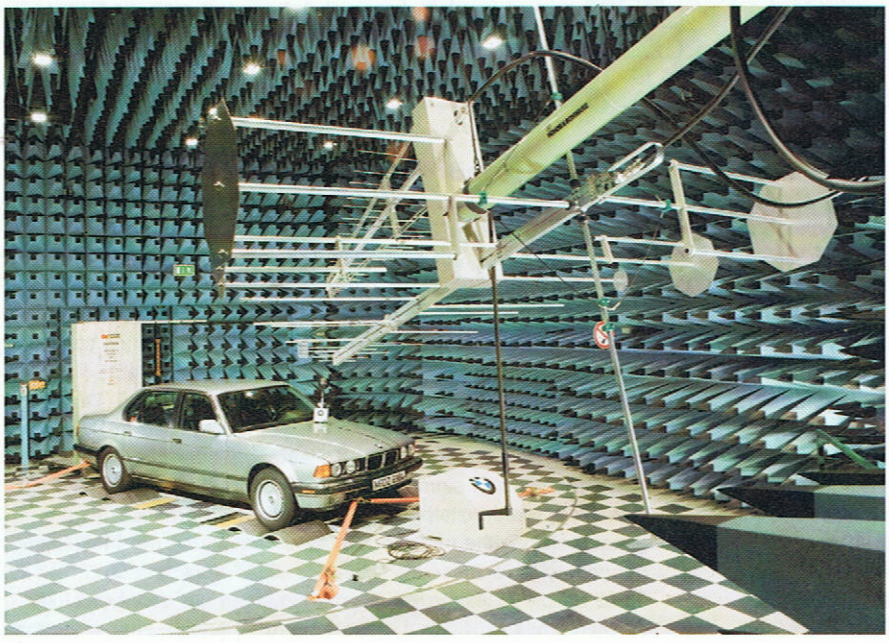
Hans-Joachim Jonas
Meßsystem für mobile Feldstärkeregistrierung 87

Franz Dosch
Feldstärkeüberwachung mit dem Monitoring-System TS 9960 90

Interviews

Das R&S-Umweltlabor Ein harter Test für Meßempfänger 93





Groß in der Energietechnik, groß in der EMV 95

EMV als Dienstleistung und wissenschaftliche Aufgabe 97

BMW gibt der EMV den richtigen Rang 98

Elektromagnetische Verträglichkeit und Auftragsforschung 99

Zu exzellentem Design gehört auch perfektes Testen 102

Im JMI-Institut sind alle Normen zu Hause 103

Störfestigkeitsmessungen sichern gutes Bild und klaren Ton 104

R&S-Meßempfänger sind rund um die Uhr im Einsatz 105

Die Gruppe Legrand baut auf Qualität 106

Die erste Europarakete gab den Anstoß 108

Mit der Large-Loop-Antenne auf Störfeldsuche 110

Störstrahlungsmessung als Teil der Typprüfung 112

In Qualität und Service den höchsten Standard bieten 113

„Human Tech" erfordert rigorose Qualitätstests 115

EMV als Werkzeug der Qualitätssicherung 116

Funkstörungs-Messungen für mehr Sicherheit und Qualität .. 117

Europas größtes und modernstes EMV-Testzentrum steht in Greding 119

Elektromagnetischer Umweltschutz

Wird das Fernsehbild durch helle oder dunkle Punkte, die über den Schirm hüpfen, „ergänzt" oder durch wabernde Moirémuster verformt, dann ist das für den Betrachter ärgerlich, ebenso, wenn die sorgfältig geplante Bandaufnahme einer UKW-Sendung durch mitaufgenommene Knackgeräusche an Pianostellen „markiert" wird. Gefährlich aber wird's, wenn der Funkverkehr von Feuerwehr und Polizei in den Straßenschluchten der Bankenviertel von Großstädten unmöglich wird, weil die Menge der hier auf engem Raum installierten Datenverarbeitungsanlagen einen solchen elektromagnetischen „Störnebel" erzeugt, daß die Funksignale der Sicherheitsdienste darin untergehen.

Das Nebeneinander von Funkdiensten aller Art, die elektromagnetische Wellen zur Informationsübermittlung benutzen, **und von technischen Prozessen,** für die elektromagnetische Energie unerwünschtes Abfallprodukt ist oder zu ganz anderen Zwecken als denen der Nachrichtenübermittlung verwendet wird, **schafft die oben angedeuteten Probleme** (BILD 1).

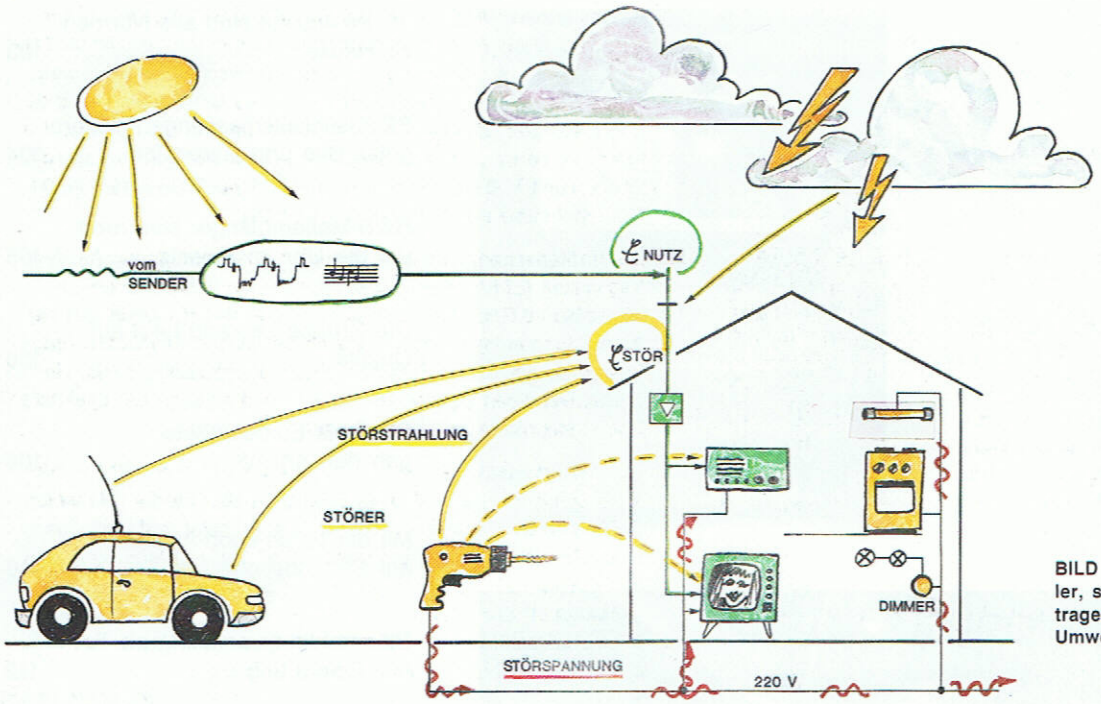


BILD 1 Nicht nur die Störstrahler, sondern auch die Nutzsender tragen zur elektromagnetischen Umweltbelastung bei.

Wie immer auf der Welt besteht auch hier die Lösung der Probleme in einem Kompromiß: Die Funkdienste, die der Kommunikation dienen, müssen mit gewissen Störungen rechnen (ein Fernsehzuschauer hat zum Beispiel nur einen Anspruch auf einen Störabstand von 40 dB an der Antenne auf seinem Hausdach), und die Aussendungen der Störer dürfen eine bestimmte Stärke nicht überschreiten, wofür im allgemeinen ein gewisser Aufwand für die Unterdrückung der Störenergie (Funkentstörung) getrieben werden muß. Es ist leicht einzusehen, daß sich hier gewichtige wirtschaftliche Interessen gegenüberstehen: Ein niedriger Funkstörpegel würde für die Lösung einer bestimmten Kommunikationsaufgabe auf dem Funkweg auch nur niedrige Senderpegel erfordern, was gleichbedeutend mit in Anschaffung und Stromverbrauch billigen Sendern wäre. Dafür wäre der Aufwand für die Funkentstörung der Störquellen entsprechend hoch. Der andere Weg: starke Sender – geringe Kosten für Maßnahmen der Funkentstörung – ist natürlich auch denkbar, wenn auch – im Zeitalter des wachsenden Umweltbewußtseins – nur mit großem Unbehagen. **Eine vernünftige Lösung wird uns von der Natur vorgezeichnet:** Auch Prozesse in der Atmosphäre und der Einfluß der Sonne auf die Ausbreitungswege bewirken Funkstörungen, die bereits bestimmte Mindestsignalpegel für den Funkverkehr erforderlich machen. Es ist deshalb ökonomisch, die Maximalwerte für Störaussendungen durch technische Quellen so festzulegen, daß sie in einem bestimmten Abstand von der Störquelle (z. B. 30 m) bereits auf das Niveau der natürlichen Störungen abgeklungen sind. Diese Überlegung hat, ganz grob gesehen, in den international empfohlenen und dann national jeweils mit Gesetzeskraft festgelegten zulässigen Funkstörgrenzwerten ihren Niederschlag gefunden. **Die gesetzlichen Grundlagen sind klar:** Die Mitgliedstaaten der ITU (International Telecommunication Union), einer Unterorganisation der UNO, haben sich – jeweils für ihr eigenes Staatsgebiet – verpflichtet, den Funkstörpegel möglichst niedrig zu halten. In der Bundesrepublik Deutschland ist nach dem sogenannten „Hochfrequenzgerätegesetz" der Betrieb aller Geräte, die gewollt oder ungewollt Hochfrequenz (10 kHz bis 3000 GHz) erzeugen, genehmigungspflichtig. Voraussetzung für eine Betriebszulassung ist immer das Einhalten maximaler Werte (Grenzwerte) für die störende Hochfrequenz, die als Störspannung, Störleistung oder Störfeldstärke zu messen sind. Ausgenommen hiervon sind nur einige schmale Frequenzbereiche (ISM-Frequenzen, ISM = Industrial, Scientific and Medical), für die keine Grenzwerte festgelegt sind. **Das Messen der Störgrößen ist wegen der undefinierten HF-Schnittstelle schwierig:** Eine Kaffeemühle oder eine Handbohrmaschine hat nun einmal keinen „HF-Störmeßanschluß". Der einzige Weg, reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten, ist die genaue elektrische und mechanische Festlegung der Meßbedingungen, wie sie zum Beispiel in der VDE*-Vorschrift 0877 Teil 1/03.89 für die Messung von Störspannungen auf den Anschlußdrähten eines Prüflings (geleitete Störung) erfolgt. Hier wird nicht

nur der seitliche Abstand des Prüflings von einer leitenden Wand (Bezugsmasse) und seine Mindesthöhe über dem Fußboden vorgeschrieben, sondern sogar, in welcher Form das Netzanschlußkabel zusammengefaltet werden muß, mit dem der Prüfling mit dem speisenden Netz verbunden wird (BILD 2). Dieses ist nicht etwa einfach eine Steckdose (das gäbe wegen der Verschiedenartigkeit der hochfrequenten Netzimpedanz bereits neue Meßunsicherheiten), sondern eine in ihrem Impedanzverlauf exakt beschriebene „Netznachbildung". Ihre Aufgabe ist aber nicht nur, dem Störer einen reproduzierbaren HF-Abschluß zu bieten, sie dient außerdem noch zur Ankopplung des Funkstör-Meßempfängers an die zum Störer führenden Leitungen und hält zum dritten Störenergie aus dem speisenden Netz von der Meßanordnung fern. **Der Funkstör-Meßempfänger,** wie er international für nichtmilitärische (und nur diese seien hier zunächst betrachtet) Funkstörmessungen verwendet wird, **berücksichtigt in seiner Anzeige den Störeindruck beim Rundfunkhörer und Fernsehzuschauer.** Störungen mit Impulscharakter werden je nach Häufigkeit der Impulse bei gleicher HF-Amplitude der Störung verschieden angezeigt: Mit sinkender Pulsfrequenz sinkt auch die Lästigkeit der Störung und damit der angezeigte Wert. Der Zusammenhang

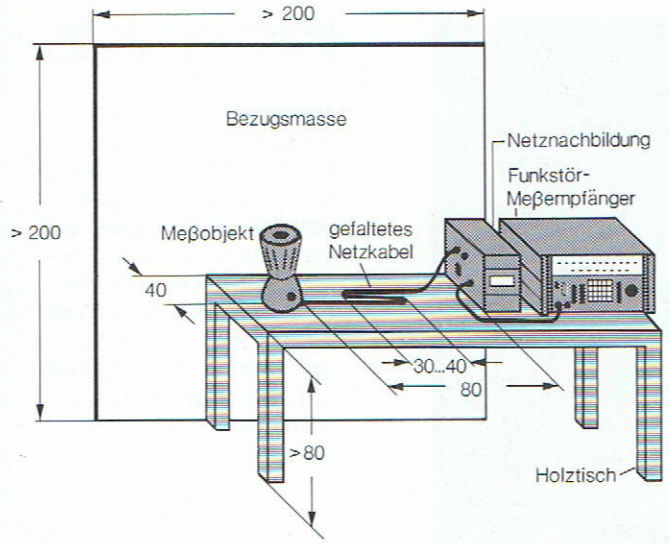


BILD 2 Anordnung zur Störspannungsmessung eines netzgespeisten „Störers". Alle Maße in cm.

zwischen Pulsfrequenz und Anzeigeänderung ist in den sogenannten „Bewertungskurven" in der CISPR**-Publikation 16 und in der VDE-Bestimmung 0876 Teil 1 festgelegt. Diese Bewertungskurven entpuppen sich bei genauem Durchdenken als anspruchsvolle Herausforderung an den Entwickler des Meßempfängers. An diesen Forderungen scheiterten alle Versuche, die Messungen mit den üblichen und heute sehr verbreiteten Spektrumanalysatoren durchzuführen: Deren Breitbandeingang kann nämlich nach heutiger physikalischer Kenntnis die notwendige Meßdynamik nie bereitstellen. Nachdem neben den Mischereigenschaften die Absolutbandbreite der notwendigen Vorselektion für die Übersteuerungsfestigkeit eines Empfängereingangs bestimmend ist, steigen die Schwierigkeiten mit wachsender Frequenz, wenn man konstante Güten der Bauelemente annimmt. Die R&S-Meßempfänger ESV und ESVP waren die ersten Geräte, die **bis 1000 MHz korrekt bewertete Messungen** – vom Einzelimpuls bis zur maximalen Pulsfrequenz von 1000 Hz – mit einem Anzeigebereich von 10 dB ermöglichten [1; 2].

Die Tatsache erhält besonderes Gewicht dadurch, daß die **Automatisierung der Meßtechnik** vor der Funkstör-Meßtechnik natürlich nicht haltmacht. Voraussetzung hierfür ist aber neben einer korrekten Anzeige ein möglichst großer Anzeigebereich ohne Empfindlichkeitsumschaltung. Die Meßempfänger ESH 3 [3] und ESVP decken mit ihrem Gesamtfrequenzbereich von 9 kHz bis 1,3 GHz den Geltungsbereich der nichtmilitärischen Funkentstörvorschriften (10 kHz bis 1 GHz) mit Reserven ab. Ihre konsequente Auslegung im Hinblick auf das Einhalten a l l e r Spezifikationen für Funkstör-Meßempfänger macht sie zu idealen Bausteinen für automatische Funkstörmeßplätze. Diese lassen sich mit geeigneten Steuerrechnern oder mit dem speziell für das Zusammenspiel mit den Meßempfängern ESH 3 und ESVP entwickelten Spectrum Monitor EZM [4] zusammenstellen. Der Spectrum Monitor EZM vereint in sich einen Spektrumanalysator zur Analyse der Meßempfänger-Ausgangssignale mit einem Spezialrechner [5], für den **leistungsfähige Softwarepakete speziell für die Funkstörmeßtechnik** verfügbar sind. Außerdem erweitert der EZM in einer Sonderausführung den Frequenzbereich nach unten bis 20 Hz. Ein derartiges automatisches Meßsystem bietet gegenüber der manuellen Messung wesentliche Vorteile: Es liefert in kürzerer Zeit vollständige und einwandfreie, d. h. nicht manipulierbar dokumentierte Meßergebnisse. Die Forderungen der unterschiedlichen Störmeßnormen werden in den jeweiligen Teilprogrammen berücksichtigt, z. B. die Unterscheidung zwischen Breitband- und Schmalbandstörungen und deren Zuordnung zu den jeweiligen Grenzwertkurven. Dabei werden die Korrekturfaktoren der verwendeten Meßwandler (Meßantennen, Stromzangen, Absorptions-Meßwandlerzangen und Netznachbildungen) in die Meßergebnisse automatisch eingerechnet.

Die (militärischen) Vorschriften für die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) erfordern Messungen im Frequenzbereich 30 Hz bis 40 GHz, jedoch liegt auch hier das Hauptgewicht der Anwendungen im Frequenzbereich der beiden erwähnten Empfänger, so daß deren Einsatz nichts entgegensteht, zumal sie mit der notwendigen Spitzenwertanzeige und Anzeige der spektralen Spannungsdichte ausgerüstet sind.

Funk-Entstörung ist elektromagnetischer Umweltschutz. Voraussetzung für die qualitative Erfassung aller hierfür relevanten Größen ist die Funkstör-Meßtechnik, ein Gebiet, auf dem das Haus Rohde & Schwarz auf mehr als 50 Jahre Erfahrung bauen kann. **R&S-Funkstör-Meßgeräte bieten neben der notwendigen Genauigkeit durch Rechnersteuerung auch ein hohes Maß an Wirtschaftlichkeit zur Erledigung der auch auf diesem Gebiet des Umweltschutzes wachsenden Aufgaben.**

Karl-Otto Müller

LITERATUR

[1] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatische Meßempfänger ESVP für 20 bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

[2] Danzeisen, K.: Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit Meßempfänger ESV. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 9 – 11.

[3] Müller, K.-O.: Amerikanische Fachzeitschrift testet Meßempfänger ESH 3. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 36.

[4] Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. Neues von Rohde & Schwarz (1986) Nr. 115, S. 8 – 12.

[5] Pohn, E.; Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM mit Controller-Funktion. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 119, S. 15 – 19.

* VDE: Verband Deutscher Elektrotechniker.

** CISPR: Comité International Special des Perturbations Radioélectriques.

Mit den Geräten der Reihen ESHS und ESVS bringt Rohde & Schwarz erstmals spezielle Empfänger für kommerzielle Funkstörmessungen auf den Markt. Aus der Konzentration auf dieses heute so wichtige Teilgebiet resultieren kompromißlos optimierte Geräteeigenschaften für diesen Anwendungsbereich. Damit setzt die neue Meßempfängerfamilie, auch hinsichtlich des Preis-/Leistungsverhältnisses, neue Maßstäbe auf dem Markt der Störmeßempfänger.

ESHS und ESVS Neue Funkstörmeßempfänger für 9 kHz bis 1000 MHz

Die Bedeutung, die der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) in der modernen Technik zukommt, ist oft genug beschrieben worden. Um die EMV sicherzustellen, müssen die elektromagnetische Störfestigkeit (EMS) und die elektromagnetische Störaussendung (EMI) aller elektronischen Einrichtungen den einschlägigen Normen genügen. Hierfür müssen die EMS und die EMI gemessen und mit den zulässigen Grenzwerten verglichen werden.

BILD 1 Vertreter einer neuen Störmeßempfänger-Generation: EMI Test Receiver ESHS 10 für den Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz; dahinter die Modellvarianten 20 und 30.

Im folgenden Beitrag stellt Rohde & Schwarz neue Geräte für die Messung der elektromagnetischen **Störaussendung** vor, die Störmeßempfänger ESHS (BILD 1) und ESVS. Mit den Meßempfängern ESH 3 und ESVP [1], die in den meisten Fällen mit dem Spektrum-Monitor EZM [2; 3] zu einem Meßsystem der Typenreihe EP-X kombiniert werden, ist Rohde & Schwarz seit Jahren weltweit erfolgreich. Sie liefern, gesteuert durch interne oder externe Rechner, **genaue Aussagen** über die Störaussendung des Meßobjekts, **übersichtlich dokumentiert** mit Hilfe von hochauflösenden Druckern oder Plottern [4]. Der notwendige technische Aufwand für diese **universellen EMI-Meßsysteme** bewirkt, daß sie vornehmlich in **Abnahmestellen großer Firmen und Behörden** sowie in speziellen **EMV-Testhäusern** eingesetzt werden. Kleinere Firmen, Wareneingangsstellen, einzelne Entwicklungslabors und mobile Dienstleistungsbetriebe arbeiten oft noch mit manuell betriebenen Geräten. Ihre Meßgenauigkeit ist im allgemeinen nicht geringer als die der rechnergesteuerten Systeme, sind diesen aber im Hinblick auf **Meßkomfort** (der sich in der Vermeidung von Meßfehlern auswirkt), **Meßgeschwindigkeit** und **Dokumentation der Meßergebnisse** weit unterlegen.

Auch bei der Funk-Entstörung gilt der Grundsatz, daß Störungen am wirkungsvollsten direkt an der Quelle, sozusagen in statu nascendi unterdrückt werden. Das bedeutet, daß die Störunterdrückung in die Produkte von Anfang an hineinentwickelt werden muß. Als Konsequenz aus dieser Erkenntnis besteht ein **wachsender Bedarf an Meßmitteln,** die bereits während einer Produktentwicklung ein genaues Bild über das Funkstörpotential eines Moduls oder eines Geräts liefern. Hier wurden bisher Spektrumanalysatoren einfachster Bauart oder handabgestimmte Meßempfänger eingesetzt. Beide Gerätearten haben ihre technischen Grenzen, die später zu unangenehmen Überraschungen während der Endkontrolle des fertigen Produkts auf einem rechnergesteuerten Meßplatz führen können.

Neue Störmeßempfänger-Generation schließt die Lücke

Die Geräte der neuen Störmeßempfänger-Generation bieten – **als reine Spezialgeräte für die kommerzielle Funkstörmessung nach CISPR 16/VDE 0876/ANSI C63.2** – für den Preis manuell zu bedienender Meßempfänger **alle Möglichkeiten der automatischen Messung** durch interne Rechner und IEC-Bus-Anschluß. Sie erfassen den **Frequenzbereich von 9 kHz bis 1000 MHz,** aufgeteilt in zwei Teilbereiche: Die Geräte mit der Typenbezeichnung **ESHS** decken den Bereich von **9 kHz bis 30 MHz** ab, während die Geräte mit der Bezeichnung **ESVS** für den Bereich von **20 MHz bis 1000 MHz** vorgesehen sind.

Drei Ausstattungsvarianten mit einheitlichem Bedienkonzept

Jede der beiden Meßempfängerfamilien ESHS (Bild 1) und ESVS besteht aus drei verschieden ausgestatteten Modellen. Schon die einfacheren Ausführungen, die Modelle **ESHS 10 und ESVS 10,** beweisen ihre Überlegenheit, wenn sie – kombiniert mit Koppelnetzwerken wie Netznachbildungen oder Meßantennen – auf einem Plotter automatisch Prüfprotokolle erstellen, die das Einhalten oder Nichteinhalten der gesetzlichen Störgrenzwerte **nach neuesten europäischen Normen** zeigen. Neuartige Algorithmen für die Datenkompression verkürzen dabei die Meßzeit wesentlich, ohne Kompromisse bezüglich der vollen Gültigkeit der Meßergebnisse einzugehen. Diese Geräte können mit internen Batterien ausgerüstet werden und eignen sich dadurch besonders für den **mobilen Einsatz** oder für Messungen bei unübersichtlichen Erdungsverhältnissen.

Die Modelle **ESHS 20 und ESVS 20 enthalten zusätzlich einen Bildschirm** zur Darstellung des Störspektrums samt zugehöriger Grenzwertlinien. Ein **3,5-Zoll-Floppylaufwerk** dient zum Speichern von Einstelldaten und Meßergebnissen.

Die Spitzenmodelle **ESHS 30 und ESVS 30** schließlich enthalten darüber hinaus einen **Mitlaufgenerator für Vierpolmessungen** und einen **ZF-Analysator** zur visuellen Beurteilung von Funkstörungen.

Zwischen Routinemessung und anspruchsvollen Meßaufgaben

Schon das Äußere der Geräte zeigt, daß hier eine Meßempfängerfamilie „aus einem Guß" angeboten wird. Ungeachtet der genannten Ausstattungsunterschiede zeichnen sie sich durch ein **einheitliches Bedienkonzept und gleiche Datenschnittstellen** aus. Die drei ESHS-Modelle und die drei ESVS-Modelle weisen – jedenfalls für die Messung von Funkstörgrößen – jeweils **die gleichen Hochfrequenzeigenschaften** auf. Sie sind also völlig gleichwertig, wenn sie beispielsweise bei einer Funkstörmessung von einem externen Rechner gesteuert werden. Die dargestellten Unterschiede wirken sich nur in der Bedienung und der Möglichkeit der Vierpolmessung (Modelle 30) aus.

Damit sind die Geräte ESHS 10 und ESVS 10 vornehmlich für **Routinemessungen** vorgesehen, während die Geräte mit den Modellnummern 20 und 30 und ihren erweiterten Bedien- und Meßmöglichkeiten vor allem für die Messung häufig wechselnder Meßobjekte bestimmt sind.

Die Frontplatte – BILD 2 zeigt die des ESHS 10 – enthält die jedem Praktiker vertrauten Bedienelemente eines Meßempfängers. Die Frequenz wird per Drehknopf grob, mittel oder fein (in 10-Hz-Schritten) oder auch in beliebig wählbaren Schritten eingestellt; läßt sich aber genauso über Zifferntasten eingeben. Alle gewählten Einstellungen sind auf den **Flüssigkristall-Anzeigen** ablesbar. Eingebauter Lautsprecher und Kopfhöreranschluß ermöglichen die akustische Beurteilung der Störung. Normalerweise wird hierzu der A3-Demodulator eingeschaltet. Die Betriebsart A0 hilft, schwache CW-Signale zu erkennen. Die VHF/UHF-Geräte ESVS sind darüber hinaus mit FM-Demodulatoren ausgestattet. Somit lassen sich die Empfänger in gewohnter Weise manuell bedienen. Auf der linken Seite der Frontplatte sind dagegen die Eingabeelemente für die automatische Messung angeordnet.

Bei den 10er-Modellen stellt eine vierzeilige LC-Anzeige die „Schnittstelle Mensch – Empfänger" dar. Mit den darunter liegenden Tasten werden **Menüs** aufgerufen, mit denen dann Anfangs-

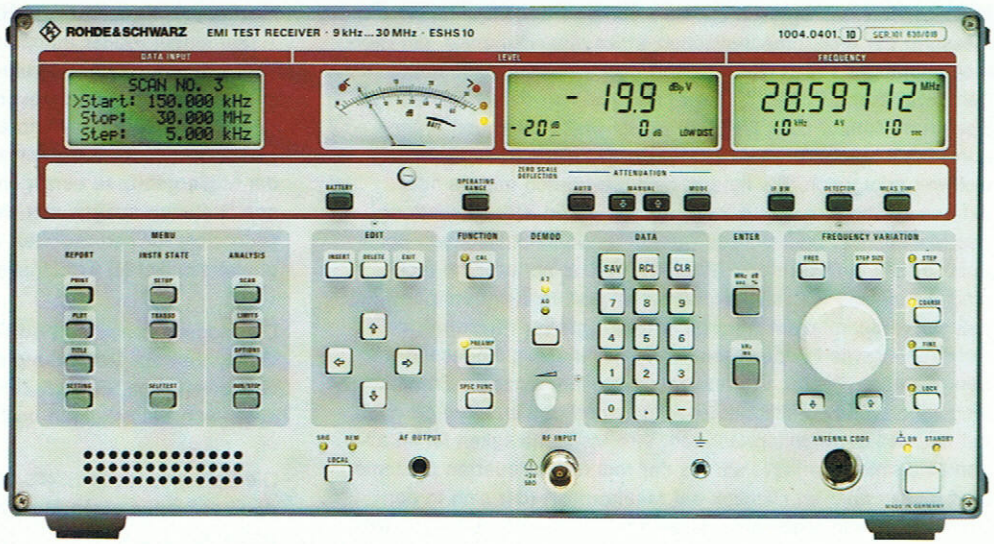


BILD 2 Frontplatte des EMI Test Receivers ESHS 10.

und Endfrequenzen sowie Schrittweiten von Frequenzabläufen, Grenzwertlinien, Wandlungsmaße von Meßwandlern, Konfiguration von Druckern und Plottern und komplexe Meßabläufe eingegeben werden können.

Höheren Bedienkomfort bei der Eingabe bietet der Bildschirm bei den Modellen 20 und 30 (BILD 3): **Softkeys** und übersichtlich dargestellte Menüs erlauben es, die Geräte **schneller an wechselnde Meßaufgaben anzupassen.** Außerdem ist das Störspektrum über der linear oder logarithmisch dargestellten Frequenzachse bereits während der Messung sichtbar.

Kompromißlose Funkstörmessungen

Mit folgenden Eigenschaften sind die neuen Meßempfänger besonders an die Anforderungen der Funkstörmeßtechnik angepaßt:

- Es liegt in der Natur der Störmeßtechnik, daß über den Zeitverlauf der zu messenden Spannungen von vornherein keine Aussagen gemacht werden können. Neben Sinusspannungen kommen – besonders beim Messen geleiteter Störungen – häufig Impulse vor, deren Energieinhalt immer eine Gefahr für die Eingangseichleitung eines Empfängers ist. Für die Meßempfänger ESH 2 und ESH 3 gibt es deshalb zum Schutz der Eichleitung den Impulsbegrenzer ESH 3-Z2, der vor den Eingang der Geräte geschaltet wird. Bei den Empfängern der Reihe ESHS ist das nicht mehr nötig: Die Eichleitung weist **mit 100 mWs die hundertfache Impulsbelastbarkeit** gegenüber der ESH 3-Eichleitung auf. Sie absorbiert damit alle bekannten, bei Störmessungen auftretenden Impulse ohne Probleme.

- Die Eingänge der Empfänger ESVS sind durch einen **internen Hochpaß** gegen die leistungsstarken niederfrequenten Komponenten von Störimpulsen geschützt. Für Sonderfälle, in denen dieser Schutz nicht ausreicht, wie zum Beispiel beim Messen an Hochspannungszündanlagen, ist ein **impulsfestes Spezialdämpfungsglied** für den Einbau in die Geräte lieferbar.

- Funkstörmessungen werden im Freien, aber auch in Schirmkabinen durchgeführt. Die Anzeigen von Störmeßempfängern müssen bei den hier herrschenden extremen Lichtverhältnissen einwandfrei ablesbar sein. Bei allen neuen Meßempfängern werden Einstell- und Meßwerte auf LC-Displays angezeigt. Sie sind sowohl bei vollem Sonnenlicht wie auch – durch die eingebaute Beleuchtung – bei Messungen in der Schirmkabine einwandfrei ablesbar.

- Besonderes Augenmerk wurde auf **Störstrahlungsarmut der Geräte** gelegt. Die erreichten Werte sind weit besser als in den einschlägigen Normen gefordert. Dadurch ist es jetzt sogar möglich, **Meßobjekt und Meßempfänger gemeinsam in der Schirmkabine** zu betreiben.

- Die Meßwerte erscheinen mit der richtigen Einheit (dBµV, dBµV/m, dBµA, dBm usw.) und einer Auflösung von 0,1 dB im Display. Selbstverständlich werden die frequenzabhängigen Wandlungsmaße der vorgeschalteten Meßwandler berücksichtigt.

- Bei Meßempfängern ist neben der digitalen auch eine **analoge Meßwertanzeige** unverzichtbar. Man benötigt sie als **Tendenzanzeige.** Wichtiger ist aber noch, daß nur mit einer Analoganzeige zu erkennen ist, ob eine Messung nahe am Rauschen oder an der oberen Aussteuergrenze stattfindet. Die Bereichsautomatik („Autorange") verhindert bei automatischem Betrieb zwar mit Sicherheit Fehlmessungen; bei manuellen Messungen, die in manchen Fällen auch gewünscht sind, liefert aber nur eine Analoganzeige die notwendige Information.

- Als Analoganzeigen wurden in den letzten Jahren zunehmend Halbleiteranzeigen in Form von LED- oder LCD-Balken verwendet. Nach Aussage vieler EMI-Meßpraktiker sind diese aber kein hundertprozentiger Ersatz für das klassische Drehspulinstrument. Der Fachmann gewinnt nämlich oft aus der Art der Zeigerbewegung zusätzliche Erkenntnisse über den Charakter einer Störung. Deshalb sind die neuen Störmeßempfänger wieder mit einem **Zeigermeßwerk** für die Analoganzeige ausgerüstet. Die beiden Skalen des Anzeigeinstruments von 30 und 60 dB sind **dB-linear** geteilt. Frequenzabhängige Wandlerfaktoren werden auch hier berücksichtigt.

- Neu ist, daß auch **der 60-dB-Bereich des Instruments für die Quasi-Peak-Anzeige verwendet** wird. Er überlistet sozusagen die Physik und liefert – vom Benutzer unbemerkt in einem adaptiven Modus arbeitend – stets korrekte Meßwerte. Der Vorteil eines so großen Quasi-Peak-Bereichs ist eine wesentliche Beschleunigung der Messung, weil viele der bei QP-Anzeige besonders zeitraubenden Autorange-Vorgänge entfallen können.

- Für die neuen Störmeßempfänger beträgt die **garantierte Meßunsicherheit maximal 1 dB** im gesamten Frequenz- und

Pegelmeßbereich. Die hierfür notwendige Kalibrierung läuft, wie von ESH 3 und ESVP bekannt, automatisch ab. Sie ist wieder in eine Kurz- und eine Totalkalibrierung unterteilt.

- **Das niedrige Rauschmaß,** das ohne Vorverstärker etwa 10 dB beim ESHS und 14 dB beim ESVS beträgt, ist die Basis für **ausreichende Empfindlichkeitsreserven auch bei Verwendung von Koppelnetzwerken mit großen Korrekturfaktoren.** Besonders bei Messung kleinster Störpegel mit einem hochohmigen Tastkopf und hohem Teilerfaktor ist die hohe Empfindlichkeit nützlich. Der **einschaltbare interne Vorverstärker** reduziert das Rauschmaß auf etwa 6 dB bzw. 10 dB. Er ist zwischen Eingangsselektion und Mischer angeordnet und wird deshalb auch von Impulsstörern nicht übersteuert.

- Die neuen europäischen Störmeßnormen spiegeln einen grundsätzlichen Wandel der Beurteilung der Störungen in bezug auf die zulässigen Grenzwerte wider. Nach den alten nationalen Vorschriften wurden Störungen getrennt – je nachdem, ob sie als Schmal- oder Breitbandstörer anzusehen waren – mit den verschiedenen Grenzwerten für diese Störungsarten verglichen. Die Unterscheidung beider Störungsarten wurde, nachdem elektronische Einrichtungen selbst als Hauptstörer auftraten, immer schwieriger. Deshalb verließ man mit der Einführung der europäischen Normen dieses Verfahren. **Die neuen Normen enthalten nur noch Mittelwert und Quasi-Peak-Grenzwerte für alle Arten von Störungen.** Das bedeutet, daß jetzt sowohl Puls- wie auch Sinusstörungen (und natürlich auch Mischungen aus beiden) korrekt gemittelt (AV-Anzeige) oder bewertet (QP-Anzeige) werden müssen. Die Eigenschaften der Gerätereihe ESHS/ESVS sind hierfür durch die **Verwendung laufzeitgeebneter ZF-Filter** optimal.

- Bei Funkstörmessungen interessiert vor allen Dingen das Störspektrum des Meßobjekts im Vergleich zu den zulässigen Grenzwerten. Die wichtigste Aufgabe eines Störmeßempfängers ist deshalb, **das Störspektrum normgemäß bewertet zu messen** und mit den zulässigen Grenzwerten zu vergleichen. Die Geräte ESHS und ESVS sind hierfür mit schnell einschwingenden Frequenz-Synthesizern ausgerüstet, die einen vorgegebenen Frequenzbereich mit jeder beliebigen Schrittweite abzusuchen gestatten. In der schnellsten Anzeigeart, der Spitzenwertanzeige, liegt bei allen ESHS ein vollständiges Meßergebnis für den vollen Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz intern in 20 Sekunden vor. Hierzu kommt noch die je nach Dokumentationsgerät verschiedene Ausgabezeit. Meß- und zulässiger Grenzwert werden, wie üblich, in der grafischen oder numerischen Ergebnisausgabe miteinander verglichen; als Neuheit signalisieren die neuen Meßempfänger auch ohne Bildschirm das Überschreiten des zulässigen Grenzwerts bereits während der Messung **akustisch und optisch.**

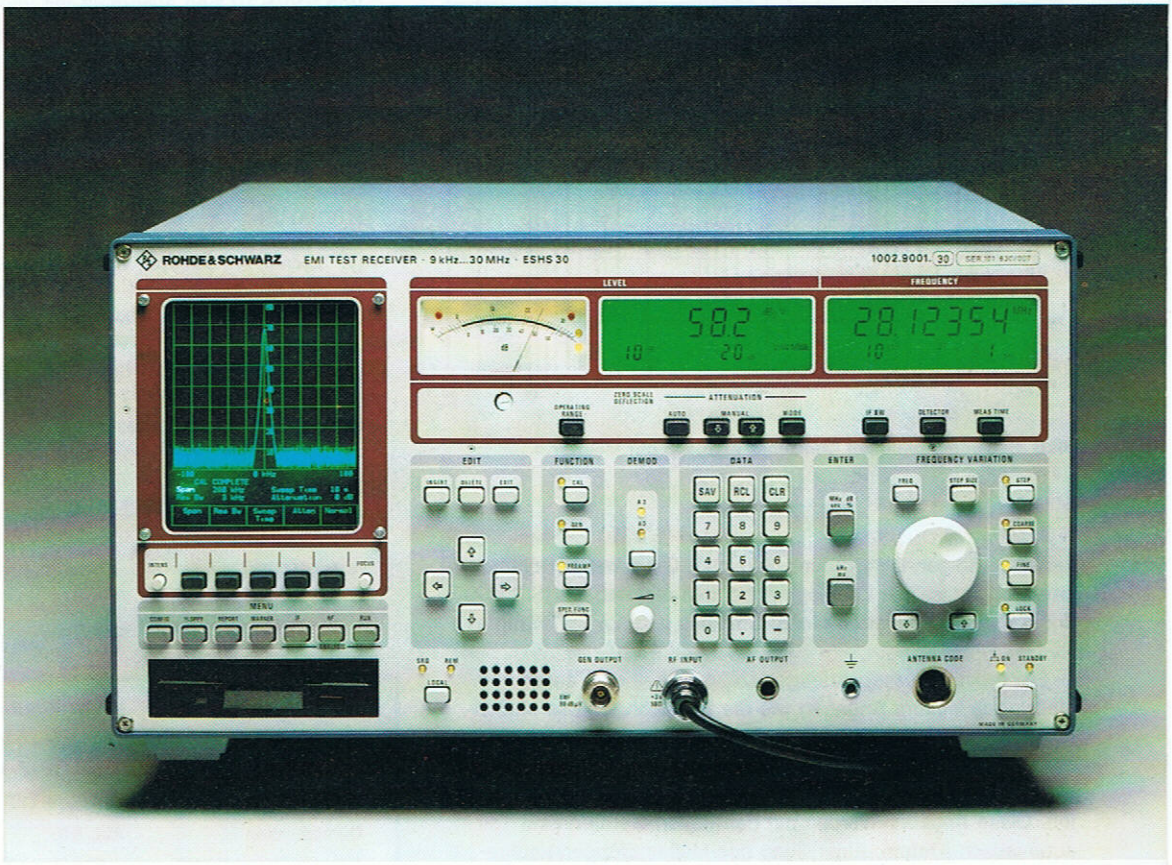


BILD 3 EMI Test Receiver ESHS 30 in der Frontansicht.

- Die verschiedenen Detektoren für die Spitzenwert-, Mittelwert- und Quasi-Peak-Anzeige sind stets gleichzeitig in Betrieb. Damit sind die so bewerteten Meßwerte geräteintern immer vorhanden. Sie können deshalb während eines Frequenzablaufs vom externen Rechner auch für jede Frequenz abgerufen und gegebenenfalls miteinander verknüpft oder mit den jeweils zugehörigen Grenzwerten verglichen werden. Zur Anzeige gelangt naturgemäß immer nur ein Meßwert; ein angeschlossener Plotter zeichnet während der Messung diesen Meßwert auf und nach der Messung den vorher gewählten zweiten. Möglich sind dabei die Kombinationen PK/AV, PK/QP und QP/AV, wobei die erste Meßart immer direkt angezeigt wird, während die zweite im Hintergrund mitläuft und ihre Meßwerte intern speichert. Diese Werte können dann nach dem Meßablauf ebenfalls registriert werden.

- Alle EMI-Meßempfänger können komplexe Messungen selbständig durchführen und über angeschlossene Printer oder Plotter dokumentieren. ESHS 10 und ESVS 10 enthalten zur Eingabe

ROHDE & SCHWARZ MUENCHEN
Funkstoerspannungsmessung

```
EUT:          PC Bildschirm
Manuf:        European Screen AG
Op Cond:      Schirmkabine
Operator:     F. Berger
Test Spec:    VDE 0871 Teil1
Comment:      Messung mit ESHS-Z5, Einzelphase
              Phase L1, Schutzleiter geerdet

Prescan Settings (2 Scans):

Startfreq.  Stopfreq.  IF BW  Detector  Meas Time  Atten.
   MHz         MHz      KHz                 s       dB
 0.010       0.150      0.2      PK       0.02    AUTO LN
 0.150      30.000     10.0      PK        0.1    AUTO LN
```

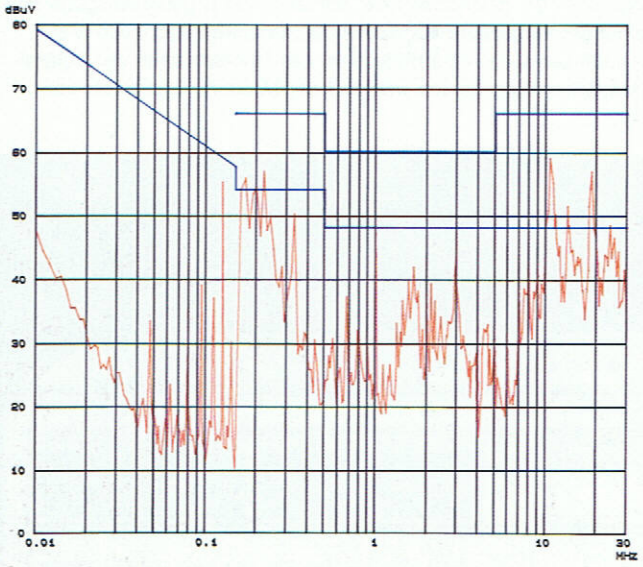


BILD 4 Meßprotokoll mit grafischer Ausgabe der Meßwerte.

der notwendigen Daten (Scan-Bereiche, Grenzwerte, Kommentare) ein vierzeiliges LC-Display; bei den Geräten ESHS 20/30 und ESVS 20/30 dienen hierzu Softkeys und ein **CRT-Display.**

● Ein wirklich aussagekräftiges Meßprotokoll muß außer den Meßwerten weitere Angaben wie die Bezeichnung des Meßobjekts, dessen Betriebsart, die angewendete Meßvorschrift, das Datum, den Namen des Messenden und gegebenenfalls einen Kommentar sowie die Einstellungen des Meßempfängers enthalten. Diese Angaben werden mit den neuen Geräten zum Teil automatisch (Datum, Einstellung des Meßempfängers) aufgezeichnet. Der andere Teil wird manuell mit Hilfe des internen vierzeiligen Displays bzw. Bildschirms eingegeben, oder – eleganter – über ein an den Empfänger angeschlossenes MF-Keyboard. Die Meßwerte selbst werden entweder grafisch oder als Liste ausgegeben, wobei jedesmal der gleiche Kopf mit den allgemeinen Angaben voransteht (BILD 4).

● Eine wichtige Neuerung ist die **Speicherung der geräteinternen Programme** („Firmware") in sogenannten Flash-EPROMs, die von außen über die serielle Schnittstelle geladen werden können. Damit entfällt bei Änderung der Firmware der lästige EPROM-Tausch; mit Hilfe eines IBM-kompatiblen PC-ATs wird die Firmware von einer Floppy-Disk in fünf Minuten in den Empfänger überspielt und in den Flash-EPROMs gespeichert. Auf diese Weise lassen sich Programmverbesserungen zur Anpassung an neue Forderungen („Upgrade") oder notwendige Programmkorrekturen bei erkannten Fehlern („Update") bedeutend leichter und schneller als bisher vornehmen.

● Wie beschrieben, können die neuen Empfänger ohne externen Rechner viele Meßaufgaben autonom ausführen und dokumentieren. Sie sind aber selbstverständlich **auch in größeren Meßsystemen einsetzbar,** denn alle Funktionen lassen sich über die IEC-Bus-Schnittstelle von externen Rechnern steuern. Im einfachsten Fall ist das ein entsprechend ausgestatteter PC, wodurch ein sehr einfacher und trotzdem bereits außerordentlich leistungsfähiger Meßplatz entsteht.

● Ein Muß für moderne Meßgeräte ist **der eingebaute Selbsttest.** Im Fehlerfall lokalisiert er bei den neuen Störmeßempfängern die defekte Baugruppe, die sich dann **ohne jeden Nachgleich** gegen eine neue auswechseln läßt.

● Alle neuen Meßempfänger können mit externen Batterien betrieben werden (11 bis 33 Volt ohne Umschaltung). ESHS 10 und ESVS 10 sind außerdem mit internen Akkus ausrüstbar, um **völlig erdunabhängig** arbeiten zu können, wie es bei schwierigen EMI-Messungen nötig ist.

Karl-Otto Müller, Manfred Stecher, Josef Wolf

LITERATUR

[1] Stecher, M.; Schreyer, W.: Automatische und manuelle Meßempfänger für 9 kHz bis 1300 MHz. In dieser Schrift S. 13 – 28.

[2] Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. In dieser Schrift S. 29 – 34.

[3] Pohn, E.; Stecher, M.: Spectrum Monitor mit Controller-Funktion. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 119, S. 15 – 19.

[4] Stecher, M.: Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen. In dieser Schrift S. 77 – 86.

KURZDATEN

	ESHS 10/20/30	**ESVS 10/20/30**
Frequenzbereich	9 kHz bis 30 MHz	20 bis 1000 MHz
Abstimmung	n × 10-Hz-Schritte	n × 100-Hz-Schritte
Bandbreiten	200 Hz, 9 (10) kHz	10 kHz, 120 kHz
Demodulation	AM, A0	AM, A0, FM
Pegelmeßbereich (AV) (untere Grenze: Fehler durch Rauschen < 1 dB)	– 30 bis + 137 dBµV	– 10 bis + 137 dBµV
Gemeinsame Daten:		
Fehlergrenzen	± 1 dB	
Pegelanzeige	LCD (3½-stellig), Zeigermeßwerk	
zusätzliche Anzeige	CRT, 8 cm × 10 cm (Modelle 20 und 30)	
Anzeigearten	AV, PK, PK/MHz, QP	
Mitlaufgenerator	Modelle 30	
ZF-Analyse	Modelle 30	
3½″-Floppy zum Speichern für Einstell- und Meßwerte	Modelle 20 und 30	
Batteriebetrieb (11 bis 33 V)	Modelle 10 (int./ext.), Modelle 20 und 30 (ext.)	

Seit über 50 Jahren produziert das Haus Rohde & Schwarz Präzisionsmeßgeräte für die allgemeine Nachrichtentechnik. Traditionell zählt hierzu unter anderem die klassische Feldstärkemeßtechnik, die Mitte der 30er Jahre begann, über mehrere Gerätegenerationen führte und heute mit einer breiten Palette an Meßempfängern die vielfältigsten Anwendungsbereiche abdeckt.

Automatische und manuelle Meßempfänger für 9 kHz bis 1300 MHz

BILD 1 Eine Meßempfängerfamilie für umfangreiche Meßaufgaben: im Vordergrund der ESVP, dahinter ESV, ESH 3 und ESH 2 (v. l. n. r.).

Funkstörmeßempfänger und Feldstärkemeßgerät

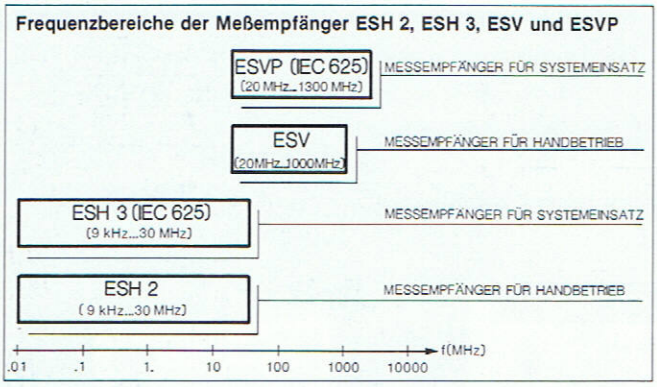
Wenn die **Feldstärkemeßtechnik** in den letzten Jahrzehnten fast ausschließlich für Versorgungs- und Ausbreitungsmessungen vorgesehen war, so hat diese Meßtechnik, bedingt durch den Fortschritt der gesamten Elektronik, im Rahmen des „Elektromagnetischen Umweltschutzes" neuen Auftrieb erhalten. Diese als „Störmeßtechnik" bezeichneten Applikationen haben während der letzten Jahre einen derart rasanten Aufschwung genommen, daß die meisten Meßempfänger heute zur **Erfassung von Störsignalen** eingesetzt werden, und die **Erfassung von Nutzsignalen** erst an zweiter Stelle liegt.

Beide Anwendungen stellen **hohe Ansprüche an die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen**. Aus diesem Grund verwenden Funkstörmeßempfänger und Feldstärkemeßgeräte zur Pegelkalibrierung einen Präzisionskalibriergenerator und haben **Eingangsschaltungen mit Vorselektion und hoher**

Intermodulationsfestigkeit. Das technische Niveau der Meßempfänger ESV, ESVP, ESH 2 und ESH 3 (BILD 1) von Rohde & Schwarz ist daher sehr hoch.

Zunächst ein Wort zum Einsatz von Spektrumanalysatoren ohne Vorselektion in der Störmeßtechnik: Der Zusammenhang zwischen störender Pulsfrequenz und Anzeigeänderung ist in den sogenannte **Bewertungskurven** der **CISPR-Publikation 16** und in den **VDE-Bestimmungen** (0876 Teil 1) festgelegt. An diesen Bewertungskurven scheitern zwangsläufig alle heute bekannten Spektrumanalysatoren ohne Vorselektion, d. h. bewertete Messungen von breitbandigen Störsignalen mit Spektrumanalysatoren ohne Vorsektion sind aus rein physikalischen Gründen mit größter Vorsicht zu genießen. Der Breitbandeingang eines Spektrumanalysators ohne Vorselektion kann nachweisbar nicht die notwendige Meßdynamik bereitstellen, wie sie zur Messung breitbandiger Störsignale unabdingbar ist [1].

Frequenzbereiche der Meßempfänger ESH 2, ESH 3, ESV und ESVP



Besonders kritisch ist der Frequenzbereich von 300 bis 1000 MHz auch für Meßempfänger mit der sogenannten Vorselektion. Hier bieten die beiden Meßempfänger ESV und ESVP **weltweit erstmalig die Möglichkeit der uneingeschränkt korrekten Quasi-Spitzenwertanzeige nach CISPR**, vom Einzelimpuls bis hin zu 1000 Impulsen pro Sekunde. Und dies mit einem Anzeigebereich von 10 dB! Detaillierte Ausführungen zu diesem Thema können verschiedenen Publikationen des Hauses Rohde & Schwarz entnommen werden [2].

Was ist ein Meßempfänger?

Meßempfänger im Sinne unserer traditionellen Sicht unterscheiden sich erheblich von Empfängern, wie sie für die allgemeine Nachrichtenübertragung verwendet werden. Diese Kommunikationsempfänger dienen der Reproduktion der Nachricht, wobei Empfindlichkeit und Schnelligkeit eine große Rolle spielen.

Mit einem Meßempfänger dagegen wird der Träger der Nachricht nach Größe und Frequenz gemessen. Es besteht daher ein hoher Anspruch an die Meßgenauigkeit eines solchen Gerätes. Da in der Störmeßtechnik sehr oft Signale mit ausgeprägtem Breitbandcharakter vorkommen, werden auch **harte Forderungen an die Intermodulationseigenschaften** eines Meßempfängers gestellt [3].

Im Bereich der zivilen Funkstörmessungen wurde dazu ein **bewertetes Störmeßverfahren** (Quasi-Spitzenwertanzeige nach CISPR) eingeführt, das in der Anzeige den Störeindruck des Rundfunkhörers und Fernsehzuschauers berücksichtigt. Störungen mit Impulscharakter werden hierbei je nach Häufigkeit der Impulse bei gleicher HF-Amplitude der Störung verschieden

HANDBEDIENTER MESSEMPFÄNGER + **µP** = **MESSEMPFÄNGER FÜR SYSTEM-EINSATZ**

ALSO:

ESH 2 + **µP** = **ESH 3**

ESV + **µP** = **ESVP**

angezeigt. Mit fallender Pulsfrequenz sinkt auch die Lästigkeit der Störung und damit der angezeigte Wert und umgekehrt. Die Meßempfänger von R&S sind mit dieser bewertenden Meßtechnik ausgestattet. Neben der Störmeßtechnik gibt es das große Applikationsfeld „Erfassung von Nutzsignalen", das heißt Feldstärkemessungen von Nachrichtenaussendungen. Hier bestehen beachtliche Forderungen an die Genauigkeit der durchzuführenden Messungen (siehe **CCIR*-Rec. 378-4**), deren Erfüllung nur mit entsprechendem Aufwand in der Schaltungstechnik dieser Meßgeräte realisiert werden kann.

Die Produktphilosophie

Grundlage der Meßempfänger ESH 3 und ESVP sind die HF-Baugruppen. Durch Ergänzung von Mikroprozessor-Intelligenz entstehen vielseitige Meßempfänger für den Systembetrieb.
Wie der tabellarischen Übersicht zu entnehmen ist, steht jedem **handbedienten Meßempfänger** (ESH 2, ESV) ein **automatischer** gegenüber (ESH 3, ESVP). Diese Aufteilung hat sich bewährt, da einerseits kleinere Firmen sich sich aus Budgetgründen noch keine automatischen Meßsysteme leisten können, andererseits aber die generelle **Automatisierung der Meßtechnik** massiv **fortschreitet**.

Vom Meßempfänger zum Feldstärkemeßgerät

Mit einem Meßempfänger werden ausschließlich Spannungen gemessen. Zur Erfassung von Feldstärken in µV/m oder dBµV/m bedarf es eines „Wellenwandlers", der mit seinem Wandlungsfaktor aus der Feldstärke (elektrische oder magnetische Komponente) eine Spannung erzeugt, die dem Empfänger zugeführt wird. Diesen Wellenwandler repräsentiert die Meßantenne, die in Form und Aufbau anderen Antennen gleich ist, deren spezifische Eigenschaften (Antennenfaktor) jedoch bekannt sind.
Daraus ergibt sich:

Meßempfänger + Meßantenne = Feldstärkemeßgerät

Mit Hilfe der handbedienten Meßempfänger wurden im R&S-Angebot Feldstärkemeßgeräte wie folgt definiert:

ESH 2 + Meßantennen = HFH 2 (9 kHz bis 30 MHz)

ESV + Meßantennen = HUF (20 MHz bis 1000 MHz)

* CCIR: Comité Consultatif International des Radiocommunications.

Selbstverständlich können auch mit Hilfe von ESH 3 und ESVP anstelle von ESH 2 und ESV Feldstärkemeßgeräte realisiert werden. Dies wären dann **automatische Feldstärkemeßgeräte,** für die jedoch keine besonderen Typenbezeichnungen in das Programm aufgenommen wurden.

Wirkungsweise und schaltungstechnischer Aufbau

Sofern die hochfrequenten Eigenschaften der Meßempfänger angesprochen werden, sind diese nahezu identisch für ESH 2 und ESH 3 einerseits sowie ESV und ESVP andererseits. Bei ESH 3 und ESVP wurden die Baugruppen der manuellen Geräte ESH 2 und ESV durch **Mikroprozessorsysteme** ergänzt, wodurch diese Empfänger erheblich an Vielseitigkeit gewinnen. Die folgenden Kapitel befassen sich mit dem Innenleben dieser Meßgeräte und bringen deutlich den Aufwand an professioneller Elektronik zum Ausdruck.

Dieser Vorwärts-Rückwärts-Zähler wird unter Umgehung des Versorgungsschalters direkt von der Batterie versorgt, so daß beim Ausschalten und Wiedereinschalten des Gerätes die zuletzt eingestellte Frequenz erhalten bleibt. Nach Durchlaufen eines etwa 10 kHz breiten Quarzfilters wird das Signal von 75 MHz auf 9 MHz umgesetzt. Zwei weitere Quarzfilter – wahlweise eingeschaltet – ergeben eine Bandbreite von 2,4 kHz oder 500 Hz. Der anschließende 9-MHz-Verstärker enthält das Stellglied für die Sollverstärkung des Gerätes bei der **automatischen Kalibrierung.** Nach einer Umsetzung auf die letzte Zwischenfrequenz von 30 kHz folgt ein in 10-dB-Schritten um insgesamt 40 dB veränderbarer Verstärker. Über ein mechanisches Filter läßt sich die ZF-Bandbreite auf 200 Hz vermindern. Je nach eingeschaltetem Anzeigebereich durchläuft das Signal einen logarithmischen oder einen linearen Verstärker mit aktivem Demodulator, gefolgt von den Schaltungen für die einzelnen Anzeigearten: Spitzenwert, Mittelwert und Störbewertung nach CISPR-Publikation 16. Das Sondermodell 56 des ESH 2 enthält auch eine Effektivwert- und

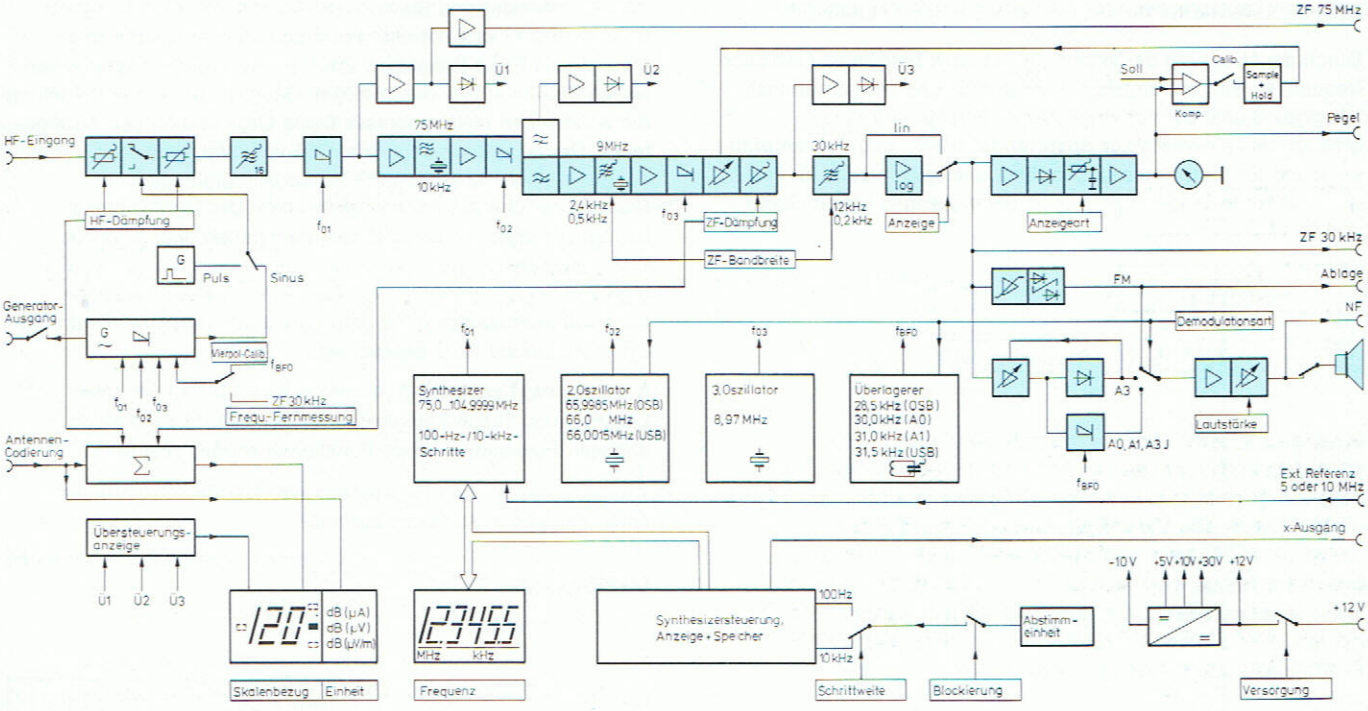


BILD 2 Blockschaltbild des Meßempfängers ESH 2.

Manueller Meßempfänger ESH 2 (9 kHz bis 30 MHz)

Der Meßempfänger ESH 2 ist ein **dreifach überlagernder Empfänger,** der den **Empfangsbereich 9 kHz bis 30 MHz** mit 16 Vorselektionsfiltern überdeckt, wobei die unteren 14 Filter fest, die oberen beiden Filter über Kapazitätsdioden im Gleichlauf mit der Empfängerfrequenz abgestimmt werden (BILD 2). Die Zwischenfrequenzen sind 75 MHz, 9 MHz und 30 kHz. Das Meßsignal gelangt über eine in 10-dB-Schritten einstellbare **HF-Eichleitung,** in die während des Kalibrierens auch das Kalibriersignal eingespeist wird, und über eine Filtergruppe zum 1. Mischer, in welchem es mit Hilfe eines **Synthesizers** auf die 1. ZF von 75 MHz umgesetzt wird. Zum Steuern des Synthesizers dient ein Vorwärts-Rückwärts-Zähler, den wiederum ein mechanisch-elektrischer Drehpulsgeber mit magnetischer Rastung steuert.

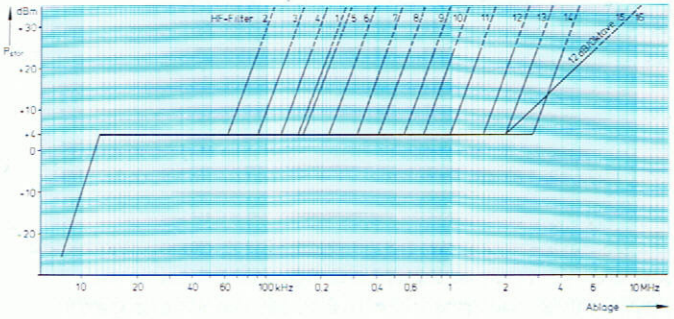


BILD 3 Schematische Darstellung der ungünstigsten Möglichkeiten einer Kreuzmodulation von 3 % für einen Störer mit 30 % Modulationsgrad in Abhängigkeit von den verschiedenen intern geschalteten HF-Filtern des Meßempfängers ESH 2 (ohne HF-Dämpfung!) bei einer ZF-Bandbreite von 10 kHz.

eine Vd-Anzeige. Ein zweiter, unabhängiger 30-kHz-Verstärker mit automatischer Verstärkungsregelung arbeitet parallel zum

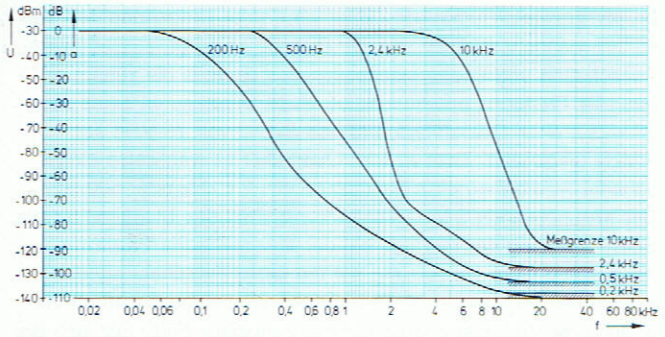


BILD 4 Dynamische Selektion des ESH 2 bei einem Eingangssignal von –30 dBm (≙ 77 dBµV an 50 Ω). Eine hohe dynamische Selektion ist Voraussetzung für die Messung schwacher Signale in der Nachbarschaft sehr hoher Pegel.

Anzeigezweig und speist einen Demodulator für AM, für Einseitenbandmodulation und für FM. Das NF-Signal ist über den eingebauten Lautsprecher oder über einen Kopfhörer abhörbar.

Durch die Mischung der letzten ZF mit allen beteiligten Oszillatorfrequenzen wird ein amplitudenkonstantes und temperaturunabhängiges Signal auf der eingestellten Empfängerfrequenz erzeugt, das einerseits zur **Spannungskalibrierung des Empfängers** und für Vierpolmessungen dient und andererseits für **Frequenzfernmessungen nach CCIR** herangezogen werden kann.

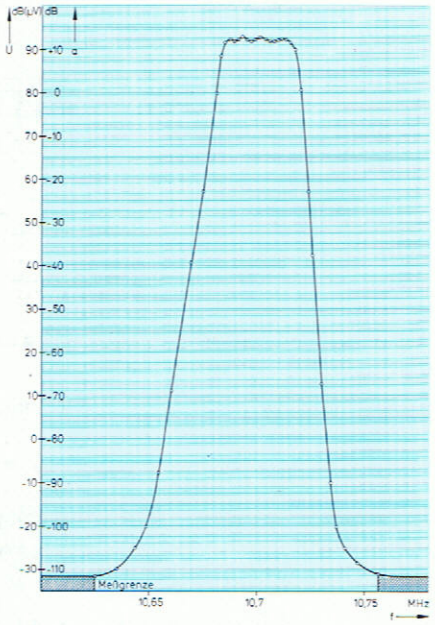


BILD 5 Beispiel für eine Vierpolmessung mit dem Meßempfänger ESH 2 über mehr als 120 dB. Meßobjekt: ZF-Verstärkerstufe mit Quarzfilter.

Die Stromversorgung der Baugruppen ESH 2, die im Hinblick auf **Batteriebetrieb** für geringste Leistungaufnahme entwickelt wurde, erfolgt über einen 20-kHz-Wandler und entsprechende Regelverstärker entweder direkt aus einer 12-V-Quelle, aus dem 12-V-Batterieteil, aus einem 24-V-Netz (Adapter erforderlich) oder über ein schutzisoliertes Netzgerät (Schutzklasse II) aus dem Wechselstromnetz. Das Netzgerät übernimmt parallel auch das Laden bzw. Puffern der 12-V-Batterie.

Die Darstellungen BILD 3, 4 und 5 zeigen einige Messungen, die an und mit dem ESH 2 durchgeführt wurden [4].

ESH 2-Modellvarianten

Modell Nr.	ZF-Bandbreiten (kHz)	Anzeigearten
52	0,2/0,5/2,4/10	MW/SP/CISPR-QP
56	0,2/2,4/3,8/10	MW/SP/RMS/Vd

Weitere Einzelheiten über das Modell 56 in [5].

Automatischer Meßempfänger ESH 3 (9 kHz bis 30 MHz)

Der vorher beschriebene signalverarbeitende Teil des Meßempfängers ESH 2 wird nun zusätzlich durch **zwei Mikroprozessor-Systeme** (Master und Slave) zum „Automaten" ESH 3 ergänzt. BILD 6 zeigt in vereinfachter Form das Zusammenspiel von Master- und Slave-Prozessor. Zwei Mikroprozessor-Systeme verwalten die Steuerung der analogen Baugruppen, die Aufbereitung der anfallenden Meßergebnisse sowie Organisation des Anzeigeteiles. Der Hauptprozessor, ein 8085 von Intel, erlaubt in Verbindung mit einem 32-kByte-EPROM-Bereich umfangreiche Steuerungs- und Auswertemöglichkeiten. Der RAM-Umfang beträgt 768 Byte, wovon 512 batteriegepuffert sind (CMOS). Damit werden **Geräteeinstellungen nach dem Abschalten des Meßempfängers gespeichert**. Als Slave-Prozessor dient ein Single-Chip-Prozessor 8748 (Intel), der noch durch ein Keyboard-Display-Interface 8279 ergänzt wird.

Noch ein Wort zum **IEC-Bus-Interface:** Es wurde mit allen Listener- und Talker-Fähigkeiten ausgestattet, die die Norm anbietet. Folgende wichtige Funktionen wurden realisiert:

- **Device Clear** zum Rücksetzen aller Gerätefunktionen auf einen definierten Ausgangszustand,
- **Device Trigger** für ein zeitlich genau definiertes Starten eines Meßvorgangs,

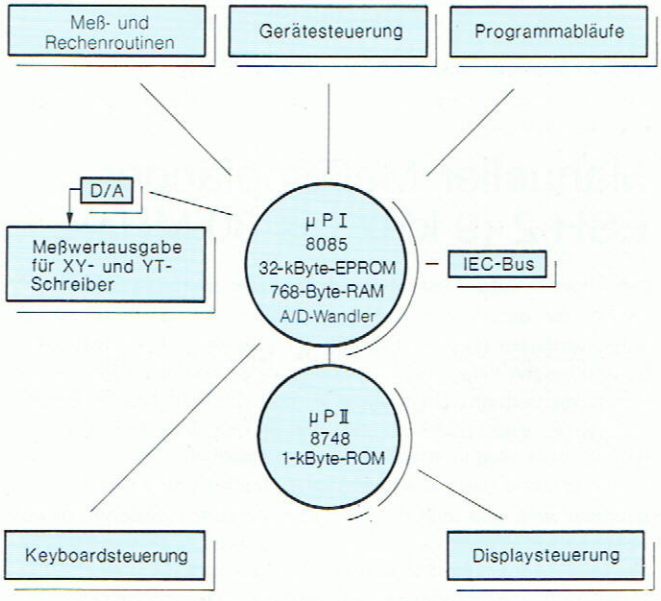


BILD 6 Prinzip der Mikroprozessor-Steuerung im ESH 3.

- **Local-Lockout** zum Sperren der Frontplatte während eines Programmablaufs,

- **Talk-Only-Mode** zur Protokollierung der Meßergebnisse ohne Steuerrechner.

Nicht ganz zu Unrecht spricht man von Integrierter Intelligenz, und das Resultat dieser umfangreichen Gerätesteuerung rechtfertigt zweifellos den Aufwand, wie die folgenden Punkte aufzeigen:

- **automatischer Ablauf** mit beliebig wählbaren Start- bzw. Stopfrequenzen und einstellbaren Schrittweiten. Maximal lassen sich **fünf** derartige **Scanbereiche** – beliebig, überlappend – inclusive aller weiteren Parameter wie ZF-Bandbreite, Demodulatoren, Anzeigearten usw. programmieren. Weiterhin ist es möglich, einen solchen „Programm-String" ohne äußere Einwirkung beliebig oft zu wiederholen.

- **Programmierung von beliebigen Meß- und Anzeigezeiten** zwischen 5 ms bis maximal 100 s. Die kürzeste Meßzeit von 5 ms bildet das Grundelement aller längeren Meßzeiten und beinhaltet bereits 64 Einzelmessungen.

- **Totalkalibrierung des gesamten Frequenzbereiches (!);** Bildung von Korrekturwerten für Frequenzgang, ZF-Dämpfungsschritte, ZF-Bandbreiten, Logarithmierverstärker und Gleichrichter mit Abspeicherung im batteriegepufferten RAM.

- **Autoranging** mit HF- und ZF-Eichleitung (140 dB bzw. 40 dB) in 10-dB-Schritten mit der Möglichkeit, durch Zuschalten eines 1-dB-Gliedes die Linearität zu prüfen.

- **Ausgeprägte Dokumentationsmöglichkeiten** in Form von:

A) Ausgabe aller Meßwerte auf einem Drucker über den IEC-Bus-Anschluß des ESH 3 im Talk-Only-Mode.

B) Registrierung des Amplitudenspektrums auf einem XY-Schreiber, wobei Anfangs- und Endpunkte der Diagramme bereits eingegeben werden können. Dies hat größte Bedeutung für vorgegebene Formblätter zur Anfertigung normierter Meßprotokolle. Die Analogaufzeichnungen können mit linearer oder logarithmischer Frequenzachse erfolgen.

C) Registrierung der Frequenzbandbelegung über längere Zeitperioden mit bis zu fünf Frequenzbandschreibern (ZSG 3 von R&S)

Weiterhin bestehen Meßmöglichkeiten von Parametern wie:

a) positiver oder negativer AM-Modulationsgrad,
b) positiver oder negativer FM-Hub (auch arithmetisches Mittel),
c) Frequenzablage,
d) Max./Min-Messungen für Fading-Analysen.

- **Steuerung der Meßwertausgabe** auf einem umfangreichen LED-Feld der ESH 3-Frontplatte. Der Meßwert wird hierbei auf einer 13stelligen alphanumerischen LED-Anzeige mit der richtigen Einheit – abhängig vom jeweilig verwendeten Zubehör – dargestellt.

Diese Meßmöglichkeiten, die bereits ohne Controller zur Verfügung stehen, prädestinieren den ESH 3 für den Einsatz überall dort, wo eine **hohe Anzahl von Routinemessungen** und entsprechend viele Meßwerte anfallen [6].

ESH 3-Modellvarianten

Modell Nr.	ZF-Bandbreiten (kHz)	Frequenzbereich mit EZM
52	0,2/0,5/2,4/10	9 kHz...30 MHz
56	0,2/1/2,4/10	20 Hz...30 MHz

Manueller Meßempfänger ESV (20 bis 1000 MHz)

Wir verzichten hier auf ein Blockschaltbild und gehen dafür etwas mehr auf die Eigenschaften dieses Gerätes ein. Für die Verwendung im VHF- und UHF-Bereich spielen diese Eigenschaften eine besonders wichtige Rolle. Anschließend wird in kurzer Form die Schaltungstechnik dargestellt.

Eigenschaften

Der ESV ist als ausschließlich handbedienbarer, empfindlicher und übersteuerungsfester Empfänger konzipiert. Die untere Meßgrenze liegt in der schmalsten ZF-Bandbreite (7,5 kHz) für Sinussignale bei – 10 dBµV, wobei der Rauschausschlag bei Mittelwertanzeige typisch – 14 dBµV ist. Die maximale Eingangsspannung bei entsprechend eingeschalteter HF-Dämpfung beträgt + 137 dBµV. Hieraus resultiert ein Meßbereich für Sinussignale von etwa 150 dB. Außer den linearen Anzeigebereichen von 10 dB für bewertete Messungen nach CISPR-Publ. 16 und VDE 0876 sowie 20 dB für Mittel- und Spitzenwertmessungen sind hierfür noch zwei logarithmische Bereiche von 40 und 60 dB vorhanden.

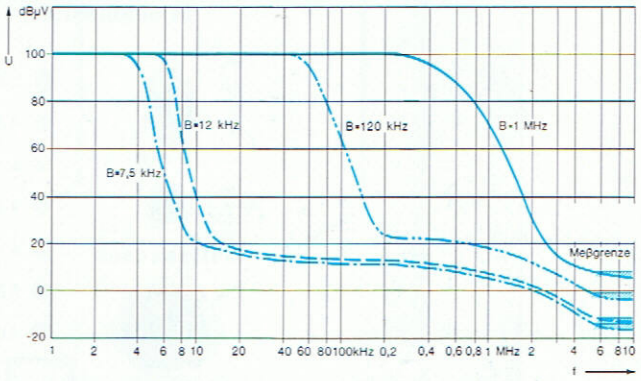


BILD 7 Dynamische Selektion der vier ZF-Bandbreiten des ESV.

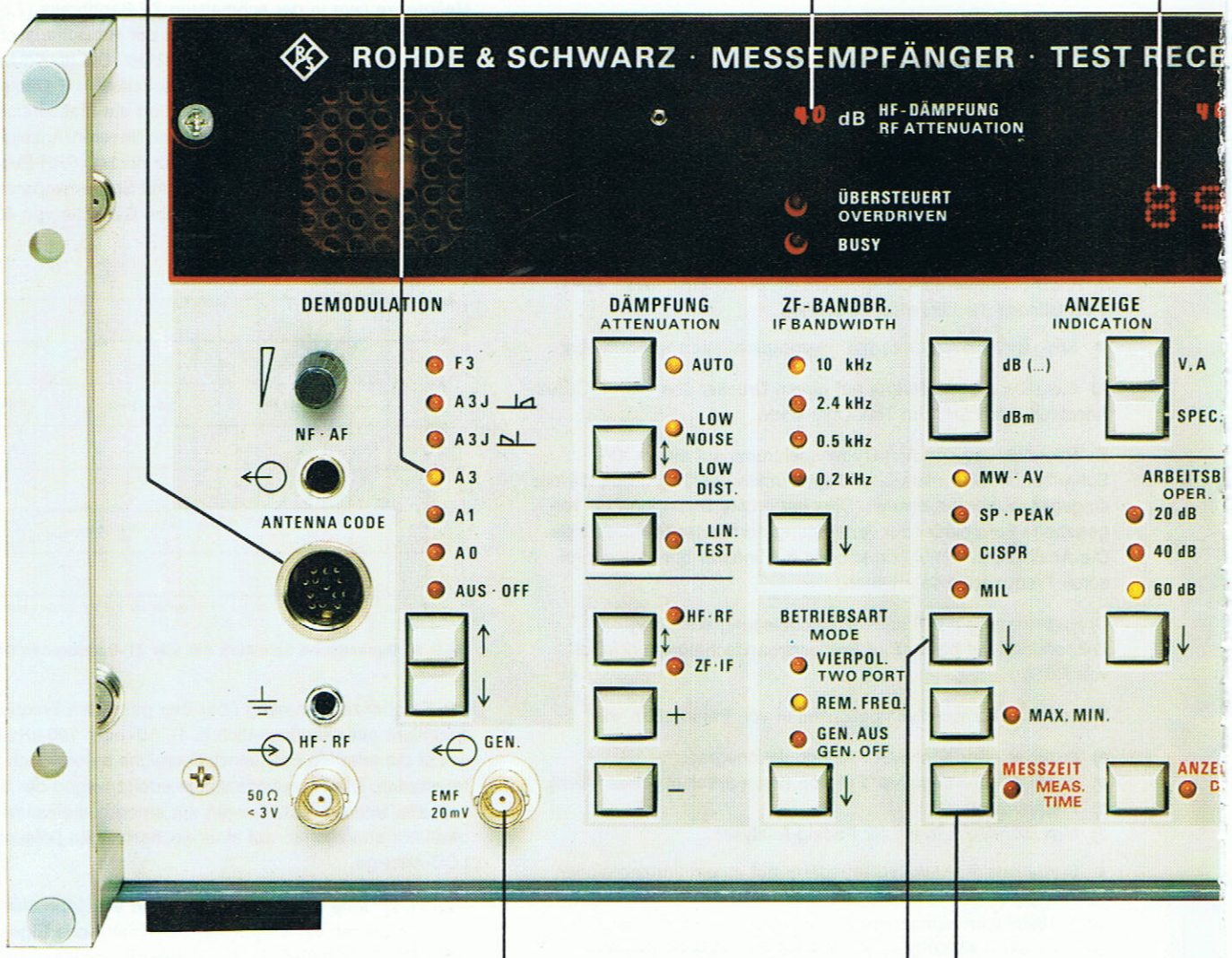
Die Frequenzabstimmung über den gesamten Frequenzbereich geschieht quasikontinuierlich in 1-, 10- oder 100-kHz-Schritten, wobei die internen Frequenzteilbereiche automatisch umgeschaltet werden. Die Frequenzanzeige erfolgt wegen der Synchronisation aller internen Oszillatoren auf einen gemeinsamen Mutteroszillator quarzgenau auf einer sechsstelligen beleuchtbaren LCD-Anzeige.

Mitabgestimmte Vorselektionsfilter und ein **Hochleistungsringmischer** sorgen für hervorragende dynamische Eigenschaften des ESV. Zusammen mit der Mittelwert- und Quasispitzenwertanzeige nach CISPR und MIL-konformen ZF-Bandbreiten ermöglicht dies den Einsatz in der Störmeßtechnik. Der Intercept-Punkt dritter Ordnung beträgt typisch 20 dBm, der Intercept-Punkt zweiter Ordnung typisch 50 dBm. Steilflankige Quarzfilter und das **geringe Phasenrauschen** der Überlagerungsoszillatoren gewährleisten ausgezeichnete Werte der dynamischen Selektion, vor allem in den Nachbarkanälen (BILD 7 und 8).

Die für einen Meßempfänger unverzichtbare **interne Verstärkungskalibrierung** erfolgt **in allen Anzeigearten** (Mittelwert, Spitzenwert, CISPR) **nach Knopfdruck automatisch** mit Hilfe eines temperaturstabilen und frequenzunabhängigen Pulsgenerators.

MESSEMPFÄNGER ESH 3

Versorgungs- und Codier-anschluß für Meßwandler: aktive Antennen, Strom-wandler und Tastköpfe



Generatorausgang für Vierpol- und Frequenz-fernmessung

Meßzeiteinstellung

Anzeigearten
- Mittelwert
- Spitzenwert
- CISPR-Quasi-Spitzenwert
- Spektrale Impulsdichte

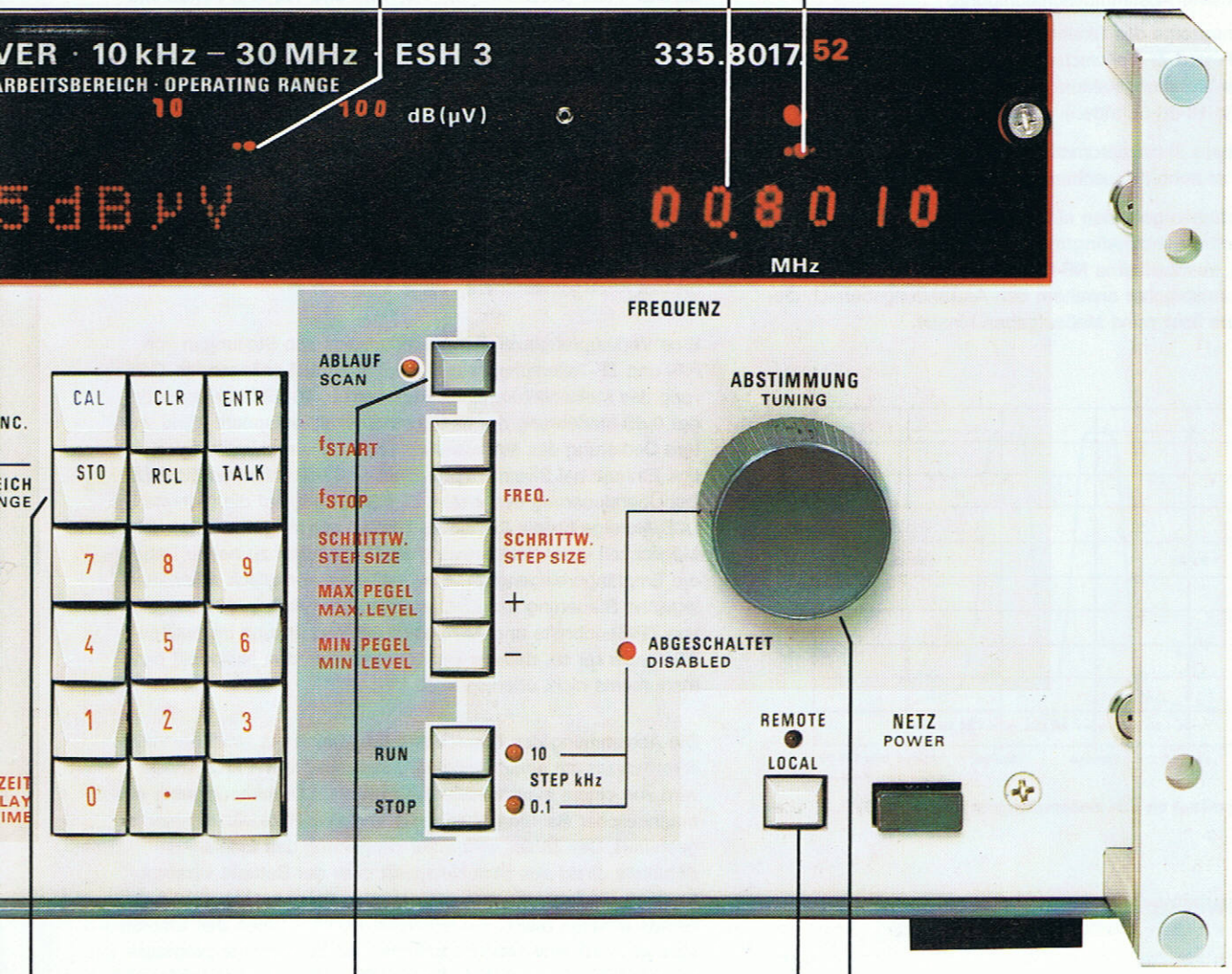
Automatische Meßbereichswahl und Anzeige

Meßwerte:
digital mit vollständiger Einheit
Meßparameter:
Pegel, Frequenzablage, Hub
Modulationsgrad, Verstärkung
Dateneingabe im Dialog

Meßwertanzeige **analog**
mit Bereichsgrenzen

Frequenzanzeige **digital**

Frequenzablage-Anzeige **analog**



Automatischer
Frequenzablauf

Programmierung
über IEC-Bus

Speicher für 9 komplette
Geräteeinstellungen

Frequenzeinstellung

- durch Drehknopf
- in vorwählbaren Einzelschritten
- durch Zifferneingabe am Tastenfeld
- durch automatischen Frequenzablauf mit vorwählbaren Start- und Stop-Frequenzen

Sie sorgt zusammen mit der präzisen Dünnfilmeichleitung für die hohe Meßgenauigkeit des ESV. Beim Wechsel der ZF-Bandbreite wird der Kalibriervorgang automatisch ausgelöst, so daß die Reproduzierbarkeit der Messungen bei Bandbreitenwechsel gesichert ist und Fehler bei der Interpretation der Meßwerte vermieden werden. Zwei ZF-Ausgänge – vor und nach der Selektion – erlauben den Anschluß eines ZF-Analysators (z. B. EPM). Weitere Ausgänge ermöglichen eine Reihe zusätzlicher Auswertungen des ZF-Signals nach der Demodulation: AM-Modulationsgrad, FM-Hub, Frequenzablage oder Meßpegel.

Schon vom HF-Meßempfänger ESH 2 her sind bekannt:

- übersichtliche Anordnung der Bedienelemente sowie der Ein- und Ausgänge,
- schneller Frequenzzugriff durch umschaltbare Schrittweiten mit progressiver Abstimmbeschleunigung,
- LCD-Ziffernanzeige des Skalenbezugspunktes in Abhängigkeit von der HF- und ZF-Teilerschalterstellung, der Gleichrichtungsart und des Wandlungsfaktors des angeschlossenen Meßwandlers (in 10-dB-Schritten).

Eine abschaltbare Steuerautomatik für den ZF-Teilerschalter verhindert einen zu hohen Rauschausschlag.

Diese Eigenschaften gestatten ein sicheres und präzises Messen unter allen Einsatzbedingungen. Vielseitige Demodulationsmöglichkeiten, zuschaltbares NF-Filter, einstellbarer Squelch und eingebauter Lautsprecher erweitern den Anwendungsbereich dieses Empfängers über reine Meßaufgaben hinaus.

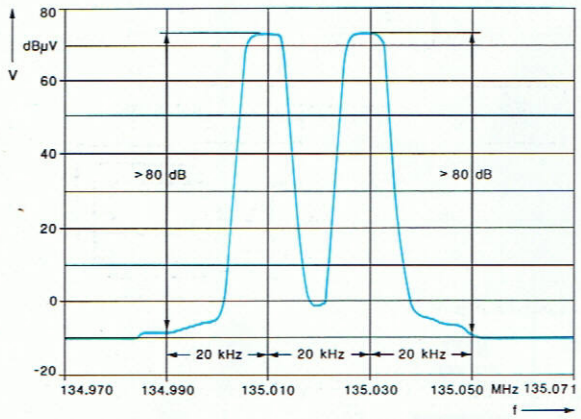


BILD 8 Zweiton-Test an den Meßempfängern ESV und ESVP.

Wirkungsweise

Der ESV ist ein zweifach überlagernder VHF-UHF-Empfänger mit phasensynchronisiertem Abstimmoszillator. Das anliegende Signal gelangt über die elektronisch schaltbare HF-Eichleitung zu den HF-Filtern. Für den Empfangsbereich 20 bis 520 MHz sind dies fünf kritisch gekoppelte Bandfilter mit Kapazitätsdioden, die synchron zum frequenzbestimmenden Synthesizer abgestimmt werden. Für Frequenzen zwischen 520 und 1000 MHz sind noch vier weitere mitabgestimmte Filter eingebaut. Die 6-dB-Bandbreite dieser Filter beträgt etwa 10 % der Abstimmfrequenz des Empfängers. Die HF-Bandbreite ändert sich also im Frequenzbereich 20 bis 1000 MHz von etwa 2 auf 100 MHz. Die HF-Filter werden automatisch durch eine Logikschaltung über Diodenschalter entsprechend der Abstimmfrequenz geschaltet.

Ohne Pegelanhebung durch einen Verstärker gelangt das Signal an die erste Mischstufe und wird mit einem in 1-kHz-Schritten einstellbaren, phasensynchronisierten Abstimmoszillator von 830,7 bis 1330,7 MHz auf die erste Zwischenfrequenz gemischt. Sie beträgt 810,7 MHz für Empfangsfrequenzen zwischen 20 und 520 MHz und 310,7 MHz für Frequenzen bis 1000 MHz. Zusätzlich zur HF-Selektion verbessert ein mehrkreisiges ZF-Filter mit einer 6-dB-Bandbreite von etwa 4 MHz die Selektion in der ersten ZF-Ebene.

Im zweiten Umsetzer wird das Signal auf die zweite ZF von 10,7 MHz gemischt. Eine Übersteuerungserkennungsschaltung, die pegel- und bandbreitenmäßig für Sinus- und Impulssignale ausgelegt ist, überprüft den Signalpegel. Ein rauscharmer 10,7-MHz-Verstärker verstärkt das umgesetzte Signal, und schaltbare ZF-Filter (Quarzfilter mit 7,5, 12,5 und 120 kHz Bandbreite sowie ein 1-MHz-LC-Filter) übernehmen die zweite ZF-Selektion. Modell 55 enthält statt des 1-MHz-LC-Filters ein 200-kHz-Quarzfilter. Ein weiterer geschalteter Satz von ZF-Filtern mit den Bandbreiten 15 kHz, 250 kHz und 3 MHz befreit das Signal vom Breitbandrauschen.

Ein aktiver Gleichrichter mit einem Bereich von etwa 70 dB bei Linearitätsabweichungen von weniger als 0,2 dB liefert das Signal an den Spitzenwertgleichrichter, die CISPR-QP-Bewertung, den Gleichspannungslogarithmierer, die Instrumentennachbildung und an das Anzeigeinstrument.

Eine Verknüpfungsschaltung ermittelt aus den Stellungen von HF- und ZF-Teilerschalter und einer eventuell anliegenden Codierung des Meßwandlers einen Pegelwert in 10-dB-Schritten, der der 0-dB-Markierung der Instrumentenskala entspricht. Eine weitere Codierung des Meßwandlers sorgt für die physikalisch richtige Einheit: bei Stromzangen dBµA und bei Antennen dBµV/m. Bei Übersteuerung des ersten ZF-Pfades beginnt die mehrstellige LCD-Anzeige für die Einheit zu blinken und zeigt hierdurch die Möglichkeit einer Fehlmessung als Folge eines zu hohen Pegels am Empfängereingang an. Eine weitere automatisch arbeitende logische Steuerung der ZF-Dämpfung beeinflußt in Abhängigkeit von ZF-Bandbreite und Anzeigeart die Verstärkung im zweiten ZF-Verstärker so, daß der Rauschausschlag den Nullpunkt des Instruments nicht überschreitet.

Die Abstimmung des Empfängers übernimmt ein rauscharmer Synthesizer mit einer kleinsten Schrittweite von 1 kHz. Dieser wird von einem mechanisch-elektronischen Drehimpulsgeber mit magnetischer Rastung über einen Vorwärts-Rückwärts-Zähler gesteuert. Der Zähler wird unter Umgehung des Ein-Aus-Schalters direkt aus dem Netzgerät oder der Batterie versorgt, wodurch die letzte Frequenzinformation beim Ausschalten des Geräts erhalten bleibt. Ein schnelles Durchstimmen des Empfängers ist in 10- und 100-kHz-Schritten mit zusätzlicher progressiver Beschleunigungsschaltung möglich. Ein unbeabsichtigtes Verstimmen kann durch elektronische Blockierung der Abstimmung verhindert werden. Eine Abstimmhilfsschaltung mit drei Leuchtdioden in der Nähe des Abstimmknopfes erleichtert das Abstimmen auf die Mitte des ZF-Durchlasses [7].

ESV-Modellvarianten

Modell Nr.	ZF-Bandbreiten (kHz)	Frequenzbereich
52	7,5/12/120/1000	20... 520 MHz
53	7,5/12/120/1000	20...1000 MHz
55	7,5/12/120/200	20...1000 MHz

Automatischer Meßempfänger ESVP (20 MHz bis 1300 MHz)

Der ESVP enthält die wesentlichen Baugruppen des ESV. Zusätzlich wurden jedoch weitere Eigenschaften integriert.

Arbeitsweise und Aufbau

Besonders hervorzuheben sind beim Meßempfänger ESVP folgende Baugruppen:

- **Sinus-Kalibriergenerator** – einschaltbar über eingebaute HF-Relais – mit einer EMK von 96 dBµV und einem typischen Frequenzgang von weniger als ±0,1 dB zur Aufnahme des HF-Frequenzganges und weiterer Kalibrierkorrekturwerte. Er dient auch zur Vierpolmessung. Ein **zusätzlicher Pulskalibriergenerator ist zum Kalibrieren der Breitbandstörmessung nach CISPR und MIL-STD-461/462 (Ausgleich der Bandbreitentoleranz)** eingebaut.
- **HF-Pegelschalter,** schaltbar in 10-dB-Schritten von 0 bis 140 dB mit einem 1- und einem 4-dB-Glied für Linearitätsprüfungen.
- **Rauscharmer, hochlinearer Vorverstärker,** wahlweise einschaltbar zur Erhöhung der Meßempfindlichkeit.

beim Meßempfänger ESH 3 das zeitintensive Decodieren der ASCII-Zeichen und das Multiplexen der Anzeige übernimmt. Der Transfer der Meßergebnisse und Statusinformationen über die Empfängereinstellung vom Meß- zum I/O-Prozessor erfolgt über eine asynchrone FIFO-(First In First Out)Schnittstelle und einen 16 Byte tiefen, undirektionalen Zwischenspeicher, der unabhängig beschrieben und ausgelesen werden kann. Die Eingangsdaten von der Tastatur oder der IEC-Bus-Schnittstelle werden vom I/O-Prozessor auf syntaktische Richtigkeit sowie auf Einhaltung der Gerätedaten geprüft und – soweit möglich – auf 1-Byte-Kommandos komprimiert. Der Datentransport vom I/O-Prozessor zum Meßprozessor erfolgt über eine Port-Schnittstelle, die den Austausch über ein in den Peripherie-ICs integriertes Handshake-Protokoll quittiert. Diese zeitliche Schachtelung zwischen Datenausgabe vom I/O-Prozessor und der Abarbeitung der nächsten Meßroutinen trägt entscheidend zur Erhöhung des Datendurchsatzes im Meßempfänger bei. Die zuvor beschriebene Prozessortechnik ermöglicht auch dem ESVP – ähnlich dem ESH 3 – **eine Fülle von automatischen Meßabläufen,** sei es mit oder ohne Process Controller. Der ESVP genießt den Vorteil, das gesamte mit dem ESH 3 gewonnene Know-how in sich zu vereinigen; er ist zusätzlich mit einer Reihe von Eigenschaften ausgestattet, die im folgenden aufgelistet sind:

- Vorverstärker (abschaltbar) zur Steigerung der Empfindlichkeit,
- eingebauter ZF-Zähler für Frequenzmessungen,
- Squelch mit programmierbarer Schwelle,

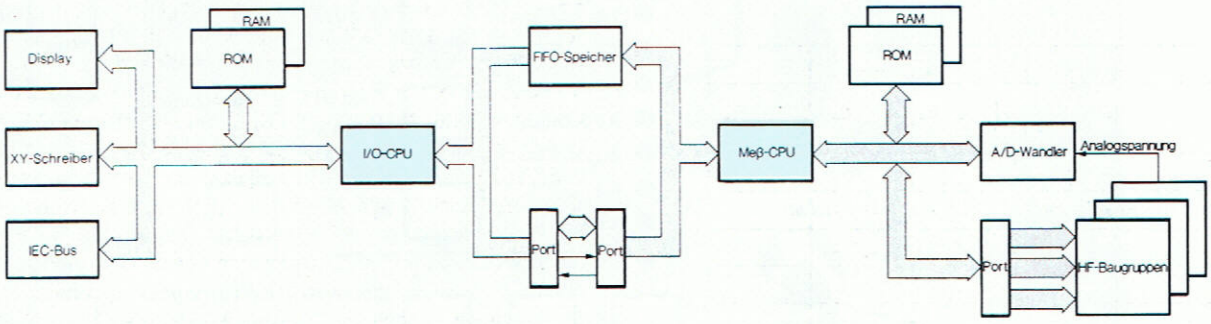


BILD 9 Mikroprozessorsystem des Meßempfängers ESVP mit Meßprozessor und Ein-Ausgabe-Prozessor.

µP-System-Architektur

Bei der Entwicklung der digitalen Steuerung des Meßempfängers ESVP wurde besonderer Wert auf eine **hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit** und einen hohen Datendurchsatz gelegt. Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Mikrocomputersystems wurden zwei Mikroprozessoren zu einem **Multiprocessing-System** gekoppelt (BILD 9). Sie haben entsprechend der Gliederung der Aufgaben des Meßempfängers auch verschiedene Funktionen:

- Der **Meßprozessor** dient zur Einstellung des Meßempfängers auf die gewünschte Betriebsart, zum Steuern der HF-Baugruppen sowie zur Durchführung der vom Benutzer eingestellten Meßroutinen.
- Der **I/O-Prozessor** besorgt die Steuerung und Bedienung der Ein- und Ausgaben über Tastatur, Display, Schreiberanschluß und IEC-Bus-Interface.

Für die 15stellige alphanumerische Anzeige der Meßwerte und eingestellten Daten ist ein **dritter Prozessor** eingesetzt, der wie

- erweiterter Bereich von Sonderfunktionen,
- Echtzeituhr für Datum- und Zeitangabe,
- erweiterte alphanumerische Anzeige,
- Netz- und Batteriebetrieb

Umfangreiche Sonderfunktionen können über die Frontplatte oder über den IEC-Bus aufgerufen werden. Einige dieser gegenüber dem ESH 3 neu hinzugekommene Funktionen sind:

1) Trigger Intern/Extern, bei Uhrzeit ‚x', alle ‚x'-Sekunden
2) Druckerprotokoll mit und ohne Uhrzeit,
3) Squelch on/off,
4) AFC on/off,
5) Vorverstärker on/off,
6) Frequenzmessung mit einer Auflösung von 0,1, 1, 10 und 100 Hz,
7) Korrekturfaktoren je nach Bedarf.

Punkt 7 ist außergewöhnlich wichtig. Hier wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, **Korrekturkurven von beliebigem Zubehör** einzugeben [8].

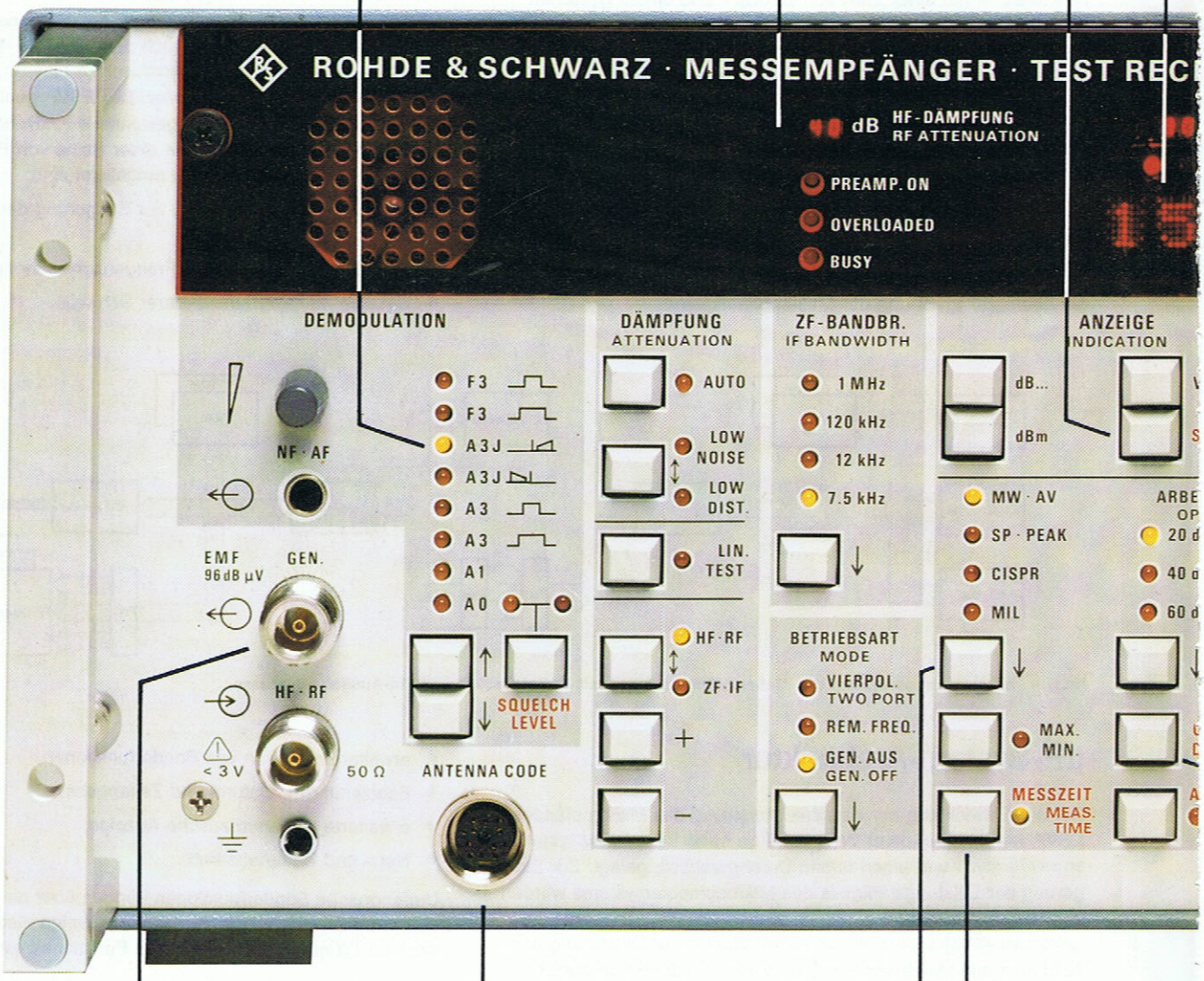
MESSEMPFÄNGER ESVP

Sonderfunktionen

- frei programmierbare Meßwandlerfaktoren
- Modulations- und Frequenzmessungen
- Scanfunktionen
- Triggermöglichkeiten
- Squelch, AFC, Vorverstärker

Demodulationsarten

HF-Dämpfung



Generatorausgang für Vierpol- und Frequenzfernmessung

Versorgungs- und Codieranschluß für Meßwandler: aktive Antenne, Stromwandler und Tastköpfe

Meßzeiteinstellung

Anzeigearten

- Mittelwert
- Spitzenwert
- CISPR
- Spektrale Impulsdichte

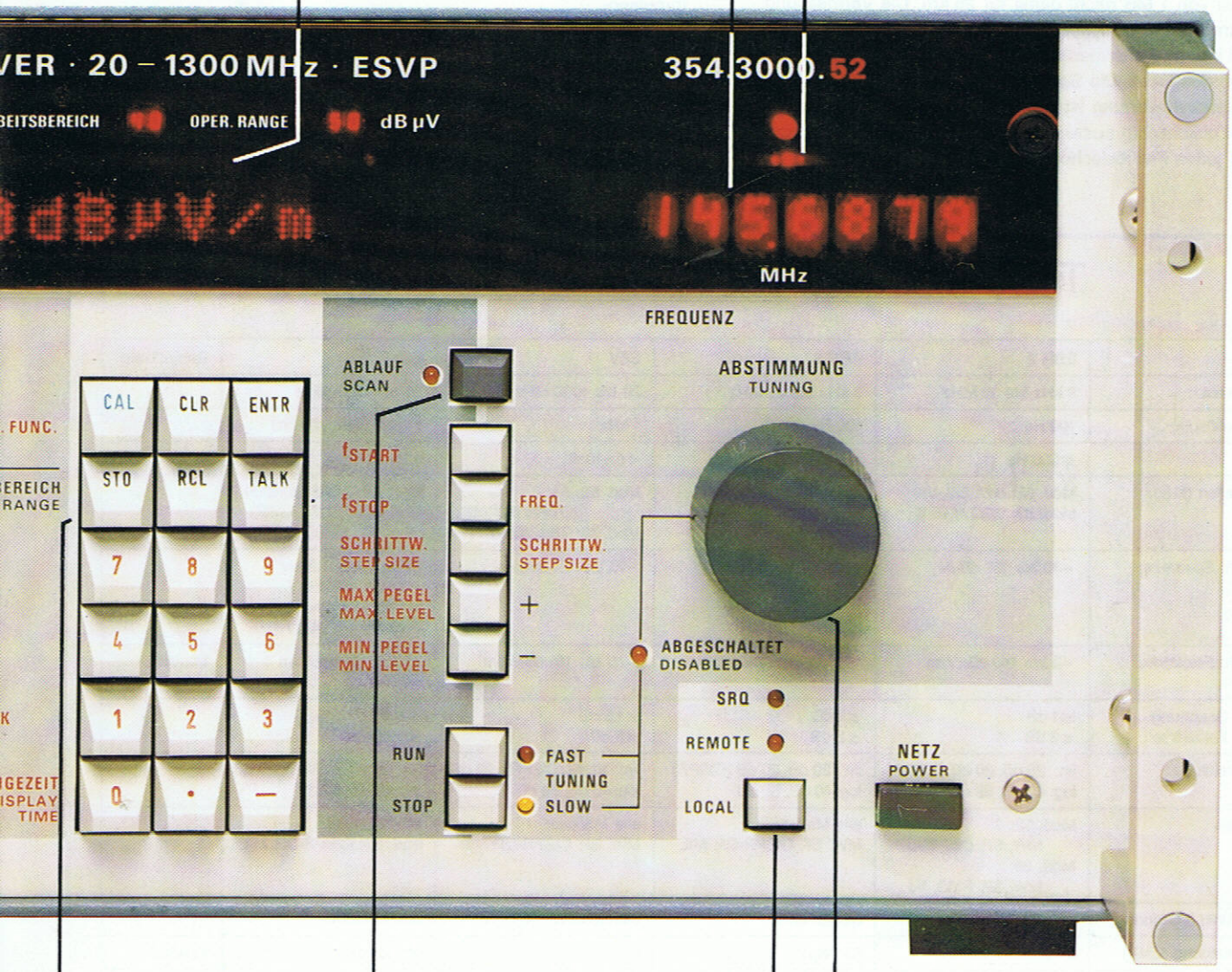
Automatische Meßbereichswahl und Anzeige

Meßwerte:
digital mit vollständiger Einheit
Meßparameter:
Pegel, Frequenzablage, Hub
Modulationsgrad oder Verstärkung
Dateneingabe im Dialog

Frequenzanzeige **digital**

Meßwertanzeige **analog**
mit Bereichsgrenzen

Frequenzablage-Anzeige **analog**



Speicher für 9 komplette Geräteeinstellungen

Datum und Uhrzeit, abrufbar

Automatischer Frequenzablauf

Programmierung über IEC-Bus

Frequenzeinstellung

- durch Drehknopf
- in vorwählbaren Einzelschritten
- durch Zifferneingabe am Tastenfeld
- durch automatischen Frequenzablauf mit vorwählbaren Start- und Stop-Frequenzen

Schnelle Feldstärkemessung mit dem ESVP

Zur schnellen Messung – beispielsweise Feldstärkemessung im fahrenden Fahrzeug – sind im ESVP zwei Möglichkeiten vorgesehen:

1. Ununterbrochene Ausgabe von Meßdaten

Die Ausgabe erfolgt im Binärformat von 2 Byte je Triggerimpuls. Es bestehen Anwenderforderungen von zum Beispiel 20 Messungen pro Meter bei fahrenden Fahrzeugen. Dies ergibt bei 180 km/h 40 kB/km bei einer maximalen Rate von 1000 Triggerimpulsen/s.

Ein Speicher von 1 MB reicht damit für 25 km. Die Vermessung größerer Strecken ist wünschenswert; man darf aber davon ausgehen, daß das Speichermedium in größeren Abständen ausgewechselt werden kann. Die Speicherung der Originaldaten zur späteren Weiterverwertung ist eine Kundenforderung. Da man die Daten nicht gleichzeitig auswerten und abspeichern kann, müssen sie auf jeden Fall zwischengespeichert werden.

Zur Übernahme und Abspeicherung dieser Daten gibt es zwei Möglichkeiten:

a) einen Bus-Controller mit einer Speicherkapazität von ≥1 MB, der ununterbrochen 2 kB/s entgegennehmen kann,

b) eine Stand-Alone-Speichereinheit, die im Listen-Only-Mode Daten abspeichern kann (z. B. Kassettenstation).

2. Klassierungsmethode

Klassierung der Daten bei einer vom Benutzer wählbaren Zahl n von Samples (n = + 100 bis 65500) und Ausgabe der den Überschreitungswahrscheinlichkeiten 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 93, 96, 98, 99 % zugeordneten Feldstärkepegel nach n Impulsen.

Für die Auswertung des Klassierungsergebnisses braucht der ESVP etwa 50 ms. Während dieser Zeit werden Triggerimpulse unterdrückt. Ein Fahrzeugbeispiel: bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h geht eine Strecke von 0,83 m verloren, was bei einer Klassierstrecke von 1000 m unter 1‰ liegt.

Technische Daten, Zusammenfassung

	ESH 2	ESH 3	ESV	ESVP	Bemerkung
Frequenzbereich	9 kHz bis 30 MHz	9 kHz bis 30 MHz	20 bis 1000 MHz (520)	20 bis 1300 MHz	
Frequenzauflösung	100 Hz	100 Hz	1 kHz	1 kHz (SSB: 100 Hz)	
Treffehler	≤500 Hz	≤500 Hz	$<5\times10^{-6}$	$<5\times10^{-6}$	
ZF-Bandbreiten (kHz)	Mod. 52: 0,2/0,5/2,4/10 Mod. 56: 0,2/2,4/3,8/10	Mod. 52: 0,2/0,5/2,4/10 Mod. 56: 0,2/1/2,4/10	Mod. 52, 53: 7,5/12/120/1000 Mod. 55: 7,5/12/120/200	Mod. 52: 7,5/12/120/1000 Mod. 53: 7,5/12/120/200 Mod. 56: 10/100/120/1000	
Meßbereich: Spannung	−30 bis 137 dBµV	−30 bis 137 dBµV	−10 bis 137 dBµV	Ohne Vorverstärker −10 bis 137 dBµV Mit Vorverstärker −20 bis 137 dBµV	
Meßbereich: Feldstärke	−3 bis 140 dBµV/m	−3 bis 140 dBµV/m	−7,5 bis 161 dBµV/m	7,5 bis 161 dBµV/m	frequenzabhängig
Meßfehler: Spannung Feldstärke	≤1 dB ≤2 dB	≤1 dB ≤2 dB	≤1,5 dB ≤3 dB	≤1 dB ≤3 dB	
Anzeigebereich	lin: 20 dB, 20 dB (CISPR) log: 40 dB, 60 dB	lin: 20 dB, 20 dB (CISPR) log: 40 dB, 60 dB	lin: 10 dB (CISPR), 20 dB log: 40 dB, 60 dB	lin: 10 dB (CISPR), 20 dB log: 40 dB, 60 dB	
Anzeigearten	Mod. 52: MW, SP, CISPR-QP Mod. 56: MW, SP, RMS, Vd	alle Modelle: MW, SP, CISPR-QP, MIL	alle Modelle: MW, SP, CISPR-QP	alle Modelle: MW, SP, CISPR-QP, MIL	
Intercept-Punkt 3. Ordnung	typ. 25 dBm	typ. 25 dBm	typ. 20 dBm	typ. 20 dBm	
Generatorausgang (EMK)	86 dBµV	86 dBµV	—	96 dBµV	$R_i = 50\Omega$
Automatische Abläufe (ohne Process Controller)	—	5 Scan-Programme mit XY-Schreiber, Frequenzb.-Schreiber (XZ) Printer (Talk only)	—	5 Scan-Programme mit XY-Schreiber, Frequenzb.-Schreiber (XZ) Printer (Talk only)	
Pegelkalibrierung	Puls (CISPR) Sinus (MW, Spitze)	Puls (CISPR) Sinus (MW, CISPR)	Puls (MW, CISPR, Spitze)	Puls (CISPR) Sinus (MW, SP,. MIL)	
Stromversorgung	Netz/Batterie	Netz/Batterie [ab '85]	Netz/Batterie	Netz/Batterie	
Bestellnummern	303.2020.52 303.2020.56	335.8017.52 335.8017.56	342.4020.52 (20 bis 520) 342.4020.53 (20 bis 1000) 342.4020.55 (20 bis 1000)	354.3000.52 354.3000.53 354.3000.56	

Feldstärkemessungen mit Meßantennen von Rohde & Schwarz

Das Diagramm BILD 10 zeigt die kleinsten meßbaren Feldstärkepegel für Nutz- und Störfeldstärkemessungen. Diese Werte beziehen sich auf die elektrische Komponente des elektromagnetischen Feldes. Die magnetische Komponente kann leicht durch Umformung aus der elektrischen Komponente – unter Fernfeldbedingungen – berechnet werden (Verwendung des Feldwellenwiderstandes Z_0).

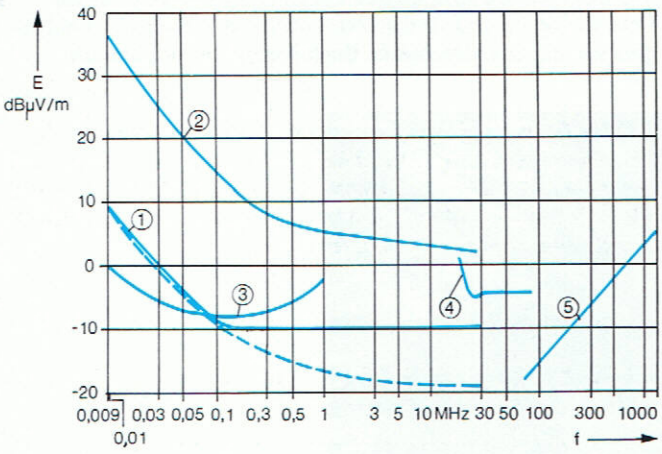


BILD 10 Kleinster meßbarer Feldstärkepegel (für S/N = 1) in Abhängigkeit von der Frequenz (MW-Anzeige mit 200 Hz bzw. 7,5 kHz ZF-Bandbreite). 1 Aktive Stabantenne HFH 2-Z1 (durchgezogene Linie k = 20 dB, gestrichelte Linie k = 10 dB), 2 Aktive Rahmenantenne HFH 2-Z2 mit 0,6 m ∅, 3 Aktive Rahmenantenne HFH 2-Z3 mit 2,4 m ∅, 4 CISPR-Breitbanddipol HUF-Z1, 5 Logarithmisch-periodische Antenne HL 023 A1.

Darstellung von Spektren

Zur spektralen Darstellung der am Empfängereingang anliegenden Signale dienen zwei Geräte: der Panorama Monitor EPM (BILD 11; in erster Linie für ESH 2 und ESV) und der Spectrum Monitor EZM (vorzugsweise für ESH 3 und ESVP).

Der Panorama Monitor EPM [9] liefert – angeschlossen an den Breitband-ZF-Ausgang eines Empfängers – eine Darstellung des HF-Eingangsspektrums in einem Bereich bis zu ±1 MHz um die Empfängerfrequenz. Er ist sowohl mechanisch (Gehäusebreite und -tiefe) als auch elektrisch (Zwischenfrequenz und Pegel) gut angepaßt an die Meßempfänger ESH 2 und ESV.

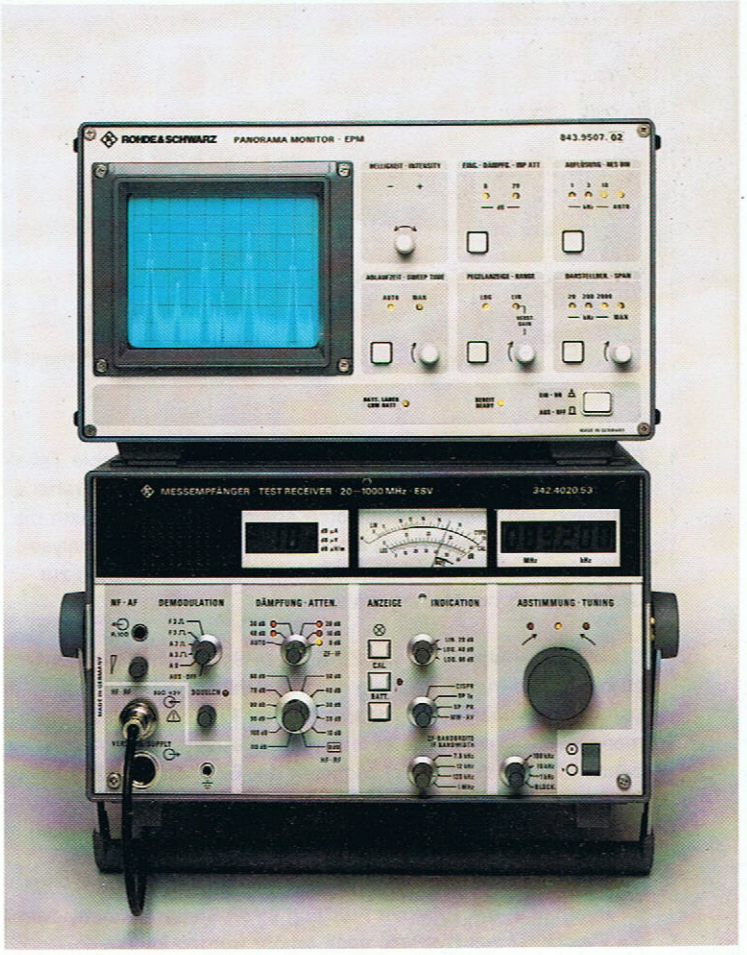
Beim Einsatz von Empfängern zur Messung von Nutz- und Störsignalen und auch beim Empfang von Nachrichten ist ein Überblick über die Belegung des Frequenzspektrums in der Nähe der Empfängerfrequenz von großem Vorteil. Damit lassen sich sowohl die korrekte Abstimmung des Empfängers als auch die Ursache eventueller Störungen des Empfangs erkennen. Bei der Messung von Störspektren läßt die Panoramadarstellung den Charakter des Störsignals – schmal- oder breitbandig, intermittierend oder stabil – gut erkennen. Bei der Störstrahlungsmessung auf Freifeldmeßplätzen ermöglicht sie die eindeutige Unterscheidung zwischen der Störung des Prüflings und Umgebungsstörungen. In der Funkkontrolle erleichtert die ZF-Analyse den Überblick über die Bandbelegung, den Betriebszustand der Kanäle sowie über Pegel, Modulation und Frequenzabstand der einzelnen Signale.

Eigenschaften von EPM und EZM

Der Eingang läßt sich von 10,7 MHz (für ESV) auf 75 MHz (für ESH 2) umschalten. Der Pegeldarstellbereich beträgt 80 dB. Mit Hilfe eines eingebauten 20-dB-Dämpfungsglieds kann auch bei hoher ZF-Dämpfung des Meßempfängers das ZF-Signal bis zum Vollausschlag des Empfängeranzeigeinstruments dargestellt werden. Bei linearer Darstellung ist der Pegelbereich kontinuierlich einstellbar. Der Frequenzdarstellbereich ist umschaltbar von 2 MHz auf 200 und 20 kHz. Auflösebandbreiten von 1, 3 und 10 kHz sind wählbar. Der EPM kann wahlweise am Netz, an einer externen oder internen Batterie betrieben werden. Er ist auch in dieser Hinsicht kompatibel zu ESH 2 und ESV.

Der Spectrum Monitor EZM [10] dient den Meßempfängern ESH 3 und ESVP als Sicht- und Steuergerät. Durch seine Firmware-Intelligenz und seine zusätzlichen Programmiermöglichkeiten dient er außer zur Darstellung von Spektren auch zur automatischen Auswertung und Protokollierung von Meßergebnissen. Mit den Meßempfängern ESH 3 und ESVP ist er nicht nur über die ZF-Verbindungskabel, sondern auch über das IEC-Buskabel

BILD 11 Meßplatz zur Funkkontrolle und zur Messung von Störsignalen mit Meßempfänger ESV und Panorama Monitor EPM.



verbunden (BILD 12). Daraus ergibt sich eine ganze Reihe von Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten:

Die **ZF-Analyse:** Das Spektrum des Signals am Empfängereingang wird in einem Bereich bis zu ±1 MHz um die Empfänger-Mittenfrequenz dargestellt. Die Analysebandbreiten betragen 0,03/0,1/0,3/1/3/10 kHz (bei Modell 56 zusätzlich 0,01 kHz), die Pegeldarstellbereiche 20, 50 und 100 dB. Als Wobbeloszillator dient ein schneller Synthesizer. Die wichtigsten Empfängerdaten wie Mittenfrequenz, Pegel und ZF-Bandbreite werden über die IEC-Bus-Verbindung zum Empfänger ständig ins Bild eingeblendet und die Pegelanzeige wird kalibriert. Damit dient die ZF-Analyse des EZM nicht nur als Mittel zur Beobachtung des Spektrums, sondern auch als Meßwerkzeug.

Die **HF-Analyse:** Die mit der hohen Genauigkeit der Meßempfänger ESH 3 und ESVP ermittelten Meßergebnisse speichert der EZM und stellt sie auf seinem Bildschirm dar. Komfortable Tabelleneditoren für die Meßempfängereinstellungen, Grafik, Grenzwertlinien und Meßwandlerfaktoren erleichtern dem Benutzer die Bedienung des Meßplatzes. Marker-, Zoom-, Auschnittsanalyse-, Akzeptanzanalyse- und Differenzanalysefunktionen dienen zur Untersuchung der Meßergebnisse.

Die **HF/ZF-Analyse:** So viel ZF-Analyse-Spans wie nötig werden zu einer Spektrumdarstellung mit frei wählbarem Frequenzbereich mit linearer oder logarithmischer Frequenzachse zusammengesetzt – eine erweiterte Art der ZF-Analyse. Die Auflösebandbreiten (max. 10 kHz) bestimmt der EZM. Die HF/ZF-Analyse hat, verglichen mit der HF-Analyse, den Vorteil höherer Meßgeschwindigkeit. Beispielsweise kann der Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz in 10 s dargestellt werden. Mit der **Option zwei Microfloppy-Laufwerke mit Betriebssystem EZM-B2** übernimmt der EZM die Funktion eines Steuerrechners, womit die Flexibilität des Systems noch erhöht werden kann.

Applikationen

Labor, Prüffeld und Service

Große Meßbereiche, verbunden mit hoher Selektivität und Übersteuerungsfestigkeit, ermöglichen den Einsatz von ESH 2, ESH 3, ESV und ESVP als selektive Spannungsmesser hoher Genauigkeit auch dann, wenn eine **Vielzahl an Signalen gleichzeitig** auftritt. Anwendungsbeispiele sind Nachbarkanalmessungen, Nebenwellenmessungen an Generatoren, Intermodulations-, Kreuzmodulations- und Klirrfaktormessungen sowie Rauschmaßbestimmungen an Verstärkern und Konvertern. Dabei enthalten ESH 3 und ESVP ein Dämpfungsglied zur Linearitätskontrolle für die Unterscheidung einer eventuellen Nichtlinearität des Meßempfängers von der des Meßobjekts. Breitbandige Demodulatorausgänge (AM und FM) gestatten oszilloskopische Untersuchungen von Amplituden- und Frequenzeinschwingvorgängen, beispielsweise von Sprechfunkgeräten mit Phasenregelschleifen. Zusätzlich gestatten Stromwandler Messungen von HF-Strömen. Die Generatorausgänge von ESH 2, ESH 3 und ESVP (intern verbunden mit hochstabilen Kalibriergeneratoren) werden zur Messung von Vierpoldämpfungen oder Verstärkungen im Bereich von –110 dB bis etwa +47 dB (+37 dB beim ESH 3) benutzt.

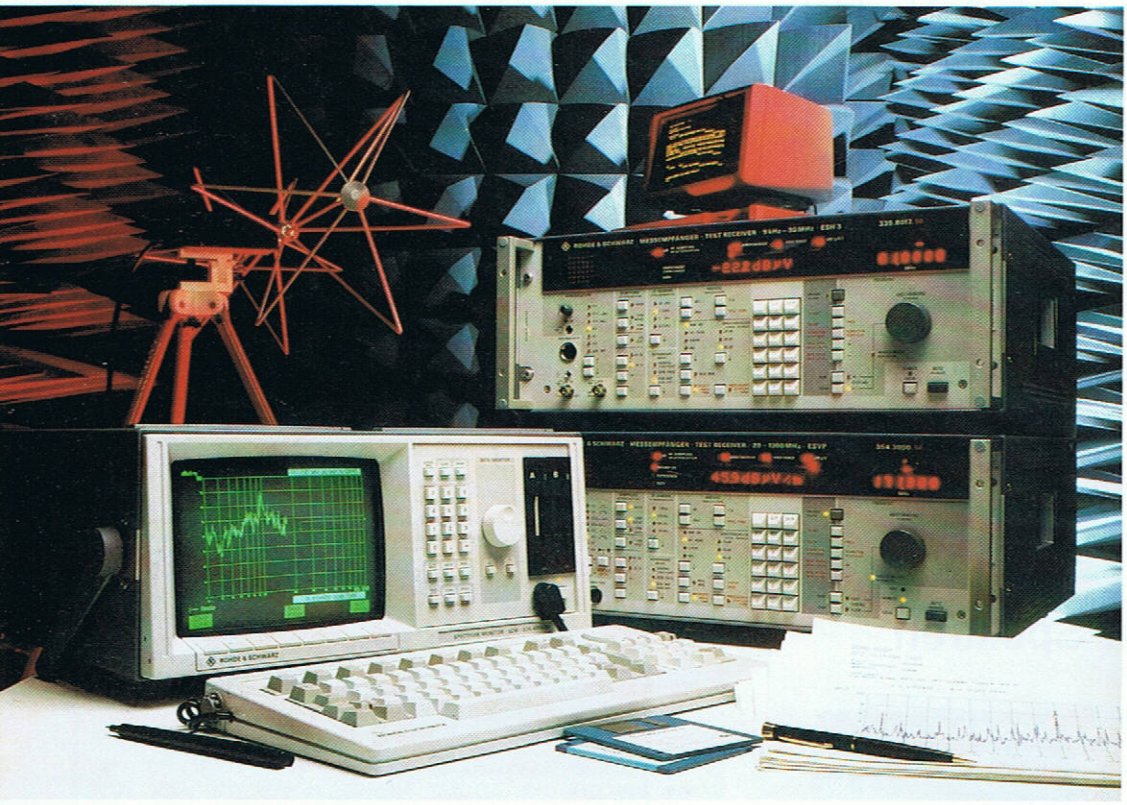


BILD 12
Meßempfängersysteme für Funkkontrolle und Störmeßtechnik EP-1 bis EP-6 mit ESH 3 und/ oder ESVP und EZM.

Antennen-, Ausbreitungs- und Versorgungsmessungen

Antennenmessungen im **Freifeld** sind meist unvermeidlich, weil geschirmte Absorberräume entweder nicht zur Verfügung stehen oder zu klein und nicht genügend reflexionsfrei sind. Da im Frei-

feld mit externen Störungen zu rechnen ist, versagen alle breitbandigen Meßgeräte. Mit Hilfe des Mitlaufgeneratorausgangs (bei ESH 2/ESH 3 und ESVP) und einer Meßantenne können Gewinn- und Richtdiagramm-Messungen, mit Hilfe einer VSWR-Meßbrücke Rückflußdämpfungsmessungen durchgeführt werden. Die Schreiberausgänge dienen dabei zur Aufzeichnung auch ohne Rechner. Für Gewinnmessungen läßt sich im Frequenzbereich von 20 bis 1300 MHz die frequenzabhängige Funkfeld-Grunddämpfung des Meßplatzes im Meßempfänger speichern, so daß der Gewinn des Meßobjekts unmittelbar als Meßergebnis geliefert wird. In gleicher Weise kann der Frequenzgang einer VSWR-Meßbrücke im Meßempfänger gespeichert werden, womit ohne Rechnerhilfe die Rückflußdämpfung des Meßobjekts als Ergebnis ausgegeben wird. Durch die Möglichkeit eines Batterieanschlusses (24 V) können die Meßempfänger in Meßfahrzeugen für Ausbreitungs- und Versorgungsmessungen sowie in Hubschraubern für Gewinn- und Richtdiagramm-Messungen von Sendeantennen eingesetzt werden.

Alle Messungen lassen sich auf einfache Weise mit einem XYT-Schreiber oder mit einem Process Controller und einem Universaldrucker protokollieren. Als Meßantennen dienen dabei die Antennen der Feldstärkemeßgeräte HUF und HFH 2.

Störmeßtechnik

Bei der Störmeßtechnik ist zu unterscheiden zwischen dem zivilen Bereich mit den geläufigen CISPR-Empfehlungen, VDE- und FCC-Vorschriften und den Euro-Normen sowie dem militärischen Bereich mit den amerikanischen MIL-Standards 461, 462, 463 und den deutschen Verteidigungsgeräte-(VG-)Normen 95371 bis 95377.

Für den zivilen Bereich erweist sich die Trennung in zwei Empfänger (ESH 3 und ESVP bzw. ESH 2 und ESV) als sehr zweckmäßig, weil im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz die Funkstörspannungsmessung mit einer Netznachbildung (ESH 2-Z5) überwiegt und die Funkstörfeldstärkemessung mit einer Rahmenantenne (HFH 2-Z2) durchzuführen ist. Im Bereich von 30 MHz bis 1000 MHz werden die Funkstörleistungsmessung mit einer Absorptions-Meßwandlerzange (MDS-21) sowie die Funkstörfeldstärkemessung mit einem Breitband-Dipol (HUF-Z1 20 bis 80 MHz) und einer logarithmisch-periodischen Antenne (HL 023A1 80 bis 1300 MHz) durchgeführt. Die Antennenfaktoren der beiden Meßantennen liegen fest und werden als Sonderfunktion in dem Meßempfänger ESVP berücksichtigt.

Der Wandlerfaktor der Meßwandlerzange MDS-21 kann individuell eingegeben werden. Zusätzlich kann man beispielsweise bei fester Antennenhöhe den Frequenzgang des Meßplatzes einprogrammieren. Diese Sonderfunktionen vereinfachen selbst bei Handbedienung die Arbeit enorm: Mit der MDS-Zange werden direkt die Funkstörleistung in dBpW und mit den Meßantennen die Funkstörfeldstärke in dBµV/m angezeigt beziehungsweise am Drucker protokolliert. Hervorzuheben ist, daß der ESVP wie der ESV die CISPR-Norm bis 1 GHz voll erfüllen. Diese beiden Empfänger erlauben weltweit als erste Meßgeräte dieser Art eine CISPR-konforme Messung von Einzelimpulsen.
Im militärischen Bereich liegt die obere Frequenzgrenze für leitungsgebundene Störmessung höher: Störstrommessung bis 50, 100 oder 200 MHz, je nach Norm. Die Störstrahlungsmessung ist bis 30 MHz mit einer Stabantenne (HFH 2-Z6), von 30 bis 200 MHz mit einer Doppelkonus-Antenne (HK 116) und von 200 bis 1000 MHz mit einer konisch-logarithmischen Spiral-Antenne (HUF-Z3) durchzuführen. Durch die festgelegten Meßanordnungen läßt sich die Messung bis auf den Antennenwechsel automatisieren. Der Wandlerfaktor des VHF-Stromwandlers ESV-Z1 ist im Bereich 20 bis 300 MHz nahezu konstant und durch den Codiereingang des ESVP erfaßbar. Die Antennenfaktoren der Meßantennen lassen sich individuell in den ESVP eingeben. Die Meßempfänger ESH 3 und ESVP decken den Hauptfrequenzbereich von 14 kHz bis 1 GHz ab. Breitbandstörungen werden direkt in dBµA/MHz oder in dBµV/m·MHz angezeigt. Mit den ZF-Bandbreiten 1 MHz, 120 und 12 kHz (bei Modell 56 des ESVP auch 100 und 10 kHz) lassen sich Schmal- und Breitbandstörungen unterscheiden. Im Rahmen der Entstörungsmaßnahmen erweist sich die Vierpolmeßmöglichkeit von ESH 3 und ESVP als besonders vorteilhaft zur Aufnahme des Frequenzgangs von Entstörfiltern, zur Messung der Schirmdämpfung von Kabeln, des Scheinwiderstandes von Abblock-Maßnahmen und der Übersprechdämpfung benachbarter Leitungen.

Funkkontrolle

Hohe Meßgenauigkeit, geringer Treffehler, hohe Übersteuerungsfestigkeit und dynamische Selektion prädestinieren diese Meßempfänger auch für Aufgaben der Funkkontrolle. Die ZF-Bandbreiten, alle gängigen Demodulationsarten wie AM und FM, SSB (USB, LSB), N0N (A0), A1A und A1B (A1) sowie ein Squelch mit digital beliebig einstellbarer Schwelle (ESVP) sind gute Voraussetzungen für diesen Einsatz. Neben Pegelmesssungen besteht eine Reihe weiterer Meßmöglichkeiten: Frequenzfernmessung über den Rückmischgeneratorausgang, Frequenzablage-, Frequenzhub- und Modulationsgradmessung sowie Messung von Pegelschwankungen in einer vorgebenen Meßzeit (Max/Min-Messungen).

Software-Unterstützung

Da der Applikationsschwerpunkt der Meßempfänger ESH 3 und ESVP im Bereich der automatischen Störmeßtechnik liegt, wurde für sie, zusammen mit dem Spectrum Monitor EZM und der Option EZM-B2, die Störmeß-Software EZM-K1 [11] erstellt. Auf diese Weise werden die Meßempfängersysteme mit einer Ansteuerung von Netznachbildungen, Antennenmast und Meßobjekt-Drehtisch erweitert. Alle in der EMI-Meßtechnik üblichen Meßwandler sind in den Meßaufbau mit einbezogen. Die Software enthält Programme zur Messung von:

- Funkstörspannung,
- Funkstörleistung,
- Funkstörfeldstärke bei Zündstörungen,
- Funkstörfeldstärke (allgemein),
- Messung geleiteter Störungen nach MIL-STDs,
- Messung von Störfeldstärken nach MIL-STDs.

Zu jedem Programm gibt es eine Test Library, in der Meßspezifikationsdateien abgelegt sind und eine Data Library, die Dateien mit Meßergebnissen enthält. Die Meßergebnisse können mit Druckern oder Plottern grafisch und als Meßwertlisten mit den nötigen Kommentaren versehen ausgegeben werden.

Wolf Schreyer, Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Schreyer, W.: Auf Spezialanwendung „gezüchtet" (Funkstörmeßempfänger). Markt&Technik 7 (1984) Nr. 13, S. 175 – 177.

[2] Danzeisen, K.; Stecher, M.: Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS. In dieser Schrift S. 61 – 64.

[3] Schreyer, W.: Für Funk-Meßzwecke Meßempfänger ESH 3. Funkschau 53 (1981) Nr. 7, S. 67 – 69.

Zubehörausstattung

Zur Messung von Nutz- und Störsignalen sowie für Servicezwecke wurde eine Reihe wichtiger Zubehörteile entwickelt und bereitgestellt. Die folgenden Tabellen fassen diese Artikel in übersichtlicher Form einschließlich der Applikationsfälle zusammen:

Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz

Bezeichnung		Bestell-Nr.	Verwendbar für:	Applikation
Stabantenne	HFH 2-Z1	335.3215.52	ESH 2/3/S	Feldstärke (E-Feld)
Rahmenantenne	HFH 2-Z2	335.4711.52	ESH 2/3/S	Feldstärke (H-Feld)
Rahmenantenne	HFH 2-Z3	335.6214.52	ESH 2/3/S	Feldstärke (H-Feld)
Ind. Tastantenne	HFH 2-Z4	338.3016.52	ESH 2/3/S	Feldstärke (H-Feld)
Dachdurchführung	HFH 2-Z5	335.5718.02	ESH 2/3/S	Feldstärke (HFH 2-Z2)
Stabantenne	HFH 2-Z6	837.1866.54	ESH 2/3/S	Feldstärke (E-Feld, MIL)
Stativ	HFU-Z	100.1114.02	ESH 2/3/S	Feldstärke (HFH 2-Z2/Z3)
HF-Stromwandler	ESH 2-Z1	338.3516.52	ESH 2/3/S	Strommessung
Aktiver Tastkopf	ESH 2-Z2	299.7210.52	ESH 2/3/S	Hochohmige Spannungsmessung
Passiver Tastkopf	ESH 2-Z3	299.7810.52	ESH 2/3/S	Hochohmige Spannungsmessung
24-V-Adapter	ESH 2-Z4	338.4512.02	ESH 2, ESV	Externer-DC-Betrieb
Netznachbildung	ESH 2-Z5	338.5219.52	ESH 2/3/S	Funkstörspannungsmessung (VDE/FCC)
19″-Adapter	ESH 2-Z6	338.4312.02	ESH 2, ESV	Rack-Integration
Service-Kit	ESH 2-Z7	338.4112.00	ESH 2, ESH 3	Service
Schreiberkabel	ESH 3-Z1	349.6011.02	ESH 3, ESVP	Verb.-Kabel zu XY-Schreiber (ZSKT)
Impulsbegrenzer	ESH 3-Z2	357.8810.52	ESH 2, ESH 3	Schutz des Empfängereinganges
Vorverstärker	ESH 3-Z3	827.8016.52	ESH 2, ESH 3	Hochempfindliche Messungen
T-Netznachbildung	ESH 3-Z4	800.1510.52	ESH 2/3/S	Funkstörspannungsmessung
2-Leiter-V-Netznachbildung	ESH 3-Z5	831.5518.52	ESH 2/3/S	Funkstörspannungsmessung
V-Netznachbildung	ESH 3-Z6	836.5016.52	ESH 2/3/S, ESV/P/S	Funkstörspannungsmessung
Störmeß-Software	EZM-K1	837.2562.02	ESH 3, ESVP	Störemissions-Messungen; zivil, militärisch

Frequenzbereich 20 MHz bis 1300 MHz

Bezeichnung		Bestell-Nr.	Verwendbar für:	Applikation
Dipolantenne	HUF-Z1	253.0113.55	ESV, ESVP/S	Feldstärke (E-Feld, H-Feld)
Log.-per. Antenne	HL 023 A1	577.8017.02	ESV, ESVP/S	Feldstärke (E-Feld, H-Feld)
Stativ	HFU-Z	100.1114.02	ESV, ESVP/S	Feldstärke (HUF-Z1, HL 023 A1)
Mast	HFU-Z	100.1120.02	ESV, ESVP/S	Feldstärke (HUF-Z1, HL 023 A1)
Bikonische Antenne	HK 116	4000.7752.02	ESV, ESVP/S	Feldstärke (E-Feld, H-Feld)
Log.-per. Antenne	HL 223	4001.5501.02	ESV, ESVP/S	Feldstärke (E-Feld, H-Feld)
Kon.-log Spiralantenne	HUF-Z4	837.2210.52	ESV, ESVP/S	Feldstärke (E-Feld, H-Feld)
Holzstativ	HZ-1	837.2310.02	ESH 2/3/S, ESV/P/S	Feldstärke (HFH 2-Z6, HUF-Z2, 3, 4)
Stromzange	ESV-Z1	353.7019.02	ESV, ESVP/S	Strommessung
Absorberzange	MDS-21	194.0110.50	ESV, ESVP/S	Funkstörleistungsmessung
24-V-Adapter	ESH 2-Z4	338.4512.02	ESV, ESH 2	Externer-DC-Betrieb
19″-Adapter	ESH 2-Z6	338.4312.02	ESV, ESH 2	Rack-Integration
Service-Kit	ESV-Z2	353.7319.02	ESV	Service
Vorverstärker	ESV-Z3	397.7014.52	ESV	Hochempfindliche Messungen
Schreiberadapter	ESV-Z4	800.8015.02	ESH 2, ESV	Aufzeichnung von Spektren
Service-Kit	ESVP-Z1	358.1019.02	ESVP	Service
Schreiberkabel	ESH 3-Z1	349.6011.02	ESVP, ESH 3	Verb.-Kabel zu XY-Schreiber (ZSKT)
Störmeß-Software	EZM-K1	837.2562.02	ESH 3, ESVP	Störemissions-Messungen; zivil, militärisch

[4] Danzeisen, K.: Meßempfänger ESH 2 und Feldstärkemeßgerät HFH 2 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1979) Nr. 87, S. 4 – 7.

[5] Wolf, J.: Messung von Umgebungsstörungen mit neuem Modell des Meßempfängers ESH 2. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 117, S. 31 – 33.

[6] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESH 3 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1980) Nr. 89, S. 8 – 12.

[7] Danzeisen, K.: Meßempfänger ESV und Feldstärkemeßgerät HUF für 20 bis 1000 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1982) Nr. 98, S. 8 – 10.

[8] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESVP für 20 MHz bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

[9] Wolf, J.: Panorama Monitor EPM für die Darstellung von ZF-Spektren. Neues von Rohde & Schwarz (1988) Nr. 121, S. 14 – 16.

[10] Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. In dieser Schrift S. 29 – 34.

[11] Stecher, M.: Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen. In dieser Schrift S. 77 – 86.

Der Spectrum Monitor EZM steigert die Effizienz der Meßempfänger ESH 3 (bis 30 MHz) und ESVP (bis 1,3 GHz) und erweitert ihren Einsatzbereich. Er dient als ZF-Analysator mit hoher Auflösung und liefert in der HF-Analyse eine Bildschirmdarstellung der präzisen Empfänger-Meßergebnisse für Feldstärke- und Störmeßtechnik (EMI), Funkkontrolle und Funküberwachung. Die Controller-Option EZM-B2 erlaubt programmgesteuerte Messungen mit EZM, den Meßempfängern und weiteren IEC-Bus-steuerbaren Geräten.

Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik

Der Spectrum Monitor EZM (BILD 1) ist ein Sicht- und Steuergerät für die Meßempfänger ESH 3 für 9 kHz bis 30 MHz [1] und ESVP für 20 bis 1300 MHz [2]. Mit EZM, weiterem bekannten Meßempfänger-Zubehör und zusätzlichen Komponenten wie Drucker, Plotter und Farbmonitor entsteht ein vielseitiges, komfortables Meßsystem für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik (BILD 2 und 3).

Mit seinem hochauflösenden 9-Zoll-Bildschirm läßt sich der EZM nicht nur als Panorama-Adapter für die ZF-Analyse einsetzen, er übernimmt auch Aufgaben eines Steuerrechners zur grafischen Darstellung und Auswertung der Empfänger-Meßergebnisse. Mit seiner Firmware-Intelligenz bietet er einen enormen Fortschritt bezüglich Meßgeschwindigkeit, Auswertung und Protokollierung der Meßergebnisse. Der EZM wird über eine Softkey-Struktur mit hierarchischer Ordnung bedient, die den Benutzer führt und ihm aussagekräftige Tastenbeschriftungen liefert. Die Softkeys werden unterstützt durch einige Hardkeys, die für alle Menüs gleichermaßen verwendet werden (numerische Tastatur und einige weitere Tasten), sowie einen Rollkey. Zur Eingabe von Kommentaren auf Hardcopies dient die Rechnertastatur PCA-Z1.

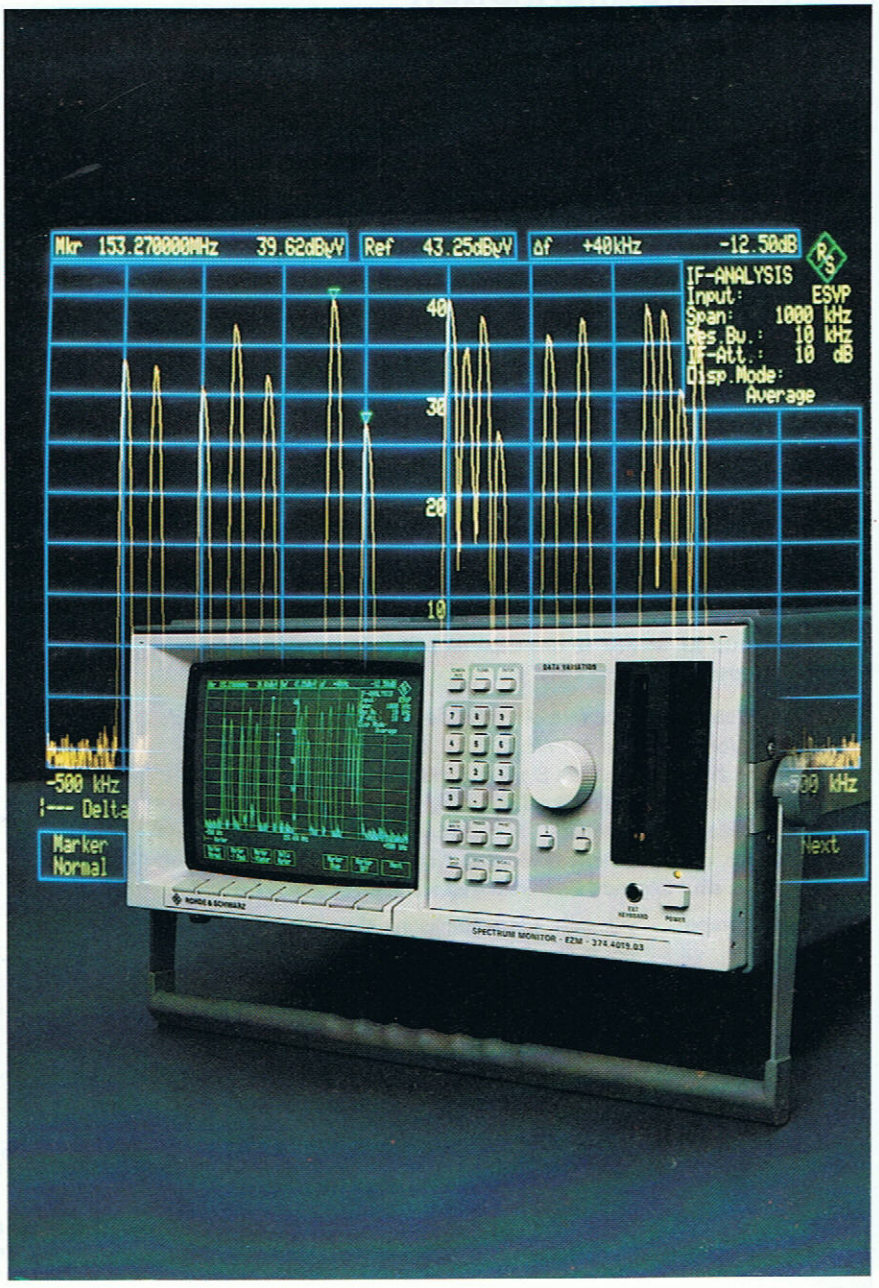


BILD 1 EZM mit Option EZM-B2 – Spectrum Monitor und frei programmierbarer Controller in einem Gerät. Dabei können Rechner und Monitor jeweils einen getrennten Bildaufbau verwalten. Die Umschaltung zwischen den beiden Bildschirmen ist über die abgesetzte Tastatur oder programmgesteuert möglich.

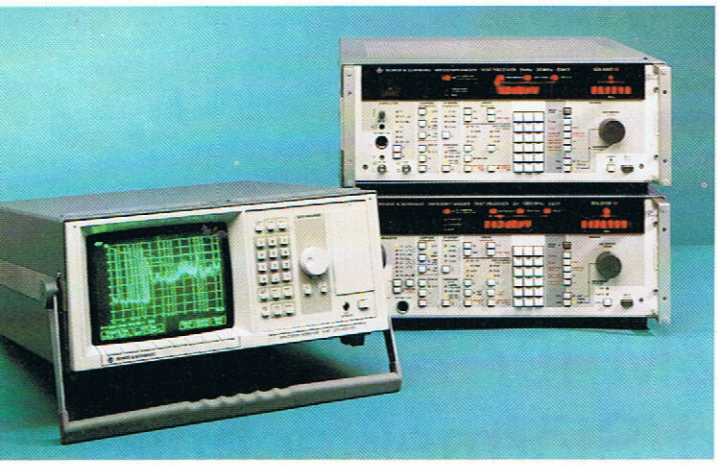


BILD 2 Der Spectrum Monitor EZM (links) erweitert die Meßempfänger ESH 3 und ESVP (rechts oben) zu einem leistungsstarken Meßsystem.

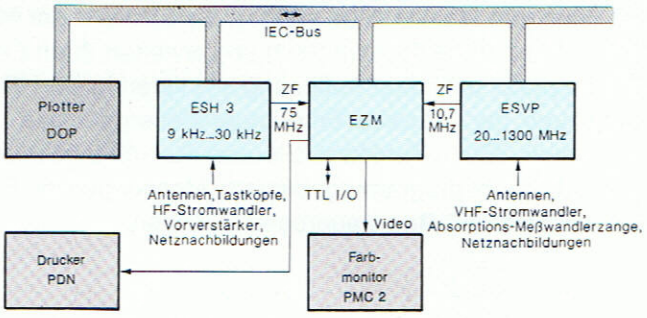


BILD 3 Schema des Meßsystems mit EZM, ESH 3 oder ESVP, deren Zubehör und Ergänzungen.

Meßmöglichkeiten

Wesentliche Aufgabe des Spectrum Monitors EZM ist die spektrale Darstellung des HF-Signals am Eingang der Meßempfänger. Hierfür bietet der EZM drei Funktionen: **ZF-Analyse, HF-Analyse und kombinierte HF-/ZF-Analyse** (Spektrum- und Bandbelegung). Ein RAM mit einem Speicherumfang von 512 kByte dient dabei zum Speichern einer großen Anzahl von Meßwerten bei der HF-Analyse, zum Ablegen von Meßkurven und zum Zwischenspeichern für die Ausgabe von Plotter- und Druckerprotokollen während weiter ablaufender Messungen.

ZF-Analyse

Bei der ZF-Analyse arbeitet der Meßempfänger auf einer festen Frequenz; er mißt und demoduliert das empfangene Signal innerhalb seiner ZF-Bandbreite, während der ZF-Analysator (EZM) das Spektrum in der Umgebung der Empfängerfrequenz darstellt. Die maximale Darstellbreite von 2 MHz kann schrittweise bis auf 1 kHz reduziert werden. Die Analysebandbreiten betragen 0,03/0,1/0,3/1/3 und 10 kHz, die Pegeldarstellbereiche 20, 50 und 100 dB. Modell 56 des EZM enthält zusätzlich die Bandbreite 0,01 kHz.

Als Wobbeloszillator wird ein schneller Synthesizer verwendet. Sein Vorzug liegt in der eindeutigen Zuordnung der Wobbelfrequenz zur X-Achse. Das System Synthesizer – A/D-Wandler – Mikroprozessor – Grafikaufbereitung ist schnell genug für sieben Durchläufe pro Sekunde (Darstellbreite 2 MHz, Auflösebandbreite 10 kHz, normaler Refresh-Modus). Neben dem normalen Refresh-Modus sind folgende **Bewertungen** wählbar:

- Average — Sukzessive logarithmische Mittelwertbildung bei jedem Durchlauf,
- Max. Hold — Sukzessive Spitzenwertbildung bei jedem Durchlauf,
- Max./Min. — Sukzessive Maximum- und Minimum-Spitzenwertdarstellung zur Erkennung intermittierender Aussendungen.

Die wichtigsten Empfängerdaten wie Frequenz, HF-Dämpfung und ZF-Bandbreite werden über die IEC-Bus-Verbindung zum Empfänger ständig ins Bild eingeblendet (BILD 4). Mit Hilfe der Meßempfänger-Kalibriergeneratoren ist auch eine Pegelkalibrierung des EZM-Schirmbildes per Tastendruck möglich.

Zum Vermessen des Spektrums dient ein einstellbarer Marker. Mit ihm kann auch eine neue Empfängerfrequenz voreingestellt werden (Marker → Center). Für die Messung von Pegeldifferenzen ist ein zweiter Marker (Delta-Marker) vorhanden. In einem Screen-Info-Feld werden die wichtigsten Einstelldaten angegeben und sind somit auf Hardcopies festgehalten (BILD 5).

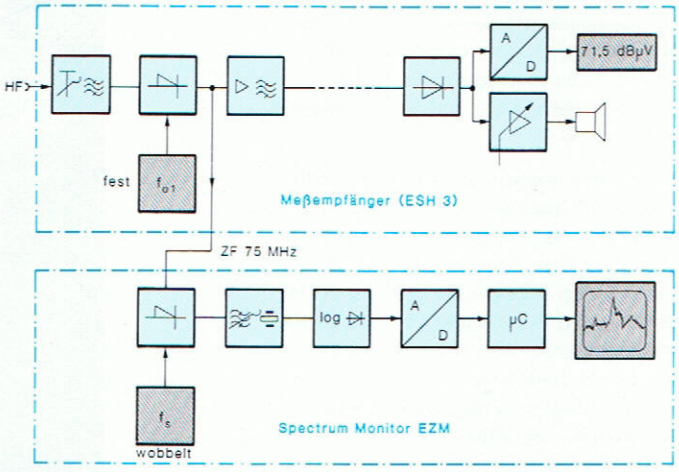


BILD 4 Bei der ZF-Analyse steht der Meßempfänger auf einer festen Frequenz, während der Synthesizer des EZM wobbelt. Der Übersichtlichkeit wegen sind nur ein Meßempfänger und nur die ZF von 75 MHz dargestellt.

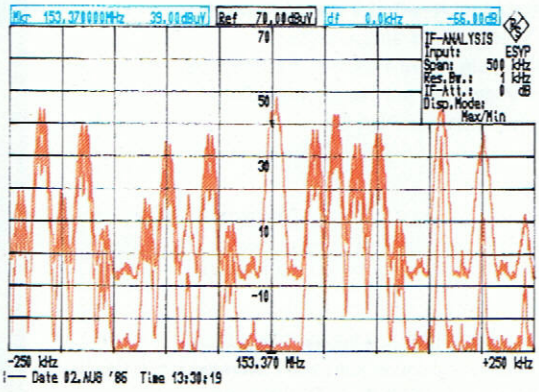


BILD 5 Plotter-Hardcopy eines ZF-Analyse-Ergebnisses mit Maximum/Minimum-Darstellung. Deutlich erkennbar sind wechselnde Modulation und intermittierende Aussendung.

Die ZF-Analyse läßt sich auch mit anderen (handbedienten) Empfängern durchführen, sofern sie – wie die R&S-Meßempfänger ESH 2 und ESV – die gleichen Zwischenfrequenzen haben. Empfängerdaten können dann natürlich nicht eingeblendet werden.

HF-Analyse

Im Fall der HF-Analyse ist der ZF-Analyseteil des EZM außer Betrieb. Der EZM fungiert als Bus-Steuergerät für die angeschlossenen Empfänger, deren Pegelmeßergebnisse er auf dem Bildschirm darstellt. Im allgemeinen werden die Meßempfänger dabei in konstanten Schritten abgestimmt (Scan-Modus), die etwas kleiner sind als die gewählte ZF-Bandbreite (BILD 6).

Nachdem für einzelne Teilfrequenzbereiche unterschiedliche Analysebandbreiten und auch sonstige Empfänger-Einstellungen gebraucht werden, wird dem Anwender eine Auswahl von **Softkey-Menüs** angeboten, mit deren Hilfe er das Analysebild und den eigentlichen Meßablauf zusammenstellen kann:

- „Graphic Menu" zur Erzeugung von Frequenz- und Pegelraster. Bis zu fünf Grafiken können batteriegepuffert gespeichert werden,

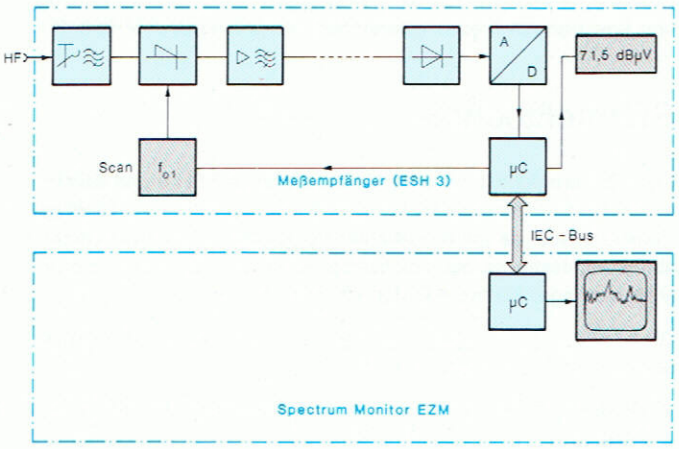


BILD 6 Bei der HF-Analyse werden Scan-Meßergebnisse der Empfänger durch den EZM dargestellt und ausgewertet.

- „Limit Menu" zur Festlegung von Grenzwertlinien-Datensätzen für die Störmeßtechnik. Bis zu zehn Grenzwertlinien mit je 16 Eckpunkten können batteriegepuffert gespeichert werden,
- „Transducer Factors" zur Eingabe der frequenzabhängigen Korrektur-Faktoren von Meßwandlern (Antennen, HF-Stromwandlern usw.),
- „Scan Menu" zur Definition der Teilfrequenzbereiche mit deren Meßempfänger-Einstellungen,
- „Scan Sequence Menu" zur Zusammenstellung verschiedener Teilabläufe zu einem Gesamtablauf einschließlich der Zuordnung der Wandler-Faktoren zu den Teilabläufen,
- „Control Menu" zur Steuerung des Frequenzablaufs wie Starten, Unterbrechen, Fortsetzen und Abbrechen mit Untermenüs zum Auswerten der Ergebnisse: Das „Marker Menu" dient zum Ausmessen des Spektrums, das „Zoom Menu" zum Spreizen sehr dichter Abschnitte. Der EZM hat ausreichend Speicherplatz für alle Meßwerte üblicher Frequenzabläufe bei Störmessungen (bis zu 25000 Werte). Der Zoom-Vorgang ersetzt ein nochmaliges Messen mit gespreizter Frequenzachse. Auch ein Spreizen der Y-Achse (Pegel) ist möglich.
- Ein Menü „Section" erlaubt die Definition eines Frequenzbereich-Ausschnitts für Nachmessungen an besonders kritischen Stellen. Zur Unterscheidung von Umgebungsstörungen von Meßobjektstörungen bei Freifeldmessungen und zur Subtraktion einer Grunddämpfung bei Vielpolmessungen dient die „Difference Analysis"; die „Acceptance Analysis" liefert Störungen, die einen vorgegebenen Grenzwert um einen bestimmten Betrag überschreiten.

Bei der HF-Analyse werden die mit der hohen Genauigkeit der

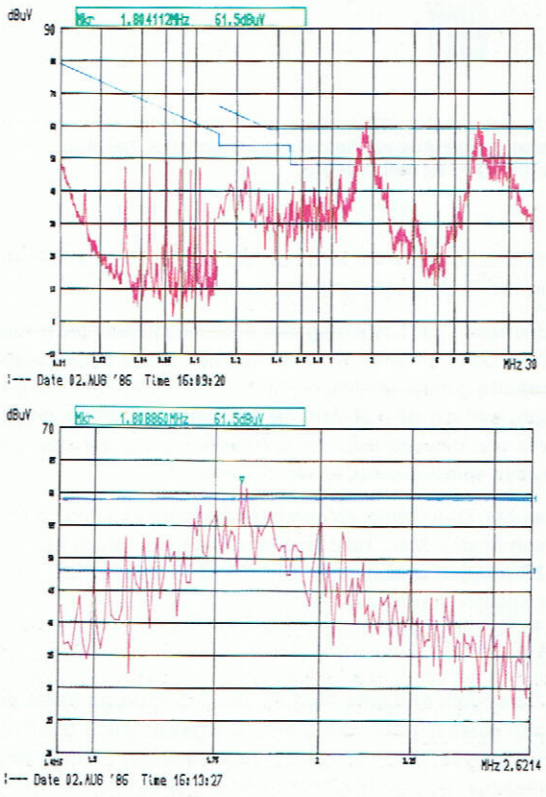


BILD 7 Ergebnis einer HF-Analyse (Funkstörspannungsmessung) mit Grenzwertlinien. Oben Gesamtansicht und unten Ausschnitt (Zoom).

Meßempfänger ermittelten Ergebnisse mit größtmöglicher Geschwindigkeit dargestellt und zeitlich effizient ausgewertet (BILD 7).

HF-/ZF-Analyse

Bei der HF-/ZF-Analyse handelt es sich um eine erweiterte ZF-Analyse, bei der so viele ZF-Analyse-Spans wie nötig zu einer Spektrumsdarstellung mit linearer oder logarithmischer Frequenzachse zusammengesetzt werden. Dabei wird die Empfängerfrequenz durch den EZM jeweils um einen ZF-Analyse-Span weitergeschaltet (BILD 8). Der EZM bestimmt die Auflösebandbreiten. Auch hier ist der Benutzer in der Lage, Teilbereiche mit unterschiedlichen Analysebandbreiten zu definieren.

Die Bedienung ähnelt der bei der HF-Analyse; einige Menüs sind identisch, und zwar das Grafik-Menü, das Grenzwert-Menü und das Wandlungsfaktor-Menü. Es werden Grenzwerte und Wandlungsfaktoren wie bei der HF-Analyse verwendet. Aber:

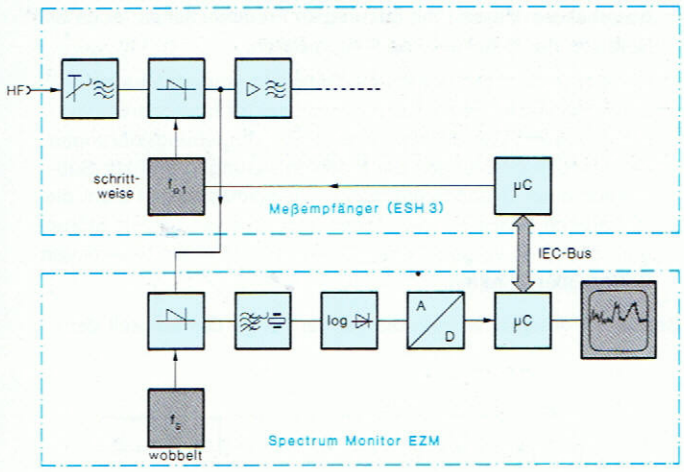


BILD 8 Bei der HF-/ZF-Analyse wird die Meßempfängerfrequenz in Schritten von ZF-Analyse-Spans weitergeschaltet. Der Auswerteteil des Meßempfängers ist außer Betrieb.

Anstatt des Scan-Menüs wird hier ein Sweep-Menü zur Festlegung der Teilfrequenzbereiche benutzt,

und das Menü zur Steuerung des Frequenzablaufs beim Analyse-Vorgang (Control Menu) ist einfacher als bei der HF-Analyse. Zur Auswertung genügt ein Marker-Menü. Diese Vereinfachung ist möglich, weil die HF-/ZF-Analyse schneller abläuft als die HF-Analyse und deshalb statt eines Zoom-Vorgangs der gewünschte Ausschnitt selbst gewobbelt werden kann.

Die bei der ZF-Analyse verwendeten Bewertungsarten Normal (Refresh Mode), Max. Hold und Max./Min. sind auch bei der HF-/ZF-Analyse einschaltbar. Die HF-/ZF-Analyse dient vor allem der schnellen Voranalyse zur Überprüfung von Entstörmaßnahmen in der Störmeßtechnik und für Aufgaben der Funkkontrolle (BILD 9).

Eine besonders effiziente Analyse von Störspektren bietet das Aufrufen eines mit der HF-/ZF-Analyse gemessenen Spektrums in der HF-Analyse, die Festlegung eines kritischen Frequenzausschnittes mit dem Section Menu und die zeitsparende Nachmessung des Störspektrums an der entscheidenden Stelle mit dem Meßempfänger (HF-Analyse). Mit Hilfe der HF-/ZF-Analyse des EZM und des Modells 56 des ESH 3 ist es auch möglich, Störspektren ab 20 Hz zu messen [3].

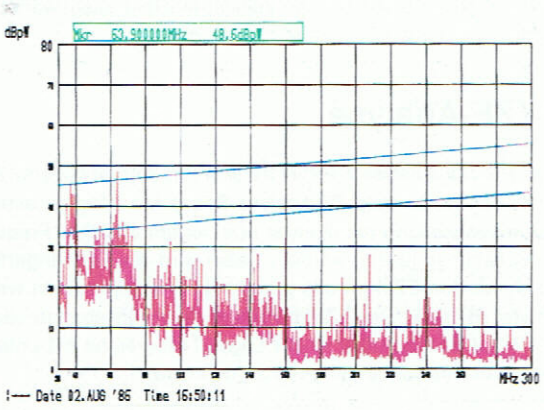


BILD 9 Ergebnis einer HF-/ZF-Analyse (Funkstörleistungsmessung mit der Absorptionsmeßwandlerzange MDS-21 und dem Meßempfänger ESVP).

Einsatzschwerpunkte

Funkkontrolle und Funküberwachung

Ganz wesentlich ist hier die ZF-Analyse, die das Spektrum in der Umgebung des empfangenen Signals darstellt, während der Meßempfänger das selektierte Signal mißt, demoduliert und hörbar macht. Wichtig sind dafür auch die steilen Analysefilter 3 und 10 kHz des EZM (6 dB/60 dB-Verhältnis bei 10 kHz ist 1:3,3), mit deren Hilfe jedes einzelne Signal auch bei dichter Belegung mit Signalen unterschiedlichen Pegels ohne unnötige Verlangsamung des Ablaufs selektiert werden kann.

Zur Auswertung dienen folgende Funktionen:

- „Average" entspricht einem Videofilter, das jedoch durch Mittelung der Ergebnisse von Einzel-Scans mit gleichbleibender Sweep-Zeit arbeitet,
- „Max. Hold" und „Max./Min." zum Erkennen von Spitzenhüben und von intermittierenden Aussendungen,
- „Marker": Mit ESH 3 und ESVP werden Frequenz und Pegel eines Signals, bezogen auf den Empfängereingang, angezeigt. Mit der Funktion Marker → Center wird eine ausgewählte Frequenz zur Empfängerfrequenz.

Die Analysearten HF- und HF-/ZF-Analyse dienen zur Darstellung von Spektren mit Frequenzbereichen, die größer als 2 MHz sind.

Störmeßtechnik

Der EZM ermöglicht mit dem Meßempfängern ESH 3 und ESVP die im Frequenzbereich 20 Hz bzw. 9 kHz bis 1000 MHz wichtige Spektrumsanalyse mit eingebauter Vorselektion. Die hohe Übersteuerungsfestigkeit bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit dieser Meßempfänger kommt dadurch voll zum Tragen.

Die Lösung der Meßaufgabe ist auf optimale Weise mit adäquaten Hilfsmitteln möglich, und zwar durch:

- Grafiken mit Grenzwertlinien in den Stufen HF- und HF-/ZF-Analyse,
- HF-/ZF-Analyse zur schnellen Voranalyse des Störspektrums,
- Max./Min.-Darstellung der ZF-Analyse neben allen bekannten Verfahren zur Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen,
- Spitzenwertmessung der Meßempfänger mit einstellbarer Meßzeit während der HF-Analyse,
- Marker- und Zoom-Menüs zum Auswerten der HF-Analyseergebnisse,
- Einsatz von Rechner-Software für die automatische Schmalband-/Breitbandunterscheidung und die Quasi-Peak-Messung bei Überschreitung von Grenzwerten,
- HF-Analyse und Vierpolmessung zum Erfassen der Frequenzgänge von Entstörfiltern und der Schirmdämpfung von Kabeln, Steckverbindungen und Gehäusen,
- Akzeptanzanalyse zur Bestimmung aller Meßwerte über der Akzeptanzlinie, die einen frei definierbaren Offset von einer vorher bestimmten Grenzwertlinie hat,
- Erweiterung des EZM durch die Option Zwei Microfloppy-Laufwerke mit Betriebssystem MS-DOS und Basic [6] und Ergänzung der Störmeßsoftware EZM-K1 [4].

Labor und Prüffeld

Der große Meßbereich, verbunden mit hoher Selektivität und Übersteuerungsfestigkeit, legt den Einsatz des Meßplatzes ESH 3/ESVP/EZM als **selektiven Spannungsmesser** bei hohen Anforderungen nahe. Anwendungsbeispiele sind Nachbarkanal- und Nebenwellenmessungen an Sendern, Intermodulations-, Kreuzmodulations- und Klirrfaktormessungen an Verstärkern und Konvertern. Für komplexe Serienmessungen an Baugruppen und Sendeanlagen, die unterschiedliche ZF-Bandbreiten und Anzeigearten der Meßempfänger und zusätzliche Analysefunktionen des EZM erfordern, ist ein Rechnerprogramm sinnvoll.

Aufbau

Der **ZF-Analyseteil** des EZM hat Eingänge für 10,7 und 75 MHz mit Dämpfungseinstellern zur Pegelanpassung an die verwendeten Empfänger. Die Eingangs-ZF von 10,7 MHz wird auf 75 MHz umgesetzt. Der **Wobbelsynthesizer** (71,5 MHz ± 1 MHz) setzt auf eine ZF von 4,5 MHz um. Die Schrittweite des Synthesizers ist immer kleiner als ein Drittel der Auflösebandbreite. Die kleinste Schrittweite beträgt 1 Hz (Näheres in [5]). Meßempfänger und ZF-Analysator können mit derselben Quarzfrequenz betrieben werden. Damit besteht ein durchgehendes Synthesizer-Konzept mit hoher Stabilität, das alle Meßempfängeroszillatoren bis zur ZF-Panoramadarstellung einschließt. Zur **Pegelkalibrierung** dient ein steuerbarer ZF-Verstärker; die **ZF-Selektion** besteht aus einer fünfstufigen Quarzfilteranordnung mit umschaltbarer Bedämpfung der Quarz-Serienresonanz und einem zusätzlichen Quarzfilter zur Erhöhung der Flankensteilheit. Der **ZF-Logarithmierer** hoher Genauigkeit und Stabilität hat einen Dynamikbereich von 100 dB.

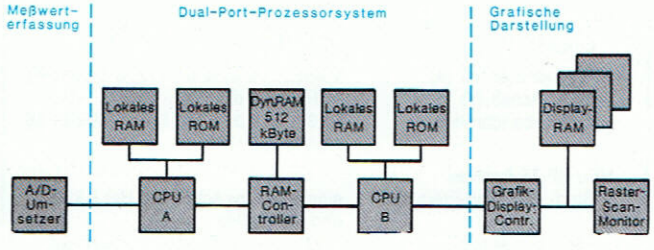


BILD 10 Prozessorsystem des EZM (Prinzipschaltung).

Zur **Steuerung und Anzeige** dienen ein System aus zwei **Mikroprozessoren** – einem dynamischen RAM-Controller mit 512 kByte RAM und einem Graphic-Display-Controller mit Bildschirm-RAM (drei Planes für Helligkeits- bzw. Farbinformation mit Look-up-table) – sowie der **Raster-Scan-Monitor** mit einer Auflösung von 1024 × 512 Bildpunkten [6]. Umfangreiche µP-Peripherie steuert die internen Baugruppen und externen Systemgeräte (BILD 10).

Der EZM ist in **Modulbauweise** aufgebaut. Alle Baugruppen sind unabhängig voneinander austauschbar, die HF-Baugruppen in moderner Kassettentechnik ausgeführt. Eine zusätzliche Rundumbeplankung ergibt hervorragend große Störfestigkeit und minimale Störstrahlung. Selbsttest- und Überwachungseinrichtungen gewährleisten ein hohes Maß an Service-Freundlichkeit und Funktionssicherheit.
Das **Stromversorgungsmodul** verwendet für hohen Wirkungsgrad bei gleichzeitiger Störstrahlungsarmut einen sekundär getakteten Wandler mit 200 kHz Wandlungsfrequenz. Er ermöglicht **Netz- und Batteriebetrieb** (24 V), wodurch der EZM auch zusammen mit ESH 3 und/oder ESVP in Funkmeßfahrzeugen eingesetzt werden kann. Ausgeschaltet und an Netz oder Batterie betrieben, verbleibt der Spectrum Monitor im Standby-Mode.

Controller-Funktion zum EZM

Aufgaben eines Controllers zum Steuern des EZM

Neben der Messung und Darstellung von Spektren gibt es in einem automatischen Meßsystem Aufgaben, die für ein allgemeines Softkey-Menü zu umständlich, zu speziell oder zu umfangreich sind.

Solche **Aufgaben** sind:

- Dialogbetrieb zur Festlegung von automatischen und interaktiv gesteuerten Meßabläufen.
- Speichern von Meßabläufen, Grenzwertlinien und Meßwandlerfaktoren auf einem Massenspeichermedium.
- Einstellungen, Messungen und Entscheidungen, abhängig von Meßergebnissen.
- Sondermeßaufgaben, die das Messen auf verschiedenen Frequenzen mit unterschiedlichen Anzeigearten und Meßbandbreiten erfordern.
- Erweiterung des Meßplatzes. Externe Geräte wie Meßsender, Relais-Matrizen, Antennenmaste und Drehtische sind anzusteuern.
- Speichern von Meßergebnissen auf Massenspeichermedien.

Die Lösung dieser Aufgaben erfordert einen frei programmierbaren Rechner mit einem Standardbetriebssystem und einer Standardprogrammiersprache. Der EZM bietet für die Nachrüstung der Rechnerfunktion eine Reihe von Voraussetzungen:

9-Zoll-Raster-Scan-Display mit hoher Auflösung,
eingebaute Floppy-Disk-Schnittstelle,
Keyboard-Anschluß,
Drucker-Schnittstelle,
ausreichenden, frei verfügbaren RAM-Speicher,
IEC-Bus-Schnittstelle mit Controller-Funktion,
serielle Schnittstelle,
TTL-I/0-Schnittstelle,
Anschlüsse für einen externen Color-Monitor.

Controller-Option EZM-B2

Durch Einbau der Option Zwei Microfloppy-Laufwerke mit Betriebssystem MS-DOS und Basic EZM-B2 in den EZM lassen sich die genannten und vom EZM allein nicht lösbaren Forderun-

gen erfüllen. Die Option EZM-B2 arbeitet mit dem Betriebssystem MS-DOS 3.1. Zusätzlich wird durch die Implementierung des leistungsfähigen Rohde & Schwarz-Basic die Software-Kompatibilität zur PCA- und PSA-Familie gewährleistet. Als Massenspeicher für Betriebssystem (Dienstprogramme, Schnittstellentreiber), Programme (Standard- und Benutzer-Software) sowie Daten (Programmdaten, Meßwerte und -einstellungen) dienen die zur Option gehörenden zwei 3½-Zoll-Microfloppy-Laufwerke. Die Laufwerke werden in das Grundgerät EZM eingebaut; die formatierte Speicherkapazität beträgt jeweils 720 kByte. Darüber hinaus kann an den EZM die Doppel-Floppy-Disk-Station PZ-11 mit zwei 5¼-Zoll-Laufwerken (formatierte Kapazität jeweils 1,2 MByte) angeschlossen werden. Der mit der Option EZM-B2 realisierte Steuerrechner setzt auf dem Hardware-Konzept des EZM auf. Das Betriebssystem MS-DOS läuft dabei als konkurrierender, aber eigenständiger Prozeß auf einem Mikroprozessor 80186 im Echtzeitbetriebssystem des EZM. Die Schnittstellentreiber, die beim Booten von MS-DOS geladen werden, ermöglichen den MS-DOS-Programmen den Zugriff auf Hardware-Komponenten wie Tastatureinheit, hochauflösenden Bildschirm für Text und Grafik und Echtzeituhr sowie auf alle externen Schnittstellen des EZM (IEC-Bus, serielle Schnittstelle X.21, Centronics-Druckerschnittstelle).

Die Steuerung von Meßabläufen sowie die Übertragung von Geräteeinstellungen und Meßwerten vom EZM-Controller zum EZM-Spectrum Monitor und umgekehrt erfolgt über eine virtuelle IEC-Bus-Schnittstelle; dadurch ist der EZM-Controller in der Lage, externe Geräte über die reale und den Spectrum Monitor über die virtuelle IEC-Bus-Schnittstelle anzusteuern.

Der gesamte Bildspeicher im EZM umfaßt 1024 Zeilen zu je 1024 Punkten. Dies entspricht dem doppelten Umfang des tatsächlich dargestellten Bildbereichs, wodurch es möglich wird, daß Controller-Option und Spectrum Monitor jeweils einen getrennten Bildaufbau verwalten können. Die Umschaltung zwischen beiden Bildteilen erfolgt per Tastatur oder programmgesteuert, die Bedienung des EZM-Steuerrechners über die extern angeschlossene Tastatur PCA-Z1.

Die integrierte Systemlösung – **Spectrum Monitor und frei programmierbarer Controller in einem Gerät** – bietet einige wesentliche **Vorzüge** im Vergleich zu anderen Lösungsmöglichkeiten. Als Vorteile gegenüber der Lösung „Rechner steuert Empfänger" sind zu nennen:

- keine aufwendige Steuer-Software notwendig, da der Spectrum Monitor bereits leistungsfähige Auswertefunktionen hat,
- deutlich höhere Meß- und Verarbeitungsgeschwindigkeit des EZM als beispielsweise bei Steuerung durch Basic-Programm,
- zusätzliche Funktionen (ZF- und HF-/ZF-Analyse) des Spectrum Monitors.

Die Vorteile gegenüber der Lösung „Externer Controller steuert EZM" sind:

- kompakter Meßaufbau durch in das Meßgerät integrierten Steuerrechner,
- einfachere, übersichtlichere Programmierung und Bedienung (Benutzerschnittstelle Tastatur/Bildschirm ist nur einmal vorhanden),
- gemeinsame Hardware ermöglicht dem Controller Zugriff auf EZM-Hardware-Komponenten, EZM-Meßwertspeicher (direkt) und externe Schnittstellen,
- die Stromversorgung des EZM sieht – wie bei ESH 3 und ESVP – neben Netz- auch Batteriebetrieb vor, was den EZM mit Controller-Option auch für mobile Einsätze interessant macht.

Separate MS-DOS-Rechner wie die Process Controller PCA und PSA bieten gegenüber der Option EZM-B2 eine höhere Scroll-Geschwindigkeit beim Editieren, weitere Programmiersprachen und neben Floppy-Disk-Laufwerken ein Winchester-Laufwerk. Der Vorteil des integrierten Controllers gegenüber dem externen zur Steuerung des EZM liegt also vor allem in den Punkten Kompaktheit und Bedienungserleichterung bei intensiver Anwendung fertiger Basic-Programme mit dem Spectrum Monitor EZM.

Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESH 3 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1980) Nr. 89, S. 8 – 12.

[2] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESVP für 20 bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

[3] Stecher, M.: Meßempfängersystem EP-6 für Störmessungen nach VG-Normen und MIL-Standards. In dieser Schrift S. 75 – 76.

[4] Stecher, M.: Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen. In dieser Schrift S. 77 – 86.

[5] Ortler, G.: Das unecht gebrochene Teilverhältnis: Synthesizer für „krumme" Frequenzen. Funkschau 56 (1984) Nr. 9, S. 50 – 53 (Teil 1), Nr. 10, S. 66 – 67 (Teil 2).

[6] Criegee, T.; Wolle, J.: Schnelle Meßwertverarbeitung mit Dual-Port-Prozessorsystem. Elektronik 32 (1983) Nr. 25, S. 65 – 70.

KURZDATEN SPECTRUM MONITOR EZM

Bildschirm	9" (Diagonale 216 mm), P31 (grün)
Grafikauflösung	1024 × 512 Punkte
ZF-Analyse	
Eingangs-ZF	10,7/75 MHz (für ESVP, ESH 3)
Frequenz-Achse (X)	1 kHz . . . 2 MHz (in 1/2/5 Schritten)
Pegel-Achse (Y)	20/50/100 dB
Auflösebandbreiten	0,03/0,1/0,3/1/3/10 kHz; Modell 56 zusätzl. 0,01 Hz
HF-/HF-ZF-Analyse	
Start- und Stop-Frequenz	einstellbar zwischen (20 Hz) 9 kHz und 1300 MHz
Frequenz-Achse	1 kHz . . . 1300 MHz, lin. oder log.
Pegel-Achse	2 . . . 200 dB, 1-dB-Raster
Schnittstellen	IEC 625-1 (IEEE 488), Parallel-Interface, User Port, Videoausgänge für Farbmonitor und Videoprinter

EZM mit EZM-B2

Betriebssystem	MS-DOS 3.1
Programmiersprache	R&S-Basic
Speicherbereich für Basic Programm/Daten/Labels	41/41/10 kByte
Microfloppy-Laufwerk-Kapazität, formatiert	2 × 720 kByte
Alphanumerische Darstellung	
Zeilenzahl	24 + 1 Statuszeile + 2 für Softkeys
Zeichensatz	ASCII, 128
Einzelpunktgrafik	1024 × 512 Punkte
Schnittstellen	IEC 625-1, RS-232-C, Centronics
Bestellnummern EZM/EZM-B2	374.4019.03/816.0019.02

Der EMI-Meßempfänger ESAI verbindet die ausgezeichneten technischen Eigenschaften der Rohde & Schwarz-EMI-Meßempfänger mit der Geschwindigkeit der Spectrum Analyzer von Rohde & Schwarz. Innovative Meßtechnik und hoher Bedienkomfort erfüllen die ständig wachsenden Anforderungen in bezug auf Wirtschaftlichkeit und Zukunftssicherheit in hohem Maße und bieten dem Anwender gleichzeitig eine Alternative zu der weltweit bekannten R&S-Meßempfängerfamilie.

ESAI – Erster normgerechter EMI-Meßempfänger mit zusätzlichen Spektrumanalysator-Vorteilen

Der EMI-Meßempfänger ESAI (BILD 1) ist der **Spezialist für EMV-Messungen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 1,8 GHz.** Er zeichnet sich durch **hohe Empfindlichkeit, Übersteuerungsfestigkeit und Meßgenauigkeit** aus. Die integrierten Meß- und Auswertefunktionen vereinfachen und beschleunigen alle Messungen nach den einschlägigen industriellen und militärischen Normen wie **CISPR, VDE, FCC, EN, VCCI, MIL, DEF-STAN, BS, DO 160, GAM EG 13.**

BILD 1 Der EMI-Meßempfänger ESAI bietet neben ausgezeichneten und überzeugenden Meßempfängereigenschaften erstmals alle Vorteile eines Spektrumanalysators der Spitzenklasse, kombiniert in einem Gerät.

EMI-Meßtechnik – innovativ und überzeugend

Die bewertende Messung von Störimpulsen nach CISPR stellt an den Meßempfänger außerordentlich hohe Anforderungen. Seine Eigenschaften sind in der CISPR-Publikation 16 definiert. Die erforderliche hohe Übersteuerungsfestigkeit gegen Breitbandsignale wird von der im ESAI integrierten Vorselektion sichergestellt. Hierbei handelt es sich um insgesamt zehn feste und vier mitlaufende Filter, die automatisch in den Signalpfad eingeschaltet beziehungsweise synchron zur Empfangsfrequenz abgestimmt werden. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ist zusätzlich nach der Vorselektion ein zuschaltbarer, rauscharmer Vorverstärker mit 10 dB oder 20 dB Verstärkung eingebaut.

Der unvermeidliche Frequenzgang von Vorselektion und Vorverstärker wird durch eine individuell in der Fertigung vermessene EPROM-Korrekturkurve eliminiert und macht weitere Frequenzgangkalibrierungen überflüssig – die damit erzielte Amplitudengenauigkeit beträgt ±1,5 dB.

Für die Messung energiereicher Impulse, wie sie beim Messen leitungsgebundener Störungen häufig vorkommen, steht im Frequenzbereich von 20 Hz bis 200 MHz ein impulsfester zweiter Eingang zur Verfügung. Dieser Eingang ist durch eine in die BNC-Eingangsbuchse eingesetzte Schmelzsicherung und integrierte Überspannungsableiter zusätzlich geschützt (100 Wpeak / 10 µs).

An den entscheidenden Punkten des Signalpfades ist eine automatische Übersteuerungsüberwachung integriert. Durch sie wird der gesamte Frequenzbereich des Meßempfängers, unabhängig vom gerade eingestellten Frequenzbereich des Gerätes, kontrolliert. Diese Maßnahme erhöht die Meßsicherheit wesentlich.

Entscheidend für eine CISPR-konforme, bewertende Messung sind die hohe Empfindlichkeit und die außergewöhnliche Aussteuerungsfähigkeit des EMI-Meßempfängers [1]. Für das Rauschmaß werden Werte von etwa 14 dB erreicht (ohne Vorverstärker); der 1-dB-Kompressionspunkt liegt bei 112 dBµV. Durch diese hervorragenden Werte ist es möglich, auch Einzelimpulse im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1000 MHz, die ein Bewertungsmaß von 43,5 dB erfordern, normgerecht zu erfassen.

Im EMI-Meßempfänger ESAI stehen die verschiedenen Detektoren für Maximum, Minimum, Mittelwert, Effektivwert und Quasi-Spitzenwert gleichzeitig zur Auswertung zur Verfügung. Dies trägt wesentlich zur Beschleunigung von Meßabläufen bei; beispielsweise arbeitet bei einer bewertenden Messung die Bereichsautomatik (Autorange) intern stets mit dem schnellen Spitzenwertdetektor und führt anschließend eine bewertende Messung durch.

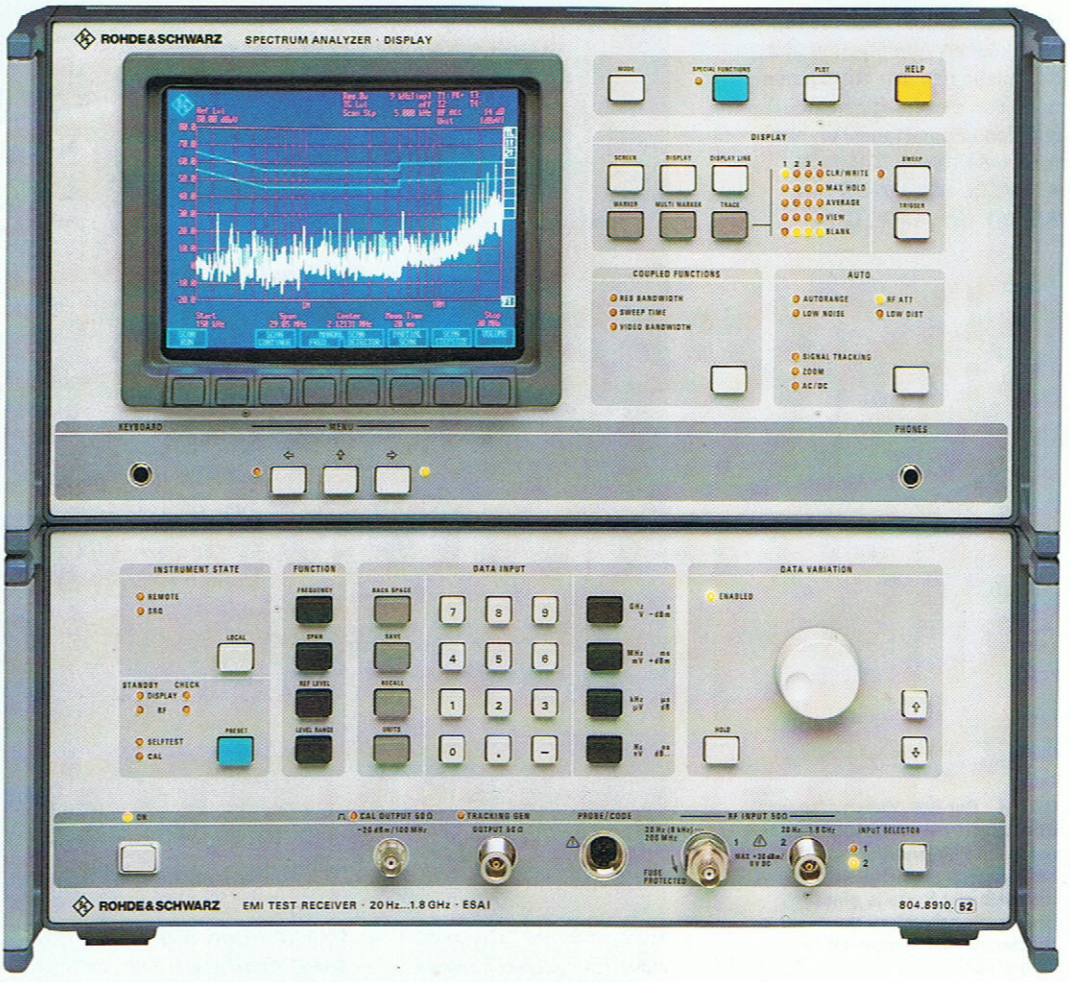


BILD 2 Einfache Bedienung und übersichtliche Darstellung der Meßergebnisse zeichnen den EMI-Meßempfänger ESAI von Rohde & Schwarz aus.

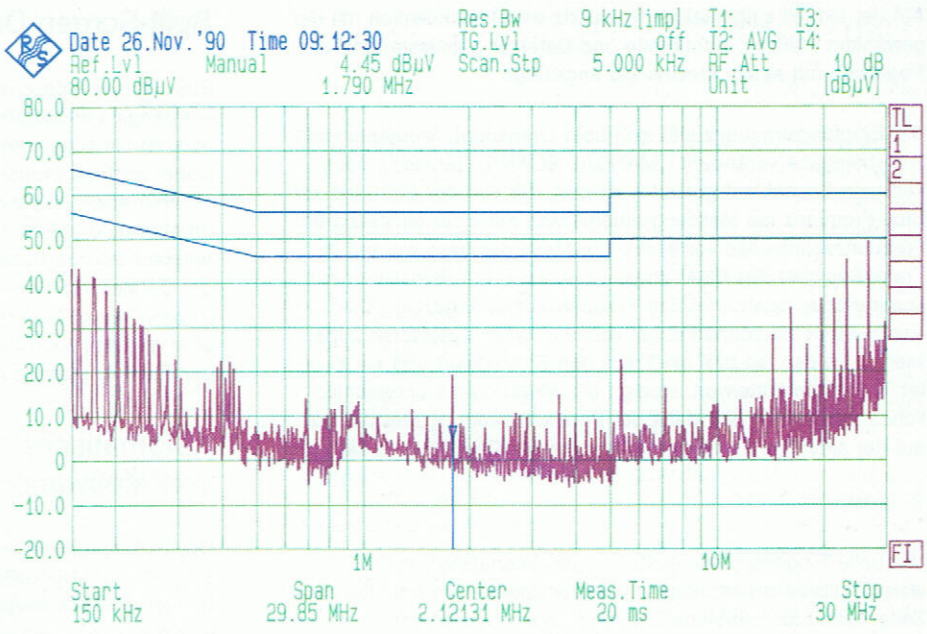


BILD 3 Ergebnis einer Funkstörspannungsmessung mit Grenzwertlinien nach CISPR 22.

In der Störmeßtechnik wird oft die **akustische Auswertung zusätzlich zur Pegelanzeige** eingesetzt, um die **Art der Störung identifizieren** zu können. Hier leisten die eingebauten AM/FM-Demodulatoren des ESAI gute Dienste, wenn z.B. bei einer Freifeldmessung Signale aus der Umgebung erkannt werden müssen, die sonst das Meßergebnis verfälschen könnten.

Neben der **eingebauten Sinuskalibrierquelle** auf 100 MHz verfügt der ESAI zusätzlich über eine **Pulskalibrierquelle,** die in der Pulsfrequenz von 1 Hz bis 1000 Hz einstellbar ist. Damit läßt sich die CISPR-Bewertungskurve auf einfache Weise kontrollieren. Darüber hinaus steht ein **Tracking-Generator** zur Verfügung, der sich vorteilhaft für alle einschlägigen Messungen der EMV-Technik einsetzen läßt.

Hoher Meßkomfort

Für das „EMV-gerechte Design" von Produkten werden in zunehmendem Maße **EMI-Messungen schon während der Geräteentwicklung,** beispielsweise auf Baugruppenebene, durchgeführt. Diese Messungen sind notwendig, um später keine kostspieligen Änderungen wie etwa nachträglicher Einbau von Abschirmungen, zusätzliche Filtermaßnahmen usw. vornehmen zu müssen. Schließlich soll das neue Produkt die abschließenden EMV-Zulassungsprüfungen direkt bestehen, um termingerecht in den Markt eingeführt zu werden.

Von besonderer Bedeutung sind daher **schnelle und genaue Übersichtsmessungen in der Entwicklung.** Gerade hier trägt der nach **ergonomischen Gesichtspunkten gestaltete** ESAI (BILD 2) mit seinen **Spektrumanalysator-Fähigkeiten** zur Einsparung von Entwicklungszeit bei: Im Übersichtsmodus (OVERVIEW) wird das gesamte Störsignalspektrum auf dem Bildschirm des ESAI dargestellt. Aufgrund der schnellen Sweepzeit in dieser Analysator-Betriebsart und dem Peakdetektor **erfaßt bereits eine einzige Meßreihe einen weiten Frequenzbereich** und gibt sofort Aufschluß über die vom Meßobjekt ausgesendeten Störsignale.

Neben den in den Normen vorgeschriebenen ZF-Auflösebandbreiten nach CISPR (200 Hz, 9 kHz und 120 kHz) und MIL (dekadisch gestuft von 10 Hz bis 1 MHz) läßt sich die ZF-Selektion für schnelle Übersichtsmessungen zur Optimierung der Sweepzeit quasikontinuierlich einstellen. Zusätzlich lassen sich mit der MAX HOLD-Funktion – eventuell parallel zur aktuellen Darstellung der Meßergebnisse – die „Worst-case"-Störsignalpegel schnell und auf einfache Weise ermitteln. Das gemessene Störsignalspektrum kann auf dem Bildschirm mit linearer oder logarithmischer Frequenzachse dargestellt werden.

Bis zu acht unterschiedliche Grenzwertlinien lassen sich eingeben und auf dem Bildschirm einblenden. Interessant ist die Möglichkeit, eine bereits definierte Grenzwertlinie kopieren und anschließend diese zweite Linie komplett im Pegel beispielweise um 6 dB oder 10 dB nach unten (Akzeptanzlinie) verschieben zu können. Damit wird **ein definierter Abstand zu einem Normgrenzwert vorgegeben,** den das Meßobjekt einhalten muß, um auch Abnahmemessungen bestehen zu können (BILD 3). Eine Überschreitung der Grenzwertlinien erkennt der EMI-Meßempfänger automatisch und zeigt dies auch an.

Die erwähnten Eigenschaften des ESAI prädestinieren ihn **zur schnellen Ermittlung von Störsignalspektren,** wobei diese Messungen bereits Rückschlüsse zulassen auf Art und Typ der Störsignale sowie deren möglichen Ursprung im Gerät. Mit Hilfe der Grenzwert- und Akzeptanzlinien lassen sich die näher zu untersuchenden Frequenzbereiche bereits stark einengen, so daß ein deutlich geringerer Meßaufwand, beispielsweise für anschließende bewertende Messungen, und damit ein entsprechender Zeitgewinn entsteht.

Schneller Scan-Ablauf mit flexiblen Möglichkeiten

Im SCAN-Modus ist der ESAI in seinen funktionalen Möglichkeiten direkt mit einem traditionellen Meßempfänger vergleichbar:

Auf der aktuell eingestellten Frequenz wird kontinuierlich mit der gewählten Meßzeit, Bandbreite und Detektor gemessen und der Pegelwert mit einem Meßmarker angezeigt.

Die Empfangsfrequenz läßt sich über Drehknopf, Steptasten oder Zifferneingabe verändern („MANUAL SCAN"). Darüber hinaus kann ein Scanablauf gestartet werden, der von der Start- bis zur Stop-Frequenz die Messung automatisch mit einer einstellbaren Frequenzschrittweite vornimmt. Die Meßergebnisse werden im Trace-Speicher des ESAI abgelegt und auf dem Bildschirm mit linearer oder logarithmischer Frequenzachse angezeigt. Die **vier Trace-Speicher** können dabei verschiedenen Detektoren zugewiesen werden, so daß ein Trace den Spitzenwert und ein zweiter Trace den Mittelwert anzeigt. Die Messung mit unterschiedlichen Detektoren wird dank der Parallelanordnung gleichzeitig auf der aktuellen Frequenz vorgenommen. Damit lassen sich **die gewünschten Meßergebnisse mit einem einzigen Scanablauf ermitteln.**

Manuelle Eingriffsmöglichkeiten in den Scanablauf und wahlweise Teilbereichsnachmessungen reduzieren den erforderlichen Zeitaufwand für komplette EMI-Messungen beträchtlich:

- Bei einer schnellen „Worst-case"-Messung mit dem Spitzenwertdetektor kann beispielsweise beim Überschreiten der Grenzwert- oder Akzeptanzlinie der Scanablauf unterbrochen werden, um mit dem manuellen Meßmarker diese kritischen Frequenzen nachzumessen. Dabei läßt sich auch mit der Quasi-Spitzenwertanzeige messen. Anschließend kann der Scanablauf vom Meßmarker aus mit dem Spitzenwertdetektor fortgesetzt werden.
- Ergibt sich nach Abschluß einer kompletten Messung über einen Frequenzbereich die Notwendigkeit, bestimmte Frequenzbereiche nochmals nachzumessen, so muß nicht der gesamte Scanablauf wiederholt werden. Es genügt, mit zwei Frequenzlinien einen Teilbereich auf dem Display zu definieren, um bei einem erneuten Scanablauf genau diesen interessierenden Teilbereich nachzumessen, wobei die vorher gemessenen Ergebnisse erhalten bleiben.

Split-Screen-Display

Eine weitere Möglichkeit, die Meßergebnisse des EMI-Meßempfängers aussagekräftig darstellen und interpretieren zu können, ist die sogenannte „Split-Screen"-Darstellung (BILD 5). Dabei wird die Ergebnis-Darstellung in zwei übereinander angeordnete Anzeigebereiche aufgeteilt, wobei sich im oberen und unteren Grid unterschiedliche Trace-Speicher und damit auch unterschiedliche Detektoren darstellen lassen. Diese Möglichkeit der Darstellung bietet sich für die **Unterscheidung der Meßergebnisse in Schmalband- und Breitband-Signale** an, kann aber generell auch zur besseren optischen Unterscheidung bei der Parallelmessung mit mehreren Detektoren dienen.

Automatische Berücksichtigung von Meßwandlern

Die Meßergebnisse werden vom ESAI immer mit der korrekten Einheit angezeigt (dBµV, dBµV/m, dBµA usw.). Die für die bisherigen Meßempfänger von Rohde & Schwarz vorgesehenen Meßwandler lassen sich natürlich auch in Verbindung mit dem EMI-Meßempfänger ESAI einsetzen.

Für die automatische Berücksichtigung von frequenzabhängigen Wandlungsmaßen der Meßwandler **werden die Korrekturfaktoren in eine Transducer-Tabelle eingetragen.** Die Interpolation zwischen den Stützwerten wird nach einem mathematischen Verfahren höherer Ordnung durchgeführt, so daß die Eingabe von Maxima und Minima der Korrekturkurve ausreichend ist. Maximal **vier dieser Tabellen stehen zur Verfügung und können auch kombiniert werden.** Dies ist beispielsweise dann wichtig, wenn mehrere Antennen und Zuleitungskabel zum Einsatz kommen. In einer Bereichstabelle (Transducer Range) läßt sich für unterschiedliche Frequenzbereiche definieren, welche Transducer-Tabelle oder welche Kombination von Tabellen berücksichtigt wird.

Weiterhin besteht noch die Möglichkeit, den Scanablauf beim Erreichen eines neuen Bereichs automatisch zu unterbrechen und eine Textzeile auszugeben, die zuvor mit der externen Tastatur eingegeben wurde. Dieser Text fordert beispielsweise zum Wechsel der Meßantennen auf und verdeutlicht die Möglichkeiten des EMI-Meßempfängers ESAI, **auch ohne externen Steuerrechner** bereits einen hohen Grad an Automatisierung für EMI-Messungen nutzen zu können.

TABLE 1 of 2 CONFG TABLES

SELECT TABLE - Enter No. 2

i	F1 MHz	F2 MHz	Res-BW	Time s	PrAmp	PrSel	Li/Lo	Step MHz/%
1	0.010000	0.150000	200Hz	0.005	0	ON	LIN	0.000100
2	0.150000	30.000000	9KHz	0.005	0	ON	LIN	0.005000
3	30.000000	1000.000000	120KHz	0.005	0	ON	LIN	0.050000
4								
5								
6								

Measurement according to CISPR

BILD 4 Konfigurationstabelle zur Bestimmung von Bandbreite, Meßzeit und Schrittweite in den jeweiligen Teilbereichen.

Bei Messungen nach den einschlägigen Normen ist es notwendig, in verschiedenen Frequenzbereichen mit unterschiedlichen Bandbreiten zu messen. Um auch diese Aufgabe in einem Scanablauf automatisch durchführen zu können, kann der Anwender **in einer Konfigurations-Tabelle unterschiedliche Frequenzbereiche definieren.** In diesen Teilbereichen wird dann jeweils mit der gewählten Bandbreite, Meßzeit, Schrittweite usw. gemessen (BILD 4). Das Ergebnis ist **eine komplette EMI-Messung in einem einzigen Scanablauf.**

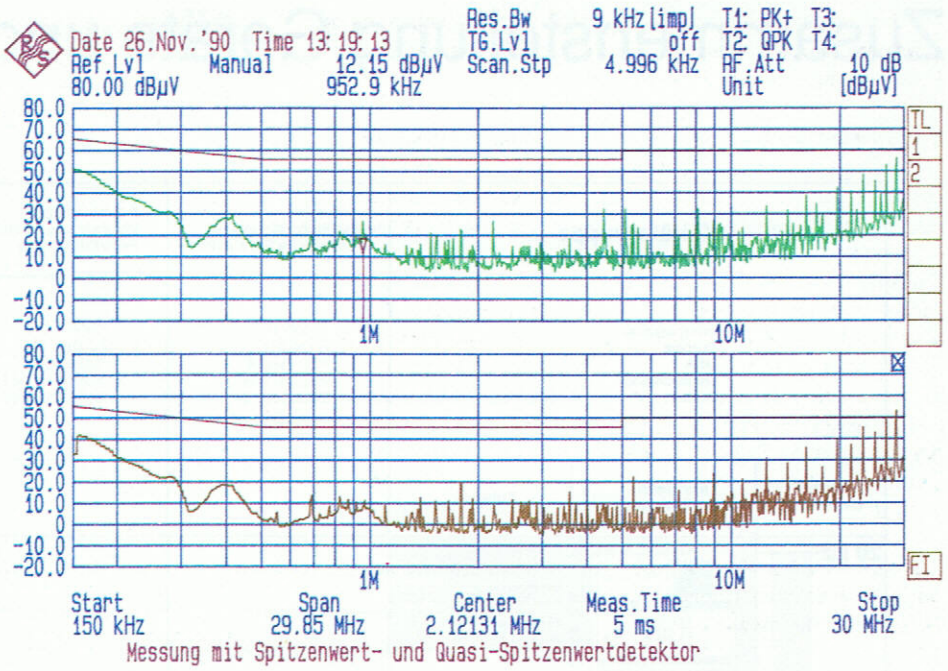


BILD 5 Ergebnis einer Parallelmessung mit Spitzenwert- und Quasi-Spitzenwertdetektor in der „Split-Screen"-Darstellung.

Dokumentation über Drucker und Plotter

Eine aussagekräftige Dokumentation der Meßergebnisse erfolgt über Drucker und Plotter, wobei eine ganze Palette von gängigen Hardcopy-Geräten – monochrom oder Farbe – bis hin zu Laserdruckern vom ESAI unterstützt wird.

Zusätzlich zur **automatischen Einblendung von Uhrzeit und Datum** besteht die Möglichkeit, über die externe Tastatur das Meßergebnis zu kommentieren und beispielsweise Angaben zum Meßobjekt und zu dessen Betriebsart, zur angewendeten Meßvorschrift usw. mit in die Dokumentation einzubringen.

Der EMI-Meßempfänger ESAI löst durch seinen hohen Meßkomfort viele Aufgaben in der EMV-Meßtechnik auch ohne externen Steuerrechner. **Selbstverständlich sind alle seine Funktionen fernsteuerbar – eine Grundvoraussetzung für vollautomatische EMI-Testsysteme.**

Zum ESAI steht zusätzlich ein Softwarepaket für die automatische Störmeßtechnik zur Verfügung, das seine innovative EMI-Meßtechnik mit einer modernen graphischen Benutzeroberfläche verbindet.

Es war das Ziel dieser Neuentwicklung, dem Anwender mit dem ESAI einen EMI-Meßempfänger in die Hand zu geben, der **den ständig wachsenden Anforderungen in bezug auf Wirtschaftlichkeit, Vielfältigkeit und Zukunftssicherheit gerecht wird.** Neben seinem innovativen und überzeugenden EMI-Meßempfänger-Konzept beinhaltet der ESAI als **Spektrumanalysator der Spitzenklasse** alle Vorzüge der FSA-Analyzer-Familie von Rohde & Schwarz [2 – 5].

Jochen Wolle

LITERATUR

[1] Danzeisen, K.; Stecher, M.: Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit den Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS. In dieser Schrift S. 61 – 64.

[2] Evers, C.: Spektrumanalyse bis 5 GHz mit dem Spectrum Analyzer FSB. Neues von Rohde & Schwarz (1989) Nr. 125, S. 4 – 7.

[3] Danzeisen, K.: Spectrum Analyzer FSA für 100 Hz bis 1,8 GHz. Neues von Rohde & Schwarz (1986/87) Nr. 116, S. 4 – 8.

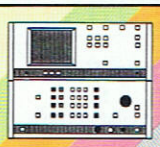
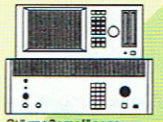
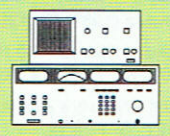
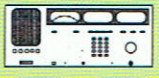
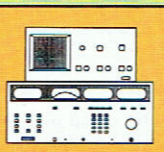
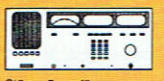
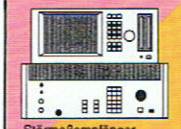
[4] Cohrs, W.; Evers, C.: Spectrum & Network Analyzer FSAS. Neues von Rohde & Schwarz (1988) Nr. 121, S. 17 – 19.

[5] Danzeisen, K.: Frequenzgangkompensation eines Spektrumanalysators. Neues von Rohde & Schwarz (1988) Nr. 123, S. 42.

KURZDATEN EMI TEST RECEIVER ESAI

Frequenzbereich	
Eingang I	20 Hz . . . 200 MHz
Eingang II	20 Hz . . . 1,8 (2,0) GHz
Bandbreiten	200 Hz, 9 kHz, 120 kHz (CISPR)
	10 Hz . . . 1 MHz (dekadisch gestuft, MIL)
	6 Hz . . . 3 MHz (quasikontinuierlich veränderbar, Analyzer Mode)
Detektoren	Maximalwert, Minimalwert
(parallel)	Mittelwert
	Effektivwert
	Quasi-Spitzenwert
Rauschmaß	14 dB (ohne Vorverstärker)
Vorverstärker	0 dB / 10 dB / 20 dB
Vorselektion	zuschaltbar, 10 feste Filterbereiche 4 mitgestimmte Filterbereiche
Fehlergrenzen	±1,5 dB (Pulsbewertung CISPR Band A, B, C/D, Pulsfrequenzen ≥2 Hz) ±2 dB (Einzelimpulse)

Zusammenstellung Geräte und Applikationen

Gerätegruppe			Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte (ISM)	Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, Fern-Entstörung	Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger	Elektrische Betriebsmittel, Haushaltsgeräte, Handwerkzeuge
International Europa USA Deutschland Japan			CISPR 11 EN 55 011 FCC Part 18 VDE 0871 Teil 1 EACL sect. 2	CISPR 12 ECE Nr. 10 SAE J 551 VDE 0879 Teil 1 JASO D001-82	CISPR 13 EN 55 013 FCC Part 15 G VDE 0872 Teil 1 EACL Sect. 3&8	CISPR 14 EN 55 014 FCC Part 15 VDE 0875 Teil 1, 3 EACL Sect. 5
Frequenz-bereich	Meßgeräte u. Systeme	Zubehör				
20 Hz	 Störmeßempfänger ESAI	Störmeßsoftware ES-K1				
		Stromzange Solar 6741.1				
		Rahmenantenne EMCO-7603				
9 kHz	 Störmeßempfänger mit Spectrum Monitor ESH 3 + EZM	Controller Option EZM-B2 + PCA-Z1 Störmeßsoftware EZM-K1				
		Störmeßsoftware ES-K2				
		Stromzange ESH 2-Z1				
		Tastkopf ESH 2-Z2 ESH 2-Z3				
	 Störmeßempfänger mit Panorama Monitor ESHS 10 + EPM	Netznachbildung ESH 2-Z5 ESH 3-Z5 ESH 3-Z6				
		ESH 3-Z4 EZ-10				
		Stativ HFU-Z				
		HZ-1				
		Vorverstärker ESH 3-Z3				
		Stabantenne HFH 2-Z6				
	 Störmeßempfänger ESHS 20, 30	Rahmenantenne HFH 2-Z2				
		Tastantenne HFH 2-Z4				
		Pulsbegrenzer ESH 3-Z2				
30 MHz	 Störmeßempfänger mit Panorama Monitor ESVS 10 + EPM	Stromzange ESV-Z1				
		Vorverstärker ESV-Z3				
		Tastantenne HFV-Z				
		Breitbanddipol HUF-Z1				
		Absorptions-Meßwandlerzange MDS-21				
	 Störmeßempfänger ESVS 20, 30	Log. Per. Antenne HL 023 A1				
		Bikonische Antenne HK 116				
		Log. Per. Antenne HL 223				
1000	 Störmeßempfänger mit Spectrum Monitor ESVP + EZM	Stativ HFU-Z				
		HZ-1				
		Antennenmast HFU-Z				
		HF-Verbindungskabel HZ-5 HZ-6				
1300		HFU 2-Z4 HFU 2-Z5				
1800		Spezialzubehör auf Anfrage			Koppeleinheiten	

In dieser Übersicht finden Sie eine Zusammenfassung von Meßempfängern, Meßwandlern und Zubehör zur Durchführung von Messungen gemäß allen einschlägigen internationalen Normen.

Leuchtstofflampen und Leuchtstofflampenleuchten	Informationstechnische Einrichtungen (ITE)	Militärische Geräte und Einrichtungen	Erläuterungen
CISPR 15 EN 55 015 VDE 0875 Teil 2 EACL Sect. 6&7	CISPR 22 EN 55 022 FCC Part 15 J Vfg 1046/1984 EACL Sect. 4	MIL STD 461 (CE, RE) VG 95373	
			Für autom. Messen mit PSA-Rechner und Meßempfänger ESAI.
		CE 01, 02	empfohlenes Zubehör (nicht bei R&S erhältlich) 20 Hz...100 MHz
		RE 01, 04	
			Zum Einbau in EZM (MS-DOS-Rechner). Tastatur zur Eingabe von Text oder Programmen. Für autom. Messen mit EZM-B2 oder PSA-Rechner und Meßempfängern ESH 3, ESVP u. Spectrum Monitor EZM.
			Für autom. Messen mit PSA-Rechner und Meßempfängern ESHS 10...30, ESVS 10...30.
		CE 03	Störstrommessung
			Störspannungsmessungen auf Leitungen aktiv ≤ 63 Hz bis 100 V passiv ≤ 63 Hz bis 250 V
			Für Störspannungsmessungen auf Leitungen V-Netznachbildung bis 25 A (40 A), 4 Leiter V-Netznachbildung bis 10 A, 2 Leiter V-Bordnetznachbildung bis 200 A, 1 Leiter T-Netznachbildung 4-Draht-T-Netznachbildung (z. B. für ISDN)
		CE 02	
		nur VG-Normen	Für Rahmenantennen HFH 2-Z2
		RE 02, 03, 05	Für Stabantenne HFH 2-Z6
			10 dB für alle Meßempfänger, 10 kHz...30 MHz
		RE 02, 03, 05	Für Messung der elektrischen Feldstärkekomponente breitbandig aktiv
		nur VG-Normen	Für Messung der magnetischen Feldstärkekomponente breitbandig aktiv
			Für Nahfeldmessung 100 kHz...30 MHz
			Für Meßempfänger ESH 3, ESVP mit Netznachbildung ESH 2-Z5, ESH 3-Z5, ESH 3-Z6
		CE 03	Störstrommessung 20...300 MHz (1...600 MHz mit Meßkurve)
			10 dB für alle Meßempfänger
			Für Nahfeldmessung 20...1000 MHz
			Für Störfeldstärkemessung Frequenzbereich 20...80 MHz — für 10 m und 30 m Meßentfernung
			Störleistungsmessung 30...300 MHz (1000 MHz)
			Für Störfeldstärkemessung Frequenzbereich 80...1300 MHz — für 10 m und 30 m Meßentfernung
		RE 05	Frequenzbereich 20...300 MHz — für 1, 3, 10 und 30 m Meßentfernung
		RE 05	Frequenzbereich 200...1300 MHz — für 1, 3, 10 und 30 m Meßentfernung
			Stativ für Mast HFU-Z
		RE 05	Stativ für Antennen HK 116 und HL 223
			manueller Antennenmast für Höhen 1...5 m
			Dämpfungsarme Koaxialkabel — (weitere Kabellängen auf Anfrage) BNC-Kabel 3 m BNC-Kabel 10 m
		RE 02...05	N-Kabel 12 m N-Kabel 7 m
Lampennachbildungen		Durchführungskondensatoren	notwendiges Zubehör empfohlenes Zubehör Stand: Januar 1991

Durch Eigenschaften wie großer Pegelmeßbereich und hohe Übersteuerungsfestigkeit haben sich Meßempfänger von Rohde & Schwarz in vielen Arbeitsgebieten durchgesetzt. Beispiele dafür sind Vierpolmessungen bei besonderen Anforderungen, selektive Spannungsmessungen, Störmessungen nach zivilen und militärischen Standards, Messungen von Nutzsignalen und umfangreiche Funkkontrollaufgaben.

Wozu braucht man Meßempfänger?

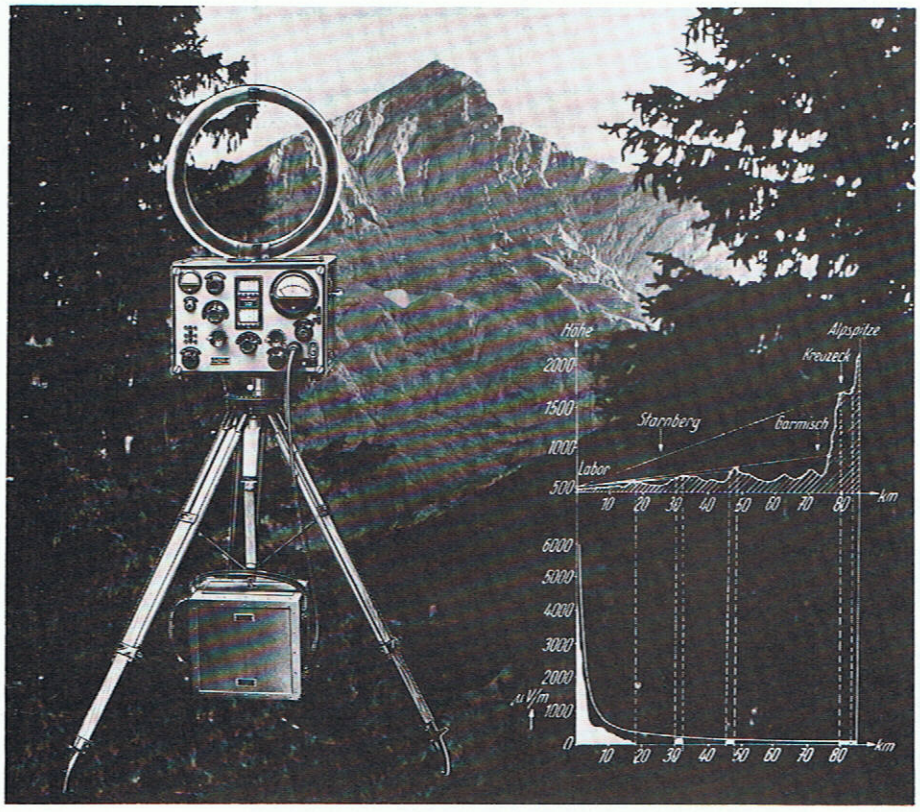


BILD 1
Feldstärkemesser HHF mit Alpspitze im Hintergrund.

Meßempfänger für Labor und Prüffeld, für Stör- und Nutzsignale Zusammenhänge – Vorschriften – Praxis

Meßempfänger und Feldstärkemeßgeräte gehörten bereits zur elektronischen Meßtechnik der dreißiger Jahre. 1937 brachte Rohde & Schwarz den ersten direkt zeigenden Feldstärkemesser heraus und bereits 1938 stand ein komplettes Programm von drei Feldstärkemessern für die Frequenzbereiche 0,1 bis 3 MHz, 2,5 bis 25 MHz und 20 bis 100 MHz zur Verfügung (BILD 1). Es waren Meßempfänger mit abgestimmter Rahmenantenne [1].

Im Laufe mehrerer Gerätegenerationen wurden auch die Meßempfänger laufend dem Stand der Technik und den entstehenden internationalen Meßvorschriften angepaßt. Mit Synthesizertechnik, Digital- und Mikroprozessorsteuerung stellte Rohde & Schwarz in den Jahren 1979 bis 1983 die vier Exponenten der nunmehr vierten Generation vor: die Meßempfänger ESH 2, ESH 3, ESV und ESVP [2]. Im Bereich der Störmeßtechnik stehen mit ESHS und ESVS nun die Exponenten der fünften Generation zur Verfügung.

Mit dem Aufkommen der Wobbelmeßtechnik – vor allem repräsentiert durch die Spektrumanalysatoren – sind viele Meßaufgaben, die früher durch punktweise Messung mit Meßempfängern und selektiven Mikrovoltmetern gelöst wurden, von dieser Technik übernommen worden. Das betrifft vor allem die Bereiche allgemeine Labor-, Service- und Prüffeldmeßtechnik. Andererseits sind die Anforderungen an die Meßempfänger gestiegen, und neue Aufgaben sind hinzugekommen wie Störmeßtechnik, Messung von Modulation, Frequenz, Bandbelegung und Feldstärkestatistik, so daß die Meßempfänger nicht „arbeitslos" wurden. Einige Ausstattungsmerkmale haben zur Durchsetzung der neuen Meßempfängergenerationen beigetragen: Vielseitigkeit, Synthesizer, Kalibrierung, einfache Bedienung und angepaßtes Zubehör.

Wesentliche Merkmale des Meßempfängers

Im Gegensatz zum Spektrumanalysator **verweilt der Meßempfänger auf der Frequenz,** bei der er mißt. Auch Spektrumanalysatoren können heute mit Nullhub auf einer festen Frequenz stehen. Doch sind die Meßempfänger in stärkerem Maße darauf gezüchtet, Auswertungen bei fester Frequenz durchzuführen. Sie haben:

- ZF-Filter mit hoher Flankensteilheit und Bandbreiten, die an die durch den Frequenzbereich erfaßten Funkdienste und Meßvorschriften angepaßt sind,
- verschiedene Bewertungsarten für die Pegelanzeige. (Die CISPR-QP-Anzeige **erfordert** ein Verweilen auf einer Frequenz; bei schwankenden Signalen auch die Mittel- und Spitzenwertanzeigen),
- an die Funkdienste angepaßte NF-Demodulatoren und eingebauten Lautsprecher,
- Einrichtungen zur Messung von Modulationsgrad und Frequenzhub,
- Analog-Registrierausgänge.

Weitere Merkmale von Meßempfängern sind:

- ein **niedriges Rauschmaß und hohe Übersteuerungsfestigkeit** (hohe Intercept-Punkte 2. und 3. Ordnung) und eingebaute Vorselektion für gute Weitabselektions-Eigenschaften, die in allen Anwendungsbereichen gefragt sind, besonders in der Störmeßtechnik [3].
- eingebaute **Kalibriergeneratoren** zur Pegelkalibrierung bei jeder Frequenz. Bei den R&S-Meßempfängern ESH 2, ESH 3 und ESVP sind es Mitlaufgeneratoren, deren Ausgänge auch für **Vierpolmessungen** zur Verfügung stehen.
- eine große Auswahl an passendem **Zubehör** wie Netznachbildungen, Tastköpfe, HF-Stromwandler und Meßantennen. Dabei unterstützen die R&S-Meßempfänger ihr Zubehör durch **Codierung des Wandlungsmaßes** am Meßempfänger einerseits und **eingebbare Datensätze des Wandlungsmaßes** andererseits besonders wirkungsvoll.

Messungen in Labor- und Prüffeld

Durch Eigenschaften wie großen Pegelmeßbereich und hohe Übersteuerungsfestigkeit haben sich Meßempfänger in wesentlichen Bereichen dieses großen Arbeitsgebietes durchgesetzt. Dazu gehören:

Vierpolmessungen bei besonderen Anforderungen

Die Meßempfänger ESH 2, ESH 3 und ESVP haben **eingebaute Mitlaufgeneratoren zur Kalibrierung der Pegelmessung.** Ausgänge mit einer EMK von 86 dBµV bei ESH 2 und ESH 3 erlauben Dämpfungsmessungen bis zu 110 dB und Verstärkungsmessungen bis 57 dB und mit einer EMK von 96 dBµV beim ESVP ebenfalls Dämpfungsmessungen bis zu 110 dB und Verstärkungsmessungen bis 47 dB. Man kann also beispielsweise mit ESH 2/3 **Frequenzgänge bis zu 167 dB** (!) messen. Welcher Networkanalyzer kann das? BILD 2 zeigt den Kurvenverlauf eines selektiven Verstärkers mit einem Frequenzgang von 140 dB.

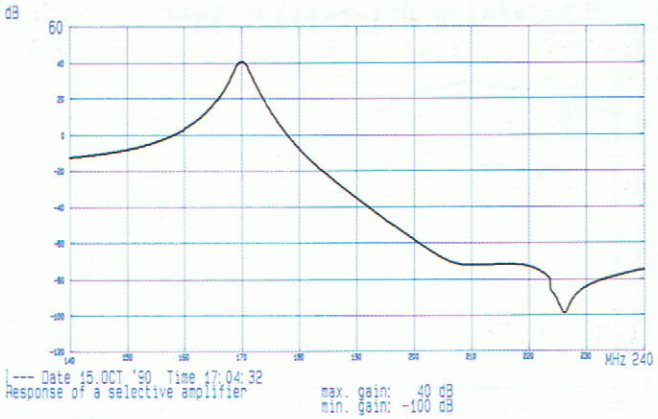


BILD 2 Frequenzgang eines selektiven Verstärkers.

Ein **Dämpfungsmeßbereich von 110 dB** enthält Reserven für einige besondere Anwendungsfälle. In der **Störmeßtechnik** hat man oft mit sehr geringen Quellimpedanzen zu tun. Bei der **Frequenzgangmessung von Entstörfiltern** muß die niedrige Quellimpedanz (z.B. 1 Ω) durch einen Spannungsteiler nachgebildet werden (BILD 3). Mehr über die Messung von Entstörfiltern in [4, 5].

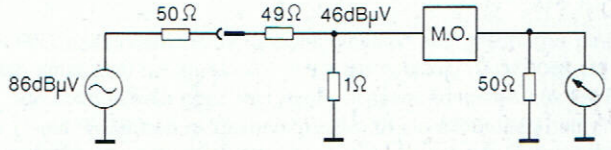
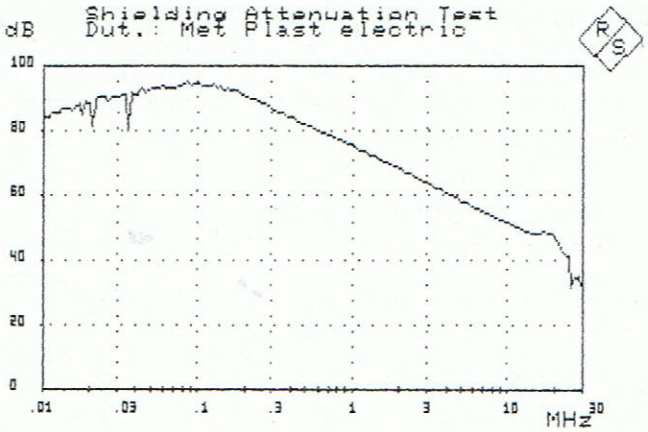


BILD 3 Auch mit einem Spannungsteiler für 1 Ω Quellwiderstand verbleibt noch ein Dämpfungsmeßbereich von 76 dB.

Von Bedeutung für die Störmeßtechnik ist auch die Messung der **Schirmdämpfung** von Kabelschirmen, Steckverbindungen und Gehäusen bis hin zur Schirmdämpfungsmessung von HF-Kabinen [6, 7, 8]. Bei der Vermessung von Gehäusen und HF-Kabinen muß meist mit Meßsendern und Leistungsverstärkern gearbeitet werden, weshalb die Vierpolmeßmöglichkeit des Empfängers allein hier nicht mehr ausreicht. Dennoch dient auch dabei der Meßempfänger dank seiner Empfindlichkeit, die ja Sendeleistung spart, als Indikator. Bei Frequenzen bis 30 MHz ist die vergleichende Messung von elektrischer und magnetischer Schirmdämpfung von Interesse (BILD 4).

Relativ gering ist der Aufwand für die Messung der Schirmdämpfung von HF-Kabeln und Steckverbindungen, wenn man anstatt eines unter anderem in [6] angegebenen Meßrohres eine in [9] angegebene Anordnung mit einem HF-Stromwandler (ESH 2-Z1) benutzt (BILDER 5 und 6).

Ebenfalls in den Bereich der Vierpolmessungen gehört die Messung von Gewinn und Richtdiagrammen von **Antennen** auf Frei-



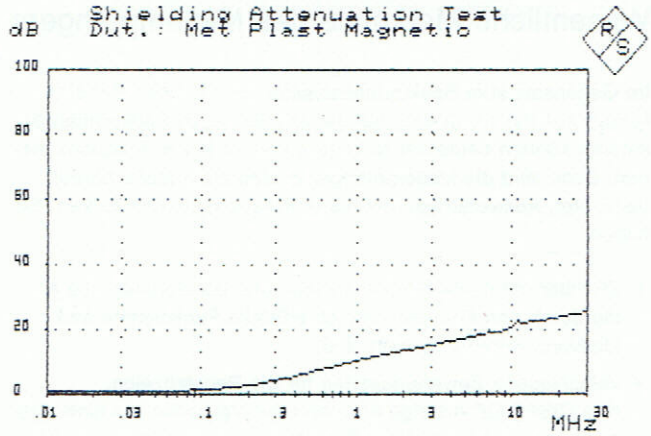


BILD 4 Elektrische (links) und magnetische Schirmdämpfungsmessung, durchgeführt an einem metallisierten Plastikgehäuse. Der R&S-Meßsender SMK arbeitet mit 19 dBm Ausgangspegel und je einer kleinen passiven elektrischen und magnetischen Feldsonde auf der Sendeseite und der Meßempfänger ESH 3 mit der Stabantenne HFH 2-Z1 und der Rahmenantenne HFH 2-Z2 auf der Empfangsseite.

feldmeßplätzen im VHF-UHF-Bereich. Dort verbietet sich die Anwendung breitbandiger Indikatoren, weil die Meßergebnisse durch Umgebungsstörungen und Rundfunksignale verfälscht würden. Damit die Meßanordnung nicht andere Dienste stört, muß die Meßfeldstärke so gering wie möglich sein. Der Generatorpegel des ESVP von —17 dBm reicht für die im VHF-UHF-Bereich erforderlichen Meßentfernungen (etwa 30 m) aus, um **Richtdiagramme mit Einzügen bis 40 dB** messen zu können [10, 11]. Bei Verwendung des ESVP läßt sich die Grunddämpfung der Meßanordnung (Funkfelddämpfung einschließlich Kabeldämpfung) als **Korrekturdatensatz** so in den Meßempfänger einprogrammieren, daß als Meßergebnis der Gewinn als Funktion der Frequenz angezeigt oder aufgezeichnet wird.

Durch Ergänzung des Meßempfängers mit der Meßbrücke ZRB 2 (5 bis 2500 MHz) läßt sich die **Rückflußdämpfung** und damit das VSWR von Antennen messen. Auch hier kann die Grunddämpfung der Meßbrücke als Korrekturdatensatz in den ESVP einprogrammiert werden, so daß die Rückflußdämpfung unmittelbar angezeigt wird.

Funkstörfeldstärkemessungen nach CISPR, VDE und FCC[1] werden auf Freifeldmeßplätzen unter standardisierten und damit reproduzierbaren Bedingungen durchgeführt. Im Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz eignet sich als Meßgelände eine freie, möglichst gut leitende ebene Fläche. Zur Beurteilung der Eignung eines

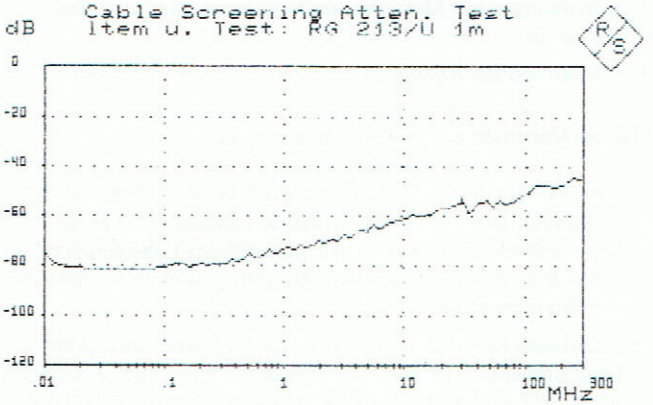


BILD 6 Schirmdämpfung eines HF-Kabels RG 213/U von 1 m Länge. Ab 100 MHz fangen stehende Wellen an, sich bemerkbar zu machen. Deshalb ist bei höheren Frequenzen mit einer Absorberzange (MDS-21) nach [7] zu arbeiten.

Meßgeländes wird nach VDE 0877 Teil 2/2.85 die Meßplatzdämpfung a gemessen (BILD 7).

Diese Messung ist, bei Berücksichtigung der Einfügungsdämpfung der verwendeten Verbindungskabel und Verwendung von Mantelwellensperrfiltern auf den Kabeln, mit dem ESVP als Vier-

[1] FCC: Federal Communications Commission (zivile Funkverwaltung der USA).

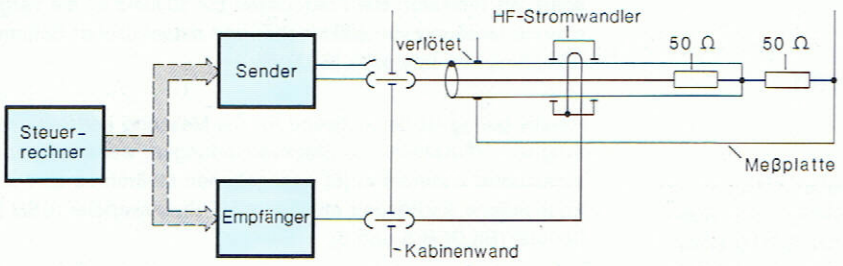


BILD 5 Anordnung zur Schirmdämpfungsmessung von Koaxialkabeln und Steckverbindungen mit einem HF-Stromwandler.

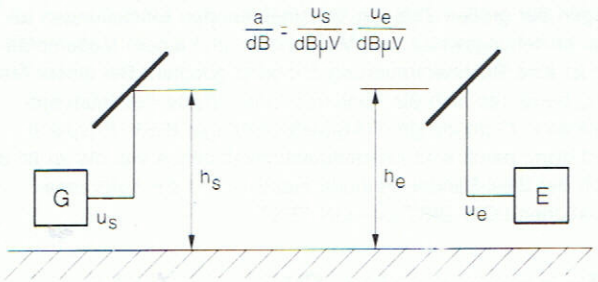


BILD 7 Anordnung zur Messung der Meßplatzdämpfung nach VDE 0877 Teil 2 und in Zukunft nach CISPR 16.

polmessung durchführbar – aber nicht automatisierbar, weil die Halbwellendipole für jede Frequenz neu abgestimmt werden müssen. Der theoretische Frequenzgang der Meßplatzdämpfung läßt sich als Korrekturdatensatz in den ESVP eingeben, so daß bei jeder neuen Frequenzeinstellung die Abweichung vom Sollwert, die <3 dB (zukünfig nach CISPR Publ. 16: <4 dB) sein soll, angezeigt wird.

Wenn es um die Vermessung von Antennen geht, so darf die rechnergesteuerte **Flugvermessung von Sendeantennen** nicht unerwähnt bleiben. Auch sie ist ja eine Aufgabe des erweiterten Antennenprüffeldes beziehungsweise einer Abnahmeprüfung der Sendeantennen. Während in [12] bei der automatischen Messung von Gewinn, Horizontal- und Vertikaldiagramm von zwei Fernsehkanälen in einem Flug noch zwei Meßempfänger ESU 2 eingesetzt werden mußten, können heute dank der wesentlich geringeren Frequenzumschaltzeiten des Meßempfängers drei Fernsehkanäle gleichzeitig mit einem ESVP gemessen werden. Dabei sind für je eine Messung bei drei Frequenzen etwa 200 ms erforderlich (BILD 8).

Meßempfänger als selektiver Spannungsmesser

Beim Einsatz als selektiver Spannungsmesser bietet der Meßempfänger eine besonders hohe Meßdynamik.

Messungen an Sendern: Die CCIR-Recommendation 329-4 mit dem Titel „Spurious Emissions" fordert bis zu 80 dB Unterdrückung für die **Außerbandabstrahlung** von Sendern an der Antennenzuleitung. Zur Messung von **Oberwellen** und **Nebenwellen** von Sendern brauchen Meßempfänger gute Werte des Intercept-Punkts 2. Ordnung. Die R&S-Meßempfängerfamilie verwendet Suboktav-Filter im Frequenzbereich 0,15 bis 10 MHz und abgestimmte Filter im Bereich 10 bis 1300 MHz, was zu typischen Intercept-Punkten des K2 von 100 dBm im Bereich ESH 2/3 und von 50 dBm im Bereich ESV/P führt. Entsprechend hoch sind auch die meßbaren Oberwellenabstände.

Für Oberwellen- und Linearitätsmessungen haben die automatischen Meßempfänger ESH 3 und ESVP eigens die **Autorange-Funktion LOW DIST.** Sie bewirkt, daß der Empfänger bei jeder

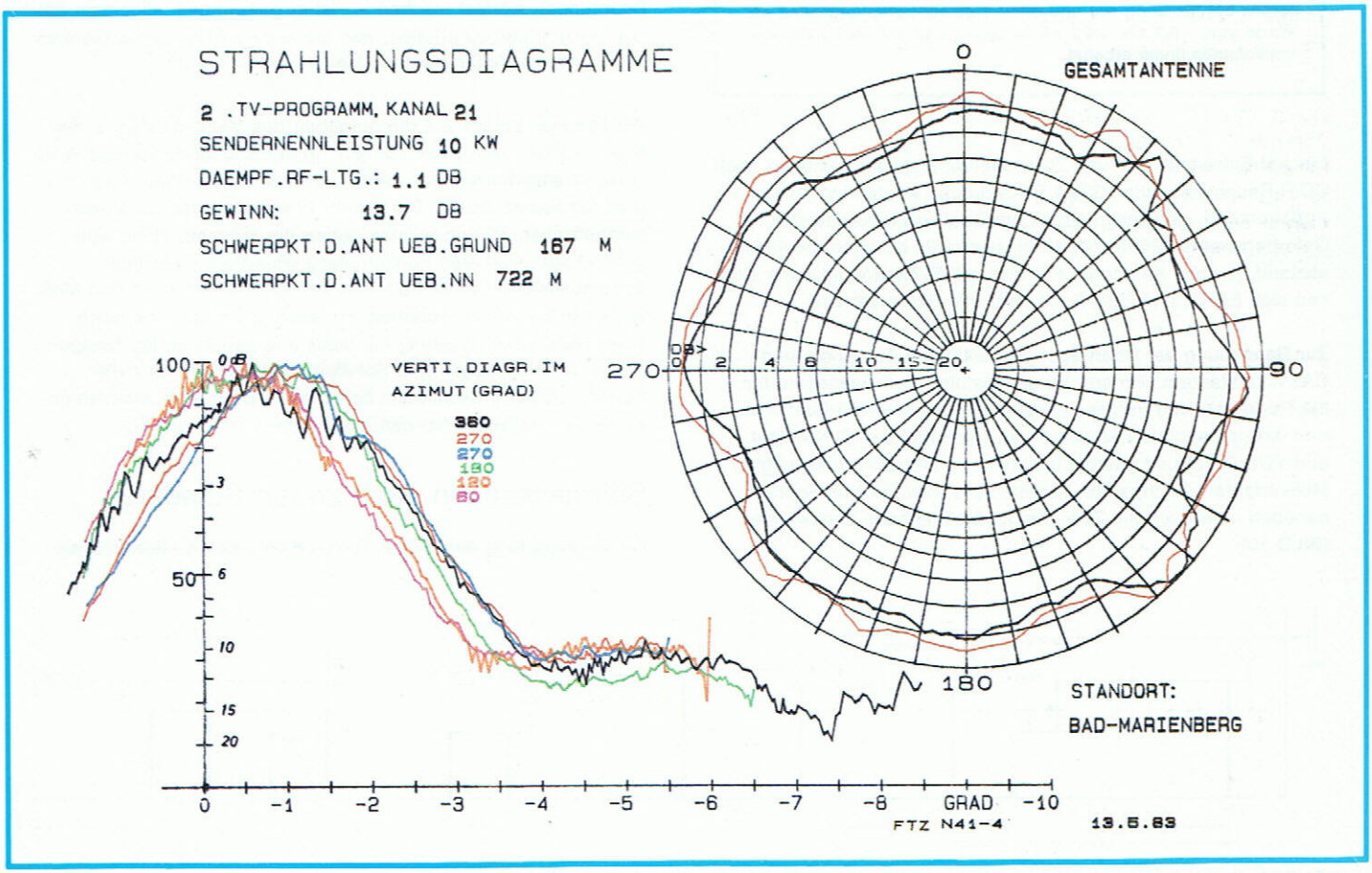


BILD 8 Meßkurven des Horizontaldiagramms einer TV-Antenne mit Wegmarkierungen (links). Rechts das Horizontaldiagramm derselben Antenne, ausgewertet durch den Process Controller PUC. Mit freundlicher Genehmigung übernommen von Herrn Henß, FTZ Darmstadt.

Messung mit möglichst großer HF-Dämpfung arbeitet. Eine weitere Maßnahme zur Sicherung zuverlässiger Meßergebnisse ist die Wahl des kleinsten Arbeitsbereiches (20 dB). **Kontrollfunktion** ist durch **LIN TEST** gegeben, wodurch mit einer zweiten Messung mit zusätzlich eingeschaltetem 1-dB-HF-Dämpfungsglied überprüft wird, ob das Meßergebnis durch den Meßempfänger selbst beeinflußt wird oder nicht (BILD 9).

Frequency	Level	
50.000MHz	0.0dBm	+0.0dB
100.000MHz	-53.8dBm	-0.1dB
150.000MHz	-52.2dBm	+0.0dB
200.000MHz	-56.8dBm	+0.0dB
250.000MHz	-58.5dBm	-0.1dB
300.000MHz	-61.1dBm	-0.1dB
350.000MHz	-64.6dBm	+0.0dB
400.000MHz	-69.4dBm	+0.0dB
450.000MHz	-76.7dBm	+0.0dB
500.000MHz	-88.6dBm	+0.0dB
550.000MHz	-85.2dBm	+0.0dB
600.000MHz	-80.7dBm	+0.0dB
650.000MHz	-81.2dBm	+0.0dB
700.000MHz	-82.7dBm	+0.0dB
750.000MHz	-85.9dBm	+0.0dB
800.000MHz	-91.2dBm	+0.0dB
850.000MHz	-92.8dBm	-0.1dB
900.000MHz	-93.5dBm	+0.0dB
950.000MHz	-94.5dBm	+0.1dB
1000.000MHz	-91.4dBm	+0.0dB

BILD 9 Oberwellenmessung an einem Meßsender mit Druckerprotokoll der Pegelmeßergebnisse. Gemessen wurde mit Einstellung LOW DIST und LIN TEST. Die rechte Spalte gibt die Pegeldifferenz bei Messung mit und ohne 1-dB-HF-Dämpfungsglied an. Werte von −0,2 bis +0,2 dB besagen, daß der Meßempfänger vollkommen linear arbeitet.

Für AM-Einseitenband- und Zweiseitenbandsender bestehen nach CCIR-Recommendation 326-4 Forderungen an den **Intermodulationsabstand,** gemessen nach dem Zweiton-Meßverfahren. Gefordert werden 25 dB beziehungsweise 35 dB Intermodulationsabstand, je nach Kategorie. Für diese SSB-Zweitonmessung eignen sich ESH 2 und ESH 3 mit ihrer 200-Hz-Bandbreite.

Zur Beurteilung der Übertragungsqualität von Antennen- und CATV-Verstärkern, Tunern, Eingangsstufen und Halbleitern für die Rundfunk- und Fernsehindustrie werden **Intermodulations- und Kreuzmodulationsmessungen** nach national (DIN 45004 und VDE 0855) und international (IEC-Empfehlung) festgelegten Meßverfahren durchgeführt. Größtenteils wird die Drei-Sender-, daneben aber auch die Zwei-Sender-Meßmethode angewendet (BILD 10).

Wegen der großen Zahl der vorzunehmenden Einstellungen an zwei beziehungsweise drei Meßsendern und einem Meßempfänger ist eine Rechnersteuerung dringend geboten. Bei dieser Messung bewähren sich die hervorragenden Werte des Intercept-Punktes 3. Ordnung der R&S-Meßempfänger (ESV/P typisch +20 dBm; damit sind Intermodulationsabstände von bis zu 85 dB nach der Zwei-Sender-Methode meßbar) und die Autorange-Funktionen LOW DIST und LIN TEST.

Messung von Störsignalen

Im Bereich der **EMV-Meßtechnik** besteht die Aufgabe der Meßempfänger darin, die **Störemissionen** von Geräten und Systemen zu erfassen. Dem gegenüber steht der Bereich der Immunität – Störfestigkeit – von Geräten und Systemen. Oft werden diese Bereiche auch durch die Begriffe „aktives und passives Störverhalten" beschrieben. Konsequent werden beide Seiten der EMV-Meßtechnik durch militärische Störmeßvorschriften behandelt, weil jedes Gerät als Teil eines Systems und jedes System als Teil eines Gesamtsystems angesehen wird und als solches garantiert funktionieren muß.

Diese Grundhaltung setzt sich zunehmend auch im zivilen Bereich durch; auch an Rundfunkempfänger werden Störfestigkeitsanforderungen ebenso gestellt wie an Meßgeräte und beispielsweise an Kfz-Bordelektronik. Während jeder Entwickler eines elektronischen Gerätes die interne EMV zwischen Teilen seines Gerätes für sich kostenoptimal realisieren kann – er kann eine störende Baugruppe entstören und muß dafür nicht mehrere Baugruppen störfest machen –, ist er gezwungen, allgemein gültige Vorschriften zu erfüllen, was die äußere EMV seines Gerätes – also seine Wirkung auf die Umgebung – betrifft.

Wir kommen zurück auf die Aufgaben des Meßempfängers: die **Messung der Störaussendungen.** Auffallend ist der Unterschied in den Meßverfahren des zivilen und des militärischen Bereichs. Dies hat seinen Grund: Die **zivilen Grenzwerte** für die elektromagnetischen Störemissionen haben die Aufgabe, einen weitgehend störungsfreien Funkempfang (Rundfunk, Mobilfunk) sicherzustellen, während die **militärischen Grenzwerte** und Meßverfahren auf die einwandfreie Funktion eines Systems (auch eines Nachrichtensystems) mit meist eng benachbarten Komponenten (in Flugzeugen und Schiffen) abzielen. Wo im zivilen Bereich ähnliche Situationen bestehen (z. B. im Kfz), sind Grenzwerte und Meßverfahren den militärischen sehr ähnlich.

Störmessungen nach zivilen Standards

Für die Regelung des zivilen Funkverkehrs ist als internationale

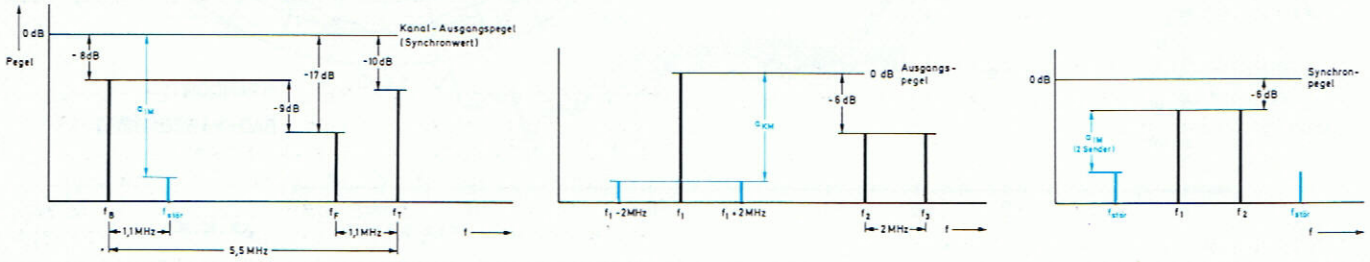


BILD 10 Pegelschemen zur normgerechten Messung von Intermodulations- und Kreuzmodulationsabständen.
Links: Intermodulationsabstand nach der Drei-Sender-Methode. Mitte: Kreuzmodulationsabstand nach der Drei-Sender-Methode. Rechts: Intermodulationsabstand nach der Zwei-Sender-Methode.

Organisation das CCIR innerhalb der UIT[2] mit Erfolg zuständig. In der CCIR-Recommendation 433-3 wird den nationalen Funkverwaltungen empfohlen, sich soweit wie möglich an die Empfehlungen und Publikationen des CISPR zu halten, weil es „von großem praktischen Vorteil wäre, wenn die nationalen Vorschriften über die Störeigenschaften elektrischer Einrichtungen in allen Ländern gleich wären". In der Tat scheint die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zu gelingen. So ist beispielsweise die Bewertung von Impulsstörungen, niedergelegt in CISPR-Publikation 16 (CISPR Specification for Radio Interference Measuring Apparatus and Measurement Methods), in viele nationale Vorschriften über Geräte und Methoden der Funkstörmessung eingegangen, zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland in die VDE-Bestimmung 0876, in den USA in den ANSI[3]-Standard C63.2, in Großbritannien in den British Standard BS727 ebenso wie in die Bestimmungen der Comecon-Staaten. In ähnlicher Weise findet auch eine Harmonisierung der Störemissions-Grenzwerte statt. In besonderem Maße werden zur Vorbereitung auf den Europäischen Binnenmarkt auf der Basis der „Richtlinie des Rates vom 3. Mai 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG)" die EMV-Normen in Europa vereinheitlicht.

Als Beispiele werden europäische und deutsche Normen den CISPR-Publikationen gegenübergestellt:

- CSPR Publ. 11: ISM[4]-Geräte EN 55 011
  vorgesehen: VDE 0871 Teil 11
  In Kraft sind jedoch derzeit noch die Normen VDE 0871/6.78 und die Verfügung 1046/1984 mit 483/1986
- CISPR Publ. 12: Fahrzeuge, Motorboote und sonstige Geräte mit Hochspannungszündanlagen (Fernentstörung)
  EN noch in Beratung
  VDE 0879 Teil 1
  ähnlich: SAE[5]-Standard J551
- CISPR Publ. 13: Hörfunk- und Fernsehempfänger EN 55 013
  vorgesehen: VDE 0872 Teil 13
  In Kraft sind jedoch noch die Postverfügungen 478/1981 und 868/1989
- CISPR Publ. 14: Haushaltsgeräte, handgeführte Elektrowerkzeuge u.ä.
  EN 55 014
  VDE 0875 Teil 1
- CISPR Publ. 15: Leuchtstofflampen und -leuchten
  EN 55 015
  VDE 0875 Teil 2
- CISPR Publ. 22: ITE[6]-Geräte
  EN 55 022
  vorgesehen: VDE 0878 Teil 3
  Auch hier sind noch die Verfügungen 1046/1984 und 483/1986 in Kraft.

Daneben wird es in Europa für elektrische Einrichtungen, die keiner der obigen Gruppen angehören, einen sogenannten „generic emission standard" geben.

[2] UIT: Union International de Télécommunication (engl.: ITU)
[3] ANSI: American National Standards Institution
[4] ISM: Industrial, Scientific, Medical
[5] SAE-Society of Automotive Engineers
[6] ITE: Information Technology Equipment

Die Entwicklung der Normen vollzog sich in der Vergangenheit durch Erstellung nationaler Normen mit relativ lange dauerndem Prozeß der internationalen Vereinheitlichung. Mit immer stärker werdender wirtschaftlicher Verflechtung und dem Herannahen des europäischen gemeinsamen Marktes 1992 verlieren die nationalen Normen an Bedeutung. Der Normungsprozeß spielt sich im internationalen Rahmen ab. Neue technische Entwicklungen und Erkenntnisse führen auch hier laufend zu Anpassungen und Erweiterungen.

Nicht ganz in dieses strenge CISPR-Ordnungsschema passen die FCC Rules and Regulations in den USA. Teil 15 dieser Rules and Regulations ist den Hochfrequenzgeräten gewidmet (Part 15 – Radio Frequency Devices). Hierunter fallen neben Rundfunkempfängern und Nachrichtengeräten mit kleiner Leistung (u.a. drahtlose Mikrofone, Türöffner, Alarmanlagen) vor allem die Computer (Subpart J – Computing Devices). Dieser Unterabschnitt J enthält zwei Grenzwertklassen: Grenzwertklasse A für den Einsatz der Geräte in Industriegebieten und die strengere Grenzwertklasse B für den Einsatz in Wohngebieten (z.B. für Home-Computer). Teil 18 der Rules and Regulations betrifft ISM-Geräte (Part 18 – Industrial, Scientific and Medical Equipment).

Allen zivilen Störmeßvorschriften sind gemeinsam:

- Messung geleiteter Störungen als Funkstörspannung mit Hilfe einer Netznachbildung oder eines Tastkopfes und
- Messung der Funkstörfeldstärke auf Freifeldmeßplätzen oder von den Ausbreitungsverhältnissen her gleichwertigen Einrichtungen.

Die CISPR-Meßvorschriften enthalten darüber hinaus die

- Messung der Funkstörleistung auf Leitungen im Frequenzbereich 30 bis 300 (1000) MHz.

Das Messen von Funkstörspannungen auf Stromversorgungsleitungen (Netzleitungen) wird, soweit möglich, unter Verwendung einer V-Netznachbildung durchgeführt. Unter den V-Netznachbildungen hat sich die 50-Ω-Netznachbildung durchgesetzt (50 µH + 5Ω) || 50 Ω).

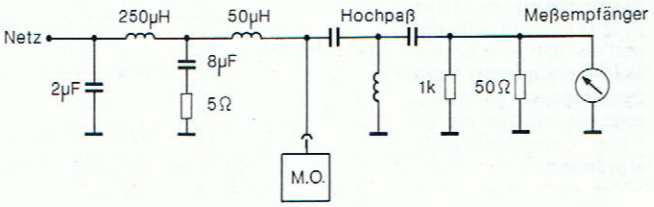


BILD 11 Ersatzschaltbild der (50 µH + 5 Ω) || 50-Ω-V-Netznachbildung. Durch den dreigliedrigen Hochpaß, wie ihn die ESH 2-Z5 und die ESH 3-Z5 von R&S enthalten, entfällt die Berücksichtigung des frequenzabhängigen Korrekturfaktors, der mit einem Koppel-C von 0,25 µF nach VDE 0876 erforderlich wäre. M.O. ist das Meßobjekt.

Die 50-Ω-Netznachbildung ist dabei, die früher weithin übliche 150-Ω-Netznachbildung zu ersetzen. Während VDE 0875/6.77 noch die 150-Ω-Netznachbildung angibt, ist sie in den Vorschriften VDE 0871/6.78, VDE 0872 Teil 1/..81 (Entwurf) und EG-Ratsrichtlinie 82/499/EWG bereits durch die 50-Ω-Netznachbildung ersetzt. Die Netznachbildung ESH 2-Z5 [14] von Rohde & Schwarz ist eine 50-Ω-Netznachbildung (BILDER 11 und 12).

Netznachbildungen haben die Aufgabe, einen stabilen, repro-

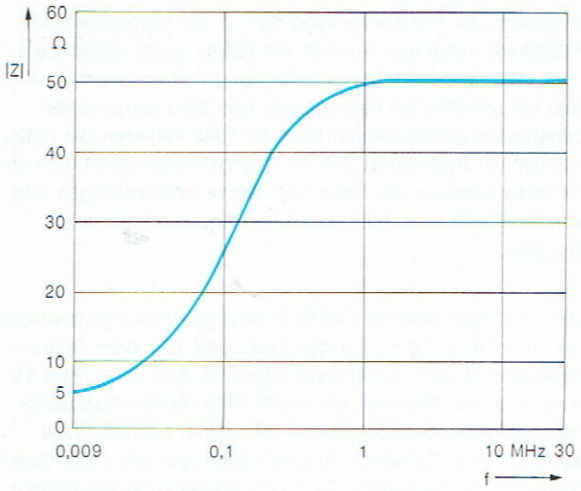


BILD 12 Impedanzverlauf der (50 µH + 5 Ω) || 50-Ω-V-Netznachbildung. Im Frequenzbereich 0,45 – 30 MHz (dem Frequenzbereich für die Messung von geleiteten Störungen nach FCC) ist der Verlauf gleich der in FCC Part 15 J enthaltenen 50 Ω || 50-µH-V-Netznachbildung.

prüfen. Es gelten folgende Grenzwerte der Funkstörspannung (BILD 13):

- für Breitbandstörungen Funkstörgrad N nach VDE 0875/T.3,
- für Schmalbandstörungen Grenzwertklasse B nach VDE 0871/6.78, und
- für Breit- und Schmalbandstörungen im Bereich 10 bis 150 kHz der in VDE 0871/6.78 als „empfohlen" angegebene Grenzwert.

Nach [15] kann in diesem Fall das Programm zur Messung von Funkstörspannungen aus der Störmeß-Software EZM-K1 angewandt werden: Zum schnellen Suchen der Störungen in Grenzwertnähe erfolgt ein Vergleich von Mittel- und Spitzenwert zur Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen. Nur Störungen in Grenzwertnähe werden dann nach CISPR bewertet gemessen.

Das Gerät von Bild 13 wäre auch nach FCC Subpart 15 J Class B durchgefallen (BILD 14). Auch FCC macht in seiner Meßanwei-

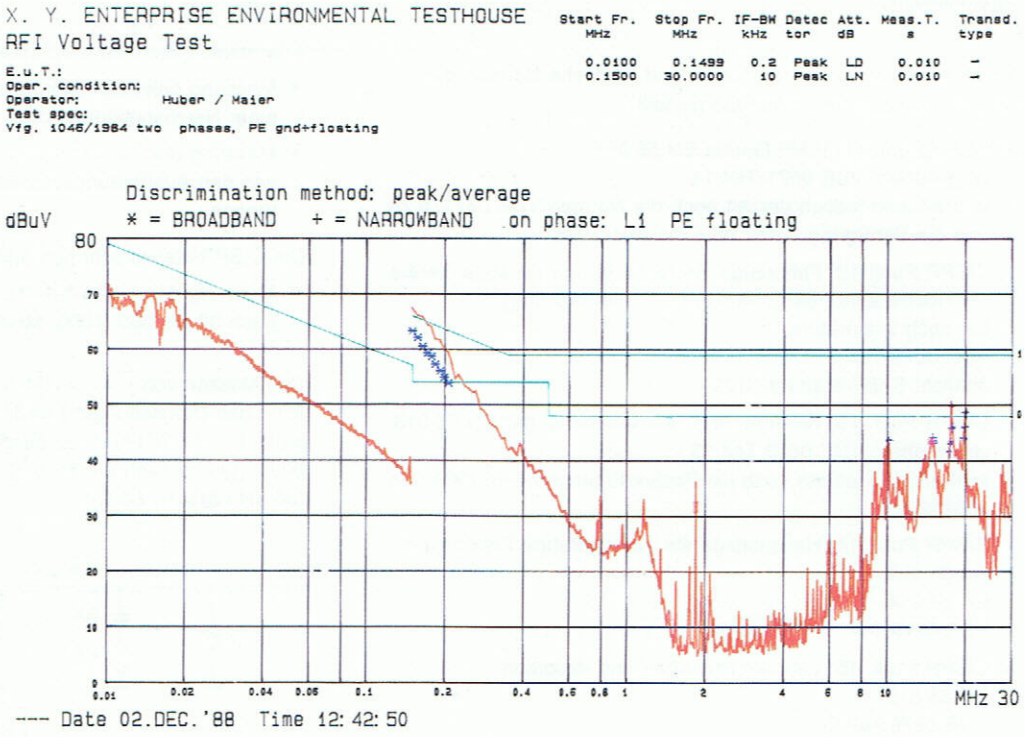


BILD 13 Funkstörspannungsmessungen an einem Gerät mit Netzgleichrichter nach Verfügung 1046/1984. Die rote Kurve stellt das Spektrum mit Spitzenwertgleichrichter dar. Die Breitbandstörung um 150 kHz ist zulässig, weil der Quasi-Spitzenwert unter dem Breitbandstörgrenzwert 1 liegt. Die Schmalbandststörung um 18 und 20 MHz ist nicht zulässig, weil sie über dem Schmalband-Störgrenzwert 0 liegt. Das Programm gestattet auch ein Auflisten der mit * und + markierten Meßergebnisse.

duzierbaren, der Impedanz realer Netze möglichst gut entsprechenden Abschlußwiderstand für die Störquelle zu bilden, externe Störungen zu dämpfen und die Störspannung einem Meßempfänger zuzuführen. Das Messen der Funkstörspannung auf ungeschirmten Steuer- und Signalleitungen ist nach VDE 0875 ebenso wie bei Betriebsmitteln und Anlagen der Grenzwertklasse C nach VDE 0871 mit einem 1500-Ω-Tastkopf (ESH 2-Z3 von Rohde & Schwarz) durchzuführen. Zur Messung der asymmetrischen Störspannung auf symmetrischen Signal- und Datenleitungen dienten T-Netznachbildungen (ESH 3-Z4 und EZ-10 von Rohde & Schwarz).

Als Beispiel folgt eine Funkstörspannungsmessung bei Geräten mit Mikroprozessorsteuerung. Derartige Geräte sind für eine allgemeine Genehmigung nach Vfg 1046/1984 und 483/1986 zu

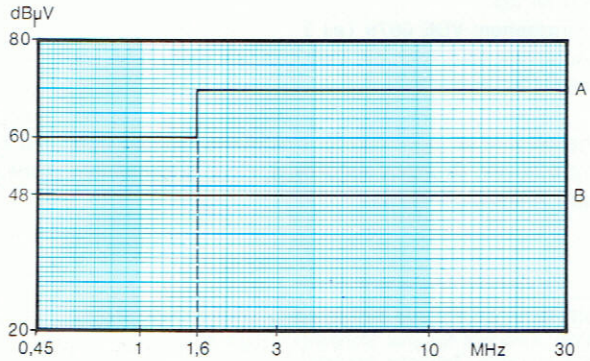


BILD 14 Grenzwertklassen A und B für die Funkstörspannung nach FCC-Rules and Regulations Part 15 J.

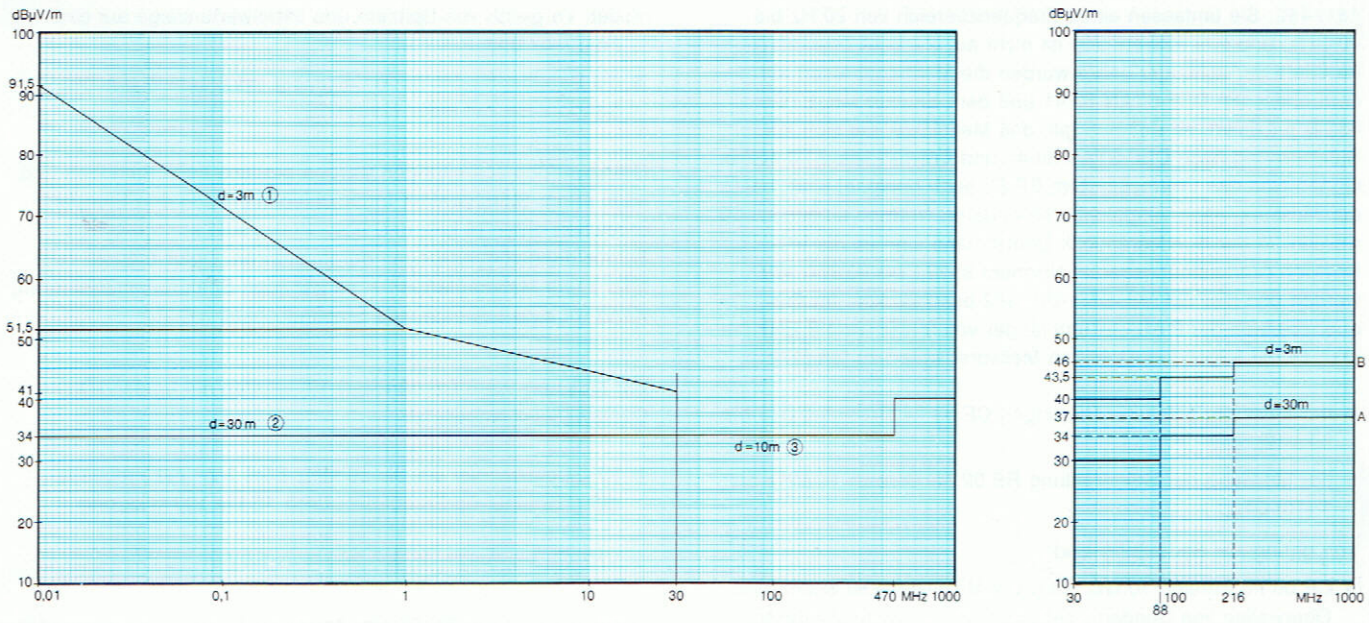


BILD 15 Grenzwerte der Funkstörfeldstärke nach Verfügung 1046/1984 und 483/1986. Im Frequenzbereich 0,01 bis 30 MHz kann mit 3 m Abstand gemessen werden. Wird der Grenzwert ① dann nicht eingehalten, muß ② bei 30 m eingehalten werden. Im Bereich 30 bis 1000 MHz gilt der Grenzwert ③ für 10 m Abstand. Zum Vergleich: Nach FCC Part 15 J ist die Funkstörfeldstärke nur im Bereich 30 bis 1000 MHz zu messen (Diagramm rechts).

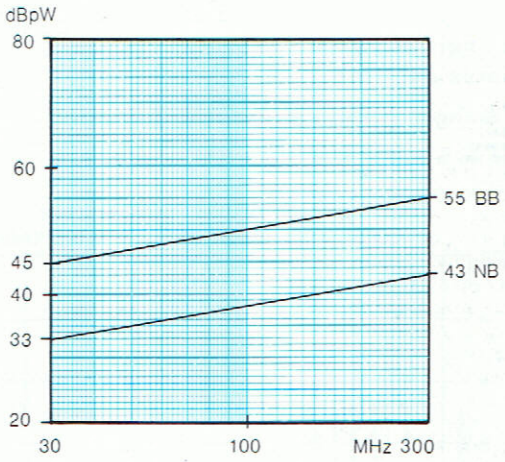
sung MP-4 (1987) einen Unterschied zwischen Schmal- und Breitbandstörungen. Als Kriterium dient ein Unterschied von 6 dB zwischen Quasispitzen- und Mittelwert. Ist der Unterschied größer als 6 dB, so gilt ein um 13 dB höherer Grenzwert für die Quasispitzenwertanzeige.

Das Messen der **Funkstörfeldstärke** wird nach CISPR und VDE im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz mit einer elektrisch geschirmten **Rahmenantenne** (HFH 2-Z2 von R&S) durchgeführt, im Bereich 30 MHz bis 80 MHz mit einem auf 80 MHz abgestimmten Halbwellendipol mit Impedanzanpassung im Bereich 30 MHz bis 80 MHz (**Breitband-Dipol HUF-Z1** von R&S). Im Bereich 80 MHz bis 300 MHz empfiehlt CISPR 16 einen Halbwellendipol, und erst im Bereich 300 MHz bis 1000 MHz eine Breitbandantenne mit höherem Gewinn. Mit Ausnahme der Vorschriften VDE 0872 und FCC Rules and Regulations Part 15 Appendix A, wo unter anderem eine Meßentfernung von 3 m einzuhalten ist, kann statt eines für automatische Messungen ungeeigneten Halbwellendipols die logarithmisch-periodische Antenne HL 023 A1 (80 bis 1300 MHz) von Rohde & Schwarz verwendet werden.

Für unser vorhergehendes Beispiel Gerät mit Mikroprozessorsteuerung, zu messen nach Verfügung 1046/1984, gelten die in BILD 15 angegebenen Grenzwerte.

Automatisch kann man Feldstärken von Schmalbandstörungen nur in Schirmkabinen mit Absorbern annähernd richtig messen, wegen der vorhandenen Umgebungsstörungen dagegen nicht auf den üblichen Freifeldmeßplätzen. Aus diesem Grund enthält die Applikations-Software ESVP-K1 auch nur ein Programm zur Feldstärkemessung von Breitbandstörungen nach VDE 0879 (s. [15]). Wir schlagen deshalb unseren Kunden eine vorbereitende Nahfeldmessung in einer Schirmkabine vor, bei der sich bereits erkennen läßt, wo eventuell Grenzwertüberschreitungen zu erwarten sind. Anschließend erfolgt eine Überprüfung bei wenigen Frequenzen auf dem Freifeldmeßplatz unter Zuhilfenahme eines Panoramasichtgerätes und des Lautsprechers zur Identifikation des Störers.

BILD 16 Breit- und Schmalbandstör-Grenzwerte der Funkstörleistung nach Verfügung 1046/1984.



Das Messen der **Funkstörleistung** wird mit Hilfe der **absorbierenden Meßwandlerzange MDS-21** [16] durchgeführt. Ein Gerät mit Mikroprozessorsteuerung muß die Grenzwerte nach BILD 16 einhalten. Zur Messung muß die Absorberzange längs der Meßleitung verschoben werden, bis die maximale Anzeige am Meßempfänger erreicht wird. Bei vielen Meßfrequenzen ergibt sich damit eine Unzahl von Einzelmessungen. Wie man durch Heraussuchen von Teilbereichsmaxima dennoch automatisch messen kann, wird in [15] gezeigt.

Störmessungen nach militärischen Normen

Die bedeutendsten und am weitesten verbreiteten militärischen Störmeßnormen sind die amerikanischen **MIL-Standards**

461/462. Sie umfassen einen Frequenzbereich von 20 Hz bis 40 GHz, und ihre Anwendung ist nicht auf die USA beschränkt. Im Laufe der achtziger Jahre wurden die Meßbandbreiten mit dem britischen DEF-STAN 59-41 und dem Entwurf MIL-STD 462 B präzisiert, so daß nun gilt, daß Meßplätze, die sich zur Störmessung nach DEF-STAN 59-41 und Entwurf MIL-STD 462 B eignen (wie das Störmeßsystem EP-6), auch geeignet sind, bei der Messung nach vergleichbaren anderen Normen eingesetzt zu werden. In der Bundesrepublik Deutschland sind es die VG-Normen (Verteidigungsgeräte-Normen) 95371 bis 95377. Wir werden uns hier auf MIL-STD 461/462 beschränken. Im Frequenzbereich der R&S-Meßempfänger von 9 kHz bis 1,3 GHz hat man es mit folgenden wichtigen Meßvorschriften zu tun [17]:

- der Messung geleiteter Störungen CE 03 im Bereich 0,015 bis 50 MHz, und
- der Messung der Störstrahlung RE 02 im Bereich 14 MHz bis 1 (10) GHz.

Von geringerer Bedeutung sind:

- CE 06 im Bereich 10 kHz bis 1 (12,4) GHz: Nebenwellen und Oberwellen von Sendern, gemessen an deren Anschlüssen, und
- RE 03 im Bereich 10 kHz bis 1 (40) GHz: abgestrahlte Nebenwellen und Oberwellen von Sendern,

sowie UM 03, 04 und 05, die alle diesen Frequenzbereich betreffen. Eine Übersicht über die Anwendung der MIL-STD 461 B gibt [17].

- den Vergleich von Spitzen- und Mittelwertanzeige auf einer Frequenz und
- die Bandbreiten-Methode: Messung mit unterschiedlichen Bandbreiten auf einer Frequenz.

Grenzwertüberschreitungen werden grafisch hervorgehoben und nach ihrem Störcharakter unterschieden [15]. In den Frequenzbereichen unter 14 kHz und über 1 GHz sind ausschließlich Schmalbandstörmessungen durchzuführen. Dafür braucht man aber keine Meßempfänger – es genügen Spektrumanalysatoren, wenn sie eine ausreichende Empfindlichkeit haben.

Zur Messung nach CE 03 (BILD 17) werden die beiden R&S-Stromwandler eingesetzt:

- HF-Stromwandler 0,1 bis 30 MHz ESH 2-Z1 mit Frequenzgangkorrektur im Frequenzbereich 15 bis 100 kHz, und
- VHF-Stromwandler 20 bis 300 MHz ESV-Z1

Zur Messung nach RE 02 sind folgende Antennen zu verwenden:

- Aktive Stabantenne (9 kHz bis 30 MHz) HFH 2-Z6,
- Doppelkonus-Antenne (25 bis 200 MHz) HK 116,
- Konisch-log. Spiralantenne (200 bis 1000 MHz) HUF-Z4.

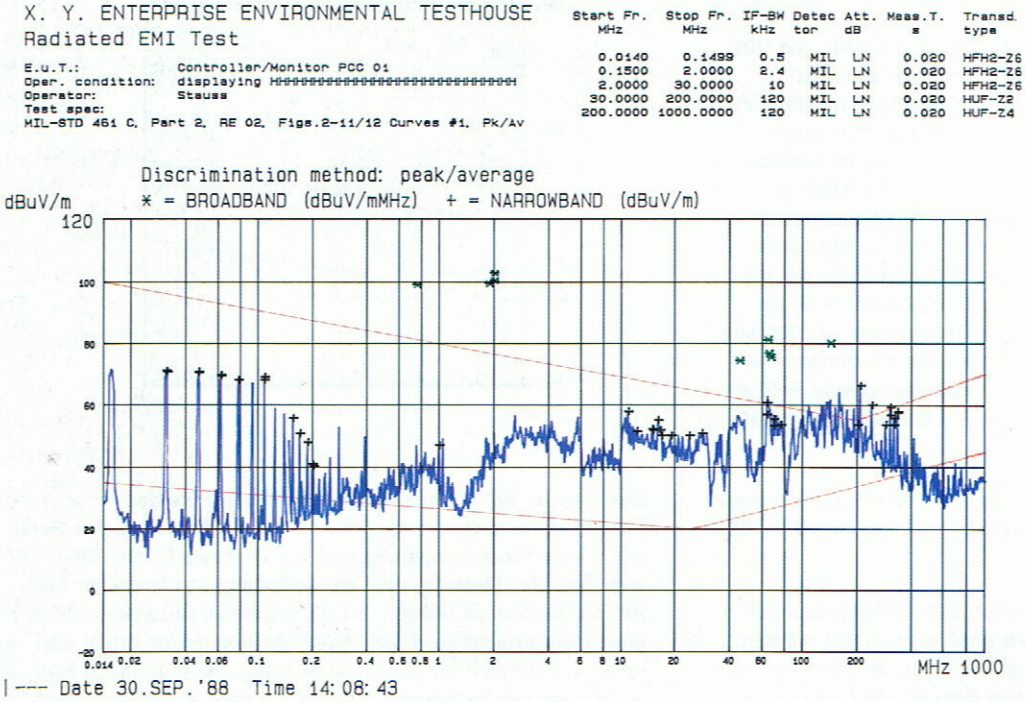


BILD 17
Störfeldstärke eines Monitors, gemessen nach MIL-STD 461 C RE 02. Die Software EZM-K1 unterscheidet Schmalbandstörungen (dargestellt als Kreuze, Einheit dBµV/m) und Breitbandstörungen (dargestellt als Sterne, Einheit dBµV/m).

Im Frequenzbereich 14 kHz bis 1 GHz gibt es bei CE 03 und RE 02 verschiedene Grenzwerte für Breit- und Schmalbandstörungen. Die Auswahlkriterien sind unterschiedlich. Dies veranlaßt uns, in der Störmeßsoftware EZM-K1 drei Unterscheidungsverfahren anzubieten:

- die Verstimmungs-Methode: Vergleich der Störpegel auf benachbarten Frequenzen,

Die mitgelieferten Antennenfaktordaten können dem ESVP einprogrammiert werden. Durch die günstigen Meßaufbauten – die beiden HF-Stromwandler können gleichzeitig montiert bleiben, Störstrahlungsmessungen finden im Nahfeld in geschirmten Kabinen statt – sind gute Voraussetzungen für vollautomatische Messungen geschaffen [15].

Die Messung von Nutzsignalen

Feldstärkemeßgeräte liefern Daten über die örtlichen und zeitlichen Feldstärkeschwankungen, über die Wellenausbreitung und über die Belegung von Frequenzbändern, und stellen somit eine entscheidende Grundlage für die **Planung von Rundfunksendern, Mobilfunknetzen** etc. dar. Auch die Methoden und Modelle des Computer Aided Frequency Management bedürfen immer wieder der Kontrolle und Korrektur durch Meßdaten. Ein Beispiel für besondere Ausbreitungsverhältnisse ist in [18] gegeben.

Zur **Kontrolle der Versorgung von Rundfunkteilnehmern** in Wohngebieten werden sogenannte Höhenversatzmessungen durchgeführt. Durch kontinuierliches Ändern der Antennenhöhe an einem Hydraulikmast werden Feldstärkemaxima und -minima gemessen und hieraus die Freiraumfeldstärke berechnet. Ein solches Verfahren ist zur Beurteilung der **Empfangsverhältnisse in Mobilfunkbereichen** ungeeignet. Gerade in bebauten Gebieten fehlt meist jede Sichtverbindung zum Sender, und so tragen viele Teilwellen relativ geringer Einzelleistung (die durch Beugung, Streuung und Reflexion an der Umgebung zur Antenne gelangen) zur am Empfangsort meßbaren Feldstärke bei. Es entsteht eine ortsabhängige Feldstärkeverteilung mit ausgeprägten Maxima und Minima ähnlich einer stehenden Welle (BILD 18).

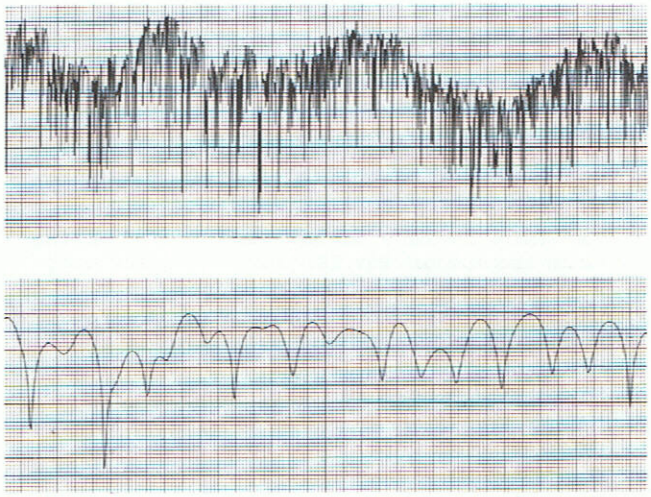


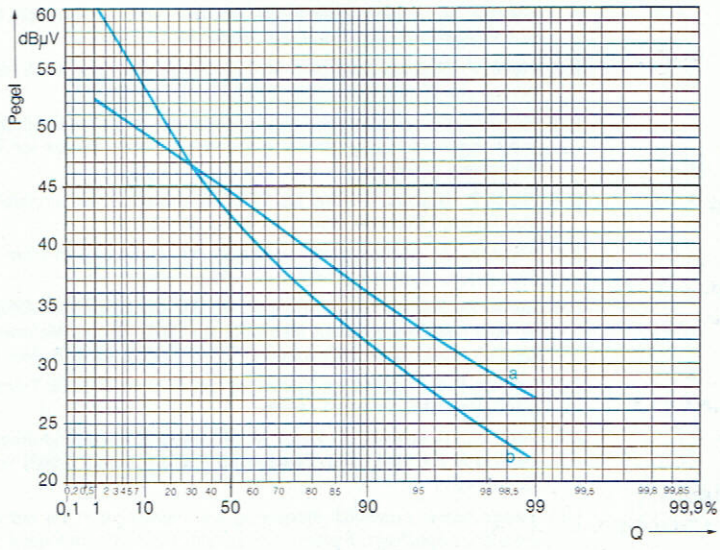
BILD 18 Feldstärkeschwankungen längs eines Weges: Frequenz 512 MHz, Fahrgeschwindigkeit 30 km/h, Aufzeichnungsgeschwindigkeiten 10 mm/s und 200 mm/s (unten).

Die Minima können beispielsweise folgende Wirkung haben:

- die Antennenspannung sinkt unter die Rauschschwelle des Empfängers,
- der FM-Demodulator begrenzt nicht mehr,
- ein entfernter Gleichkanalsender wird hörbar,
- ein Nachbarkanalsender wird von der AFC eingefangen,
- beim Datenfunk steigen die Bitfehlerraten an.

Zur Planung von Mobilfunknetzen im VHF-UHF-Bereich werden weltweit Methoden der **Feldstärkestatistik** eingesetzt. Mit Hilfe einer **schnellen Feldstärkemessung im fahrenden Fahrzeug** (BILD 19) wird die statistische Verteilung der Feldstärke längs einer Wegstrecke ermittelt. Der R&S-Meßempfänger ESVP ist in der Lage, bis zu 1000 Messungen pro Sekunde mit und ohne interner Feldstärkeklassierung durchzuführen und an einen Rechner zu liefern. Ein Impuls-Weggeber triggert dabei jede Einzelmessung, wodurch die Meßfolge unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit wird. Auf diese Weise werden auch hier Meßempfänger zum unentbehrlichen Hilfsmittel für die Senderplanung.

Meßempfänger dienen auch zur **Funküberwachung in Funkkontrollmeßstellen** und erfüllen dort Aufgaben, wie sie in den Recommendations und Reports des CCIR festgelegt sind. Die Meßempfänger der Familie ESH 2, ESH 3, ESV, ESVP erfüllen



a) $\sigma = 0$

512.011MHz

%	dBuV
1	52.3
10	49.6
20	48.2
30	47.1
40	45.9
50	44.8
60	43.4
70	42.0
80	39.8
85	38.5
90	36.5
93	35.1
96	32.6
98	30.0
99	27.4

b) $\sigma = 7$

512.011MHz

%	dBuV
1	60.1
10	53.8
20	49.9
30	47.1
40	44.9
50	42.9
60	41.0
70	38.8
80	36.2
85	34.7
90	32.4
93	30.5
96	27.9
98	24.7
99	22.2

BILD 19 Ergebnisse einer schnellen Feldstärkemessung im fahrenden Fahrzeug mit ESVP-interner Klassierung; ausgedruckt mit Drucker PDN mit Option PDN-B4 und dargestellt in einem Rayleigh-Netz.

zusammen mit ihren Meßantennen die CCIR-Anforderungen an die **Feldstärkemeßgenauigkeit nach Rec. 378-3:**

9 kHz bis 30 MHz: Meßfehler ≤ ±2 dB,
30 MHz bis 1000 MHz: Meßfehler ≤ ±3 dB.

Die **Frequenzfernmessung** von AM-, FM- und PM-Signalen ist bei Ergänzung eines Frequenzzählers mit für die CCIR-Rec. 377-2 ausreichender Genauigkeit mit den Meßempfängern ESH 2, ESH 3 und ESVP durchführbar. Diese Meßempfänger arbeiten dabei nach dem Rückmischverfahren, wie es in CCIR-Report 272-4 Abschnitt 3.3 angegeben ist.

Durch einen eingebauten ZF-Zähler ist der ESVP in der Lage, die Frequenzfernmessung auch ohne externen Frequenzzähler durchzuführen und auf Wunsch auch die **Frequenzablage** des Empfangssignals von der Empfängerfrequenz anzuzeigen (BILD 20). Die Meßempfänger ESH 3 und ESVP haben außerdem Einrichtungen zur **Frequenzhub- und Modulationsgradmessung.**

TIME 11:47:16 DATE 08. MAR. '84

Frequency	Level	Offset	Input-Freq.	dev
88.400MHz	58.9dBuV/m	-0.11kHz	88.39989MHz	32.1kHz
88.700MHz	46.7dBuV/m	-0.48kHz	88.69952MHz	44.6kHz
89.500MHz	69.3dBuV/m	0.09kHz	89.50009MHz	30.9kHz
89.950MHz	64.1dBuV/m	0.06kHz	89.95006MHz	13.6kHz
90.700MHz	49.1dBuV/m	-0.20kHz	90.69980MHz	16.4kHz
90.850MHz	41.9dBuV/m	0.17kHz	90.85017MHz	5.4kHz
91.300MHz	62.7dBuV/m	-0.03kHz	91.29997MHz	19.6kHz
92.100MHz	30.7dBuV/m	0.06kHz	92.10006MHz	24.8kHz
92.500MHz	16.6dBuV/m	4.55kHz	92.50455MHz	43.7kHz
93.700MHz	63.0dBuV/m	-0.10kHz	93.69990MHz	29.5kHz
94.400MHz	26.6dBuV/m	0.05kHz	94.40005MHz	14.8kHz
94.800MHz	35.7dBuV/m	0.08kHz	94.80008MHz	55.8kHz
95.800MHz	52.7dBuV/m	0.06kHz	95.80006MHz	10.5kHz
97.300MHz	66.3dBuV/m	0.00kHz	97.30000MHz	17.9kHz
97.500MHz	16.9dBuV/m	6.25kHz	97.50625MHz	44.0kHz
98.100MHz	17.7dBuV/m	5.59kHz	98.10559MHz	50.9kHz
98.500MHz	67.0dBuV/m	0.45kHz	98.50045MHz	14.8kHz
99.000MHz	27.2dBuV/m	-0.50kHz	98.99950MHz	47.0kHz
99.200MHz	55.9dBuV/m	0.05kHz	99.20005MHz	8.9kHz
99.900MHz	40.0dBuV/m	-0.11kHz	99.89989MHz	20.6kHz
100.400MHz	26.4dBuV/m	-0.29kHz	100.39971MHz	18.3kHz
102.200MHz	61.1dBuV/m	0.26kHz	102.20026MHz	33.7kHz
102.500MHz	40.9dBuV/m	0.20kHz	102.50020MHz	21.0kHz
103.700MHz	47.0dBuV/m	0.03kHz	103.70003MHz	18.7kHz

BILD 20 Die Kombination aus ESVP und Drucker PDN mit Option PDN-B4 ermöglicht automatische Meßprotokolle mit Empfängerfrequenz, Signalpegel, Frequenzablage, Signalfrequenz und Hub.

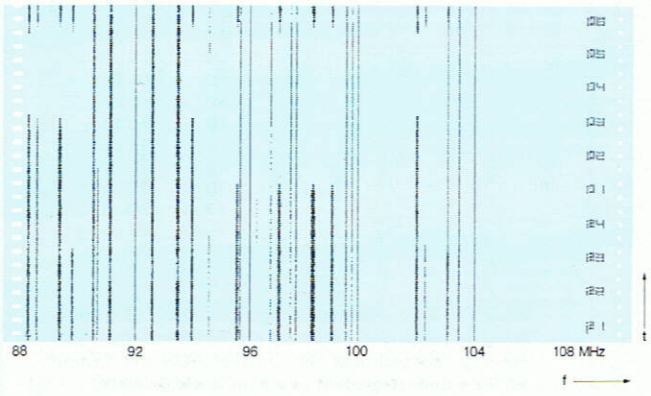


BILD 21 Registrierung der Frequenzbandbelegung im FM-Bereich (ESVP und ZSG 3).

Die Meßempfänger ESH 3 und ESVP können jeweils bis zu fünf Frequenzbandschreiber ZSG 3 zur **automatischen Frequenzbandbelegungsregistrierung** nach CCIR-Rec. 182-2 steuern (BILD 21). Ein System mit den Meßempfängern ESH 3 und ESVP ist damit in der Lage, folgende Funkkontrollaufgaben zu erfüllen:

- Pegelmessung des empfangenen Signals,
- Feldstärkemessung,
- Messung der Kanalbelegung als Funktion der Zeit,
- Frequenz- und Frequenzablagemessung,
- Frequenzhub- und Modulationsgradmessung und
- Messung der Frequenzbandbelegung als Funktion der Zeit.

Eine ausführliche Darstellung wird in [19] gegeben.

Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Rohde, L.; Spies, F.: Direkt zeigende Feldstärkemesser. Zeitschrift für technische Physik (1938) No. 11, S. 439 – 444.

[2] Schreyer, W.: Automatische und manuelle Meßempfänger für 9 kHz bis 1300 MHz. In dieser Schrift S. 13 – 28.

[3] Danzeisen, K.; Stecher, M.: Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit den Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS. In dieser Schrift S. 61 – 64.

[4] CISPR Publ. 17: Methods of measurement of the suppression characteristics of passive radio interference filters and suppression components.

[5] MIL-STD 220: A method of insertion loss measurement.

[6] DIN 47250 Teil 4 (10.81): Hochfrequenz (HF)-Kabel und -Leitungen. Elektrische Prüfungen, Abschnitt 3.11: Kopplungswiderstand.

[7] DIN 47250 Teil 6 (1.83): Hochfrequenz (HF)-Kabel und -Leitungen. Messung des Schirmungsmaßes koaxialer Kabel zwischen 30 MHz und 1000 MHz.

[8] MIL-STD 285 (6.56): Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purposes, method of.

[9] Stecher, M.: Messung von Kabelschirmdämpfungen im Frequenzbereich 9 kHz bis 300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1982/3) Nr. 100, S. 21.

[10] Stecher, M.: Optimieren von Antennen- und Störfeldstärke-Meßplätzen. Neues von Rohde & Schwarz (1977) Nr. 76, S. 26.

[11] Stecher, M.: Antennenmessungen im VHF- und UHF-Bereich. Neues von Rohde & Schwarz (1977) Nr. 77, S. 13.

[12] Henß, P.: Process Controller PUC bei Flugmessungen an Antennen. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 101, S. 36, 37.

[13] Burkhart, D.: Automatische Intermodulations- und Kreuzmodulationsmessungen im Frequenzbereich 25 bis 1000 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1976) Nr. 74, S. 7 – 10.

[14] Brogl, P.: Netznachbildung ESH 2-Z5 für Störsignalmessungen. Neues von Rohde & Schwarz (1981) Nr. 92, S. 30 – 31.

[15] Stecher, M.: Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen. In dieser Schrift S. 77 – 86.

[16] Meyer de Stadelhofen, J.; Bersier, R.: Die absorbierende Meßzange – eine neue Methode zur Messung von Störungen im Meterwellenbereich. Technische Mitteilungen PTT 47 (1969) No. 3, S. 96 – 104.

[17] Schulz, R. B.: Application Tables for MIL-STD 461 B IEEE Trans. EMC, Vol. EMC 24 No. 1 (1983).

[18] Huet, M.; Rutkowski, J.; Harbi, M.: Planning of FM sound broadcasting in the VHF band. Telecommunication Journal (1983) Vol. 50, S. 295 – 311.

[19] Report 668-2: Automatic monitoring and measuring in the radio frequency spectrum. Section 8.2: System No 2 with increased field strength measuring capability. CCIR Vol. I Spectrum Utilization and Monitoring. Genf 1986.

Für die Messung der Signalfeldstärke in der Funknachrichtentechnik sowie für die Störspannungs- und -feldstärkemessung schreiben internationale und nationale Normen Fehlergrenzwerte vor, deren sicheres Einhalten nur durch Kalibriereinrichtungen in den Meßempfängern und durch robust aufgebaute und dadurch auf Lebenszeit kalibrierbare Antennen möglich ist. Die Kalibrierverfahren werden mit Meßgeräten überprüft, die nach nationalen Standards kalibriert sind.

Fehlergrenzen und Kalibrierung von Meßempfängern und Feldstärkemeßgeräten

Ein ideales Meßgerät ist dadurch gekennzeichnet, daß es den wahren Wert einer Meßgröße ohne jede Meßunsicherheit anzeigt. Dieses Gerät ist naturgemäß nicht herstellbar. Die Anzeige eines realen Meßgerätes weicht vom wahren Wert der Meßgröße um einen Betrag ab, der innerhalb vereinbarter Fehlergrenzen liegt. [1].

Zulässige Fehlergrenzen

Für Meßempfänger und Feldstärkemeßgeräte sind die zulässigen Fehlergrenzen durch Normen und internationale Vereinbarungen festgelegt. So werden beispielsweise für Feldstärkemessungen von Nachrichtenausstrahlungen in der CCIR-Rec. 378-4 folgende Werte für die Fehlergrenzen empfohlen:

- Frequenzbereich 10 kHz bis 30 MHz: (±) 2 dB*
- Frequenzbereich 30 MHz bis 1000 MHz: (±) 3 dB

Für Funkstörmeßgeräte legt die CISPR-Publikation 16 in Abschnitt 7 Fehlergrenzen für die Messung von Funkstörspannungspegeln von 2 dB und für die Messung von Funkstörfeldstärkepegeln von 3 dB fest. Diese Werte finden sich auch in den entsprechenden nationalen Vorschriften wie VDE 0876 Teil 1 Abschnitt 3.9 und ANSI C 63.2-1980 Abschnitt 12 wieder. Die militärischen Normen fordern Fehlergrenzwerte, die ebenfalls in dieser Höhe liegen (MIL-STD 462: 2 dB, VG 95377 Teil 11: 2 dB, jeweils für Funkstörspannungspegel).

Nun mag eine zulässige Fehlergrenze von beispielsweise 2 dB für die Feldstärkemessung von 10 kHz bis 30 MHz auf den ersten Blick technisch leicht erreichbar erscheinen. Eine eingehende Analyse dieser Forderung zeigt aber, daß das sichere Einhalten dieses Wertes einen erheblichen Aufwand erfordert.

Ein Feldstärkemeßgerät besteht aus einer Meßantenne und einem nachgeschalteten Meßempfänger (BILD 1). Die Fehlergrenze ist also zunächst einmal aufzuteilen in die zulässige Fehlergrenze für das Wandlungsmaß der Antenne und in die zulässige Fehlergrenze für die Spannungsanzeige des Meßempfängers.

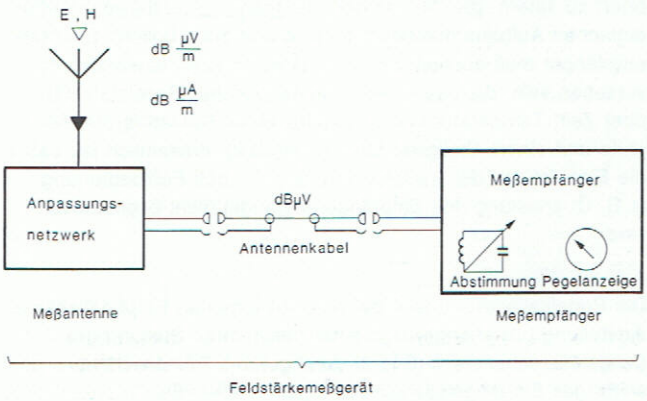


BILD 1 Schematischer Aufbau eines Feldstärkemeßgeräts.

Das Erzeugen einer genau bekannten (Kalibier-)Feldstärke ist technisch nicht einfach. Deshalb sind engere Fehlergrenzen als 1 dB für das Wandlungsmaß von Meßantennen nicht realisierbar. Damit verbleibt ein Wert von ebenfalls 1 dB für den Meßempfänger. Dieser Wert ist nicht leicht zu erreichen, da er über einen Pegelmeßbereich von etwa 100 dB und über einen Temperaturbereich, der für den Betrieb im Freien ausreicht (z. B. – 10 bis + 45° C), einzuhalten ist. Hinzu kommt, daß für Funkstörmessungen geeignete Meßempfänger eine Vorselektion benötigen, so daß nicht nur der (unvermeidliche) Frequenzgang des Eingangsmischers, sondern auch Gleichlauffehler zwischen Eingangsfiltern und Hauptabstimmung zu berücksichtigen sind.

* Nach DIN 1319 Teil 3 Abschnitt 8.3.3 wird die Verwendung der Vorzeichen ± bei der Angabe der Fehlergrenzen nicht empfohlen. Sie sind deshalb im weiteren Text stets weggelassen.

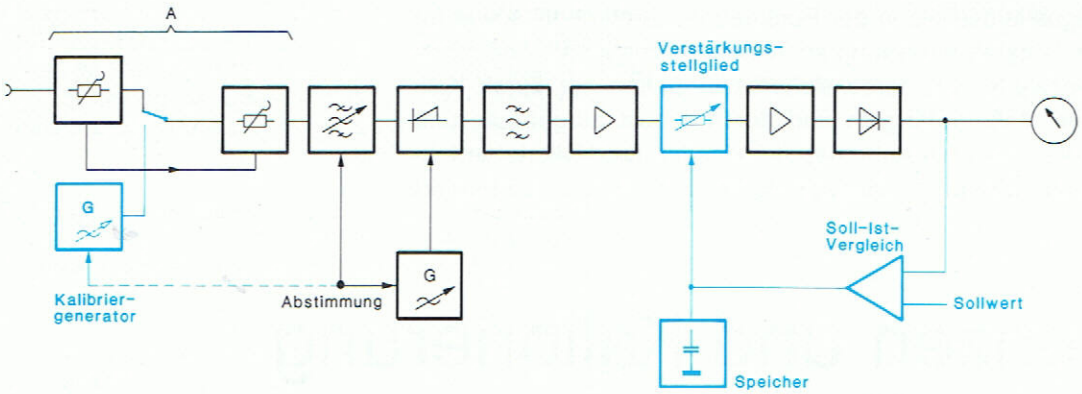


BILD 2
Blockschaltbild eines Meßempfängers. Die zum Kalibrieren benötigten Baugruppen sind hervorgehoben.

Einrichtungen für die Pegelkalibrierung von Meßempfängern

Die Verschiedenheit der vorstehend aufgeführten Einflüsse und ihre Größe bezüglich der geforderten Fehlergrenze von 1 dB machen es unmöglich, einen Meßempfänger in gleicher Weise wie etwa einfache Digitalmultimeter ab Fabrik auf Lebenszeit kalibriert zu liefern. (Bei Meßantennen dagegen ist dies wegen ihres einfachen Aufbaus durchaus möglich und auch üblich). Ein Meßempfänger muß deshalb mit einer eigenen Kalibriereinrichtung versehen sein, die aus einem Generator hoher Pegelstabilität über Zeit, Temperatur und Frequenz, einer Soll-Ist-Vergleichsstufe und einem Stellglied besteht (BILD 2). Wesentlich ist, daß die Einzelstufen der Kalibriereinrichtung durch Fehlbedienung (z. B. Überlastung des Empfängereingangs) nicht beeinflußbar sind.

Die Pegelkalibrierung wird bei einer bestimmten Empfindlichkeitseinstellung beziehungsweise einer bestimmten Stellung des Eingangsteilerschalters A (Bild 2) durchgeführt. Für die Dämpfungswerte des Eingangsteilerschalters gelten ebenfalls Fehlergrenzen, die in die Meßunsicherheit des Empfängers voll eingehen. Die Meßunsicherheit wird dabei um so höher, je mehr sich die Eingangsteilereinstellung bei der Messung von der bei der Kalibrierung unterscheidet. Bei den hier maximal auftretenden Dämpfungsdifferenzen von 80 bis 100 dB kann eine Einstellunsicherheit 0,5 dB mit technisch vertretbarem Aufwand kaum unterschritten werden, so daß für die in Bild 2 hervorgehobene Kalibriereinrichtung die Forderung nach einer Fehlergrenze von 0,5 dB entsteht.

Kalibriergeneratoren

Es gibt verschiedene Methoden, einen Kalibriergenerator zu realisieren. Zunächst kann relativ einfach ein Frequenzspektrum erzeugt werden, das im benötigten Frequenzbereich ausreichend flach verläuft. Gegenüber diesem Konzept bietet ein mit der Empfängerabstimmung mitlaufender Kalibriergenerator bei deutlich höherem Aufwand eine Reihe von Vorteilen.

Pulsgeneratoren

Am einfachsten ist es, den Kalibriergenerator als Pulsgenerator auszubilden, dessen Spektrum bis zur höchsten Frequenz, bei der kalibriert werden muß, genügend eben verläuft.

Für die spektrale Spannungsdichte S, ausgedrückt in V/Hz eines Rechteckimpulses der Amplitude U und der Dauer t (BILD 3a und b), gilt:

$$S = 2 \cdot U \cdot t \cdot \left| \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot t)}{\pi \cdot f \cdot t} \right| .$$

Man erkennt, daß S frequenzunabhängig ist für kleine Werte des Produkts aus der Frequenz f und der Impulsdauer t. Läßt man einen Abfall von S auf 96 Prozent (entsprechend 0,35 dB) des Wertes bei tiefen Frequenzen zu, dann ist das maximale Produkt $f \cdot t = 0{,}157$. Das ergibt eine Impulsdauer von $t = 5{,}2$ ns bei einer Frequenzgrenze von 30 MHz für den angegebenen Amplitudenabfall. In der Praxis kann man noch einen etwas größeren Abfall des Spektrums zulassen, das dann durch Einführen eines komplementären Netzwerks – natürlich auf Kosten der Amplitude bei tiefen Frequenzen – bis zur höchsten Nutzfrequenz eingeebnet wird.

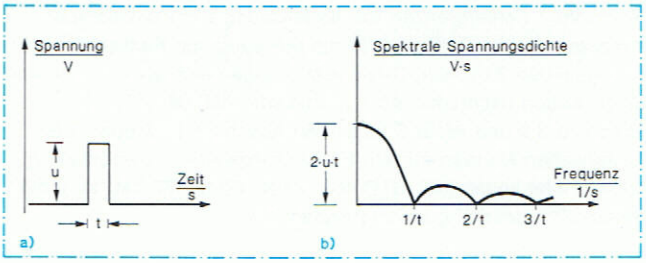


BILD 3 a) Zeitverlauf und b) Frequenzverlauf (Spektrum) eines Rechteckimpulses.

Pulsgeneratoren lassen sich mit ausreichender Frequenzunabhängigkeit der spektralen Spannungsdichte mit Halbleitern für Frequenzen bis etwa 1000 MHz realisieren. Als Pulsfrequenz wird zweckmäßig die in der CISPR-Publ. 16 Abschnitt 2.2 für den jeweiligen Frequenzteilbereich festgelegte Bezugsfrequenz für die Anzeigebewertung gewählt:

Frequenzbereich	Bezugsfrequenz
10 kHz bis 150 kHz	25 Hz
150 kHz bis 30 MHz	100 Hz
30 MHz bis 1000 MHz	100 Hz

Dem Vorteil der Einfachheit und des Wegfalls jeden Gleichlaufproblems beim Pulskalibriergenerator stehen Nachteile gegenüber, die seine Anwendung vor allem auf Fälle beschränken, in denen der höhere Aufwand (Platz, Gewicht, Kosten) für einen Sinuskalibriergenerator nicht tragbar ist:

1. Die Kontrolle des korrekten Pegels ist nicht einfach. Sie erfordert ein Oszilloskop, auf dessen Schirm die Fläche $\int U\,dt$ der Zeitfunktion des Impulses ermittelt werden muß. Diese Integration ist aus verschiedenen Gründen (Abbildungslinearität, Einfluß von Über- und Nachschwingern) im allgemeinen nicht mit der notwendigen Genauigkeit durchführbar.

2. Die Abbildung des Zeitverlaufs des Kalibrierimpulses gibt über den Frequenzverlauf des Amplitudenspektrums keine hinreichende Auskunft. Insbesondere sind Abweichungen vom ebenen Verlauf in Frequenzteilbereichen nicht erkennbar. Deshalb muß die Feinstruktur des Frequenzverlaufs mit einem (sinuskalibrierten) Meßempfänger ermittelt werden.

3. Die Amplitude des Impulses muß wegen der Verteilung der Spektralkomponenten auf ein breites Frequenzband so hoch sein, daß nur Meßempfänger mit genügend schmaler Vorselektion damit kalibriert werden können. Je nach Frequenzbereich, Pulsform und Zugeständnissen an den Abfall des Spektrums an der oberen Frequenzgrenze liegen die Impulsspannungen im Bereich von einigen Volt bis über 100 V.

4. Pulskalibriergeneratoren können – im Gegensatz zu Sinuskalibriergeneratoren – nur stark eingeschränkt zur Vierpolmessung verwendet werden (passive Meßobjekte, kleine Dämpfungsmeßbereiche) und werden deshalb im allgemeinen nicht separat zugänglich gemacht. Damit entfällt eine oft sehr angenehm empfundene Zugabe bei Meßempfängern mit Sinuskalibriergeneratoren, nämlich die Dämpfungsmessung über 100 dB. Sie ist vor allem bei mobilem Betrieb zur Überprüfung von Kabeln und Antennen nützlich.

Im Meßempfängerprogramm von Rohde & Schwarz ist der ESV mit einem Pulskalibriergenerator ausgestattet. Ein Sinusgenerator hätte Gewicht und Volumen des Gerätes unzulässig erhöht. Alle anderen Meßempfänger des R&S-Programms enthalten Sinuskalibriergeneratoren und zusätzliche Pulsgeneratoren für die Kalibrierung der bewertenden Anzeige (CISPR) und die Anzeige für die spektrale Spannungsdichte (MIL). Bei diesen Anzeigearten geht die wirksame Bandbreite mit in das Meßergebnis ein, was durch die zusätzliche Pulskalibrierung berücksichtigt wird.

Oberwellengeneratoren

Die Nachteile des Pulsgenerators werden durch Oberwellengeneratoren weitgehend vermieden. Sie lassen sich aus dem Pulsgenerator ableiten, indem man die Pulsfrequenz so weit erhöht, daß jeweils nur eine Spektrallinie bei der verwendeten ZF-Bandbreite erfaßt wird. Die Einzelfrequenzen des Spektrums dürfen jedoch nur so weit auseinander liegen, daß sich der Frequenzgang des Empfänger-Eingangsteils zwischen zwei Spektrallinien nur unwesentlich ändert. Für die spektrale Spannungsdichte gelten die gleichen Überlegungen wie beim Pulsgenerator. Die Impulsspannung kann jedoch um so niedriger sein, je höher die Pulsfrequenz gewählt wird, da sich die Gesamtenergie auf wenige Spektrallinien verteilt. Ein weiterer Vorteil entsteht dadurch, daß bei der Kalibrierung die Mittelwertgleichrichtung verwendet werden kann. Damit ist für den gleichen Meßfehler aufgrund des internen Empfängerrauschens wie der Spitzenwertmessung etwa 30 dB weniger Pegel notwendig.

Der Kalibrierpegel ist wie beim Sinusgenerator unabhängig von der ZF-Bandbreite. Auch für schmale ZF-Bandbreiten erhält man dadurch den für die Kalibrierung notwendigen Signal-Rauschabstand.

Das Ansteuersignal für den Oberwellengenerator wird aus der geräteinternen Referenzfrequenz gewonnen. Damit ist sichergestellt, daß sich die Oberwellen immer in der Mitte des Empfangskanals befinden. Für die Kalibrierung der bewertenden Anzeigen (Quasipeak/CISPR) und der Anzeige für die spektrale Impulsdichte (Pk/MHz bzw. MIL) wird die Frequenz des Ansteuersignals auf die Bezugsfrequenzen nach CISPR-Publ. 16 (siehe oben) umgeschaltet.

Die Kontrolle des korrekten Pegels kann auf jeder einzelnen Spektrallinie mit einem selektiven Pegelmeßgerät (Empfänger oder Spektrumanalysator) durchgeführt werden, das mit einem thermischen Leistungsmesser geeicht ist, wobei bei Geräten ohne Vorselektion darauf zu achten ist, daß keine Übersteuerung durch den relativ hohen Summenpegel auftritt. Oberwellengeneratoren erreichen eine Pegelkonstanz von ±0,3 dB über den gesamten Arbeitstemperatur- und Frequenzbereich. Die oben erwähnte Forderung von ±0,5 dB Fehlergrenze wird damit sicher erreicht.

Die Funkstörmeßempfänger ESHS und ESVS verwenden aus Kosten- und Platzgründen Oberwellengeneratoren als Kalibrierquellen. Sie werden auch bei den Modellen mit Mitlaufgenerator verwendet, da damit keine Einschränkung an Genauigkeit verbunden ist. Der Abstand der Spektrallinien beträgt bei beiden Geräten 100 kHz. Der ESVS enthält daneben noch einen Sinusgenerator auf einer Festfrequenz mit hohem Pegel (90 dBµV) zur Kalibrierung der Anzeigelinearität, da bis 1000 MHz die mit Oberwellengeneratoren erzeugbaren Pegel nicht ausreichen.

Sinuskalibriergeneratoren

Ein mit der Empfängerabstimmung „mitlaufender" Sinuskalibriergenerator bietet – bei deutlich höherem Aufwand – gegenüber dem Pulsgenerator eine Reihe von Vorteilen und wird deshalb in den Rohde & Schwarz-Geräten ESH 2, ESH 3 und ESVP eingesetzt. Mußte bei früheren Geräten, die mit mechanischer LC-Abstimmung arbeiteten, der Gleichlauf bei jedem Eichvorgang von Hand justiert werden, so bietet die Frequenzsynthese der modernen Geräte einen perfekten automatischen Frequenzgleichlauf. Dadurch liegt auch bei den schmalsten Empfängerbandbreiten das Kalibriersignal stets exakt in der Mitte des Empfangskanals.

Die erwähnte Forderung einer Fehlergrenze von 0,5 dB für das gesamte Kalibriersystem kann mit einem Sinuskalibriergenerator, bei dem eine Pegelkonstanz von ±0,3 dB bei sorgsamer Auslegung erreicht wird, sicher erfüllt werden.

Ein moderner Sinuskalibriergenerator besteht aus einem Synthesizer, der aus dem Sollwert der letzten Zwischenfrequenz und allen im Empfangskanal wirksamen Oszillatorfrequenzen die Fre-

quenz herstellt, auf die der Empfänger abgestimmt ist, ferner aus einem HF-Voltmeter, einer Soll-Ist-Vergleichsstufe und einem Stellglied. Die drei zuletzt genannten Stufen bilden eine Regelschleife, die die EMK des Kalibriersignals konstant hält. Auf diese Stufen folgen Innenwiderstand und Präzisionsdämpfungsglied, das zum einen den nach außen wirksamen Innenwiderstand auf genau 50 Ω (reell) bringt und zum anderen den Regelkreis für die EMK-Konstanthaltung gegen Einflüsse von außen schützt (BILD 4).

Der Ausgangspegel eines Sinuskalibriergenerators kann grundsätzlich irgendwo im Anzeigebereich des Meßempfängers liegen. Man wählt ihn aber zweckmäßig so, daß er mit handelsüblichen Leistungsmessern direkt gemessen werden kann, beispielsweise −17 dBm = 90 dBµV an 50 Ω. Neben der schnellen und genauen Kontrolle der korrekten Funktion des Kalibriergenerators bietet dieser relativ hohe Pegel den Vorteil des großen Dämpfungsmeßbereichs. Beim Meßempfänger ESVP liegt das Eigenrauschen je nach Frequenz etwa bei −20 dBµV, so daß Dämpfungen bis zu 110 dB gemessen werden können. Beim ESH 2 und ESH 3 liefert der Kalibriergenerator +80 dBµV bei einer Rauschgrenze von −30 dBµV, woraus sich eine Meßgrenze für die Dämpfung von ebenfalls 110 dB ergibt.

dieser Stufe wirkt auf das im Zwischenfrequenzverstärker angeordnete Dämpfungsglied, wobei ein geeigneter Speicher auch nach Beendigung der Kalibrierung die dabei eingestellte Dämpfung konstant hält. Dieser analog oder digital arbeitende Speicher wurde bei der früher üblichen manuellen Kalibrierung durch das Verstärkungseinstellpotentiometer gebildet, wobei der Bedienende die „Soll-Ist-Vergleichsstufe" war (Beobachtung des Zeigerausschlags und der Eichmarkierung des Anzeigeinstruments). Die Meßempfänger ESH 2, ESH 3 und ESV speichern die beim Kalibrieren ermittelte Steuerspannung für das Dämpfungsglied in der ZF analog in einem Kondensator extrem hoher (einige Wochen) Zeitkonstante, während im ESVP und in den Störmeßempfängern ESHS und ESVS die Information digital in einem nichtflüchtigen RAM abgelegt wird. Die Steuerspannung für das Dämpfungsglied wird dann über einen D/A-Wandler gewonnen.

Ablauf des Kalibriervorgangs

Durch Drücken der entsprechenden Frontplattentaste oder auch durch einen IEC-Bus-Befehl (ESH 3, ESHS und ESVP, ESVS)

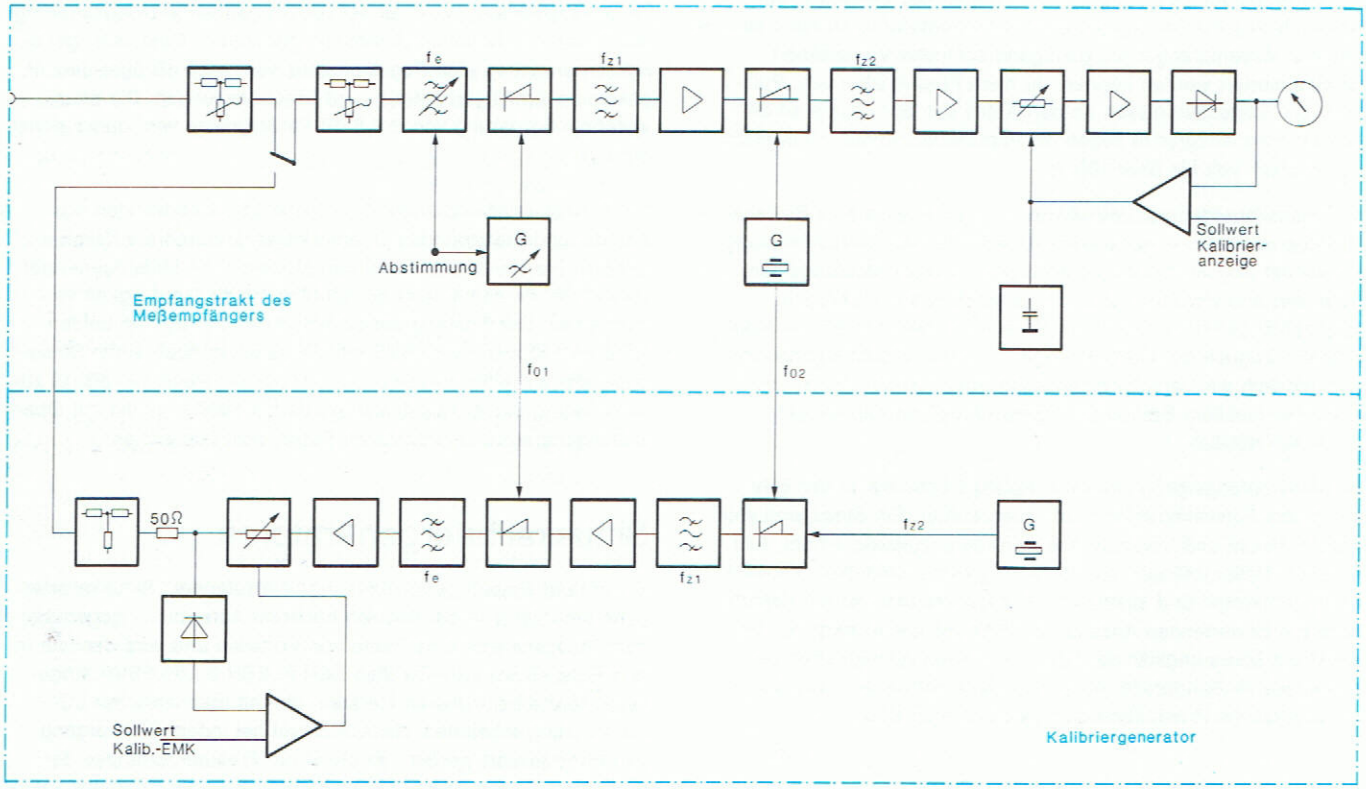


BILD 4 Erzeugung des Kalibrierpegels auf der Abstimmfrequenz f_e bei einem Meßempfänger mit zweifacher Umsetzung der Eingangsfrequenz.

Soll-Ist-Vergleichsstufe und Verstärkungsstellglied

Am Kalibriervorgang sind weiterhin eine Soll-Ist-Vergleichsstufe und ein Verstärkungsstellglied beteiligt (Bild 2). In der Soll-Ist-Vergleichsstufe wird der Pegel-Anzeigewert mit dem Sollwert (Pegel des Kalibriergenerators) verglichen. Das Ausgangssignal wird der Kalibriervorgang ausgelöst. Auf selbsttätige Auslösung der Kalibrierung, beispielsweise nach einer bestimmten Betriebszeit, wurde bewußt verzichtet, weil hierdurch Messungen im unpassenden Augenblick unterbrochen werden können. Die Praxis zeigt auch, daß ein Selbst-Triggern nicht nötig ist.

Der Kalibriervorgang läuft folgendermaßen ab: Der Kalibriergenerator wird eingeschaltet, der Empfängereingang von der Eingangsbuchse getrennt und mit dem Kalibrierausgang verbunden.

Soll-Ist-Vergleichsstufe und Verstärkungsstellglied stellen die Sollverstärkung des Meßempfängers ein, wobei natürlich die Einschwingzeiten der beteiligten Stufen, besonders die des ZF-Gleichrichters, berücksichtigt werden müssen. Auf diese Weise dauert eine Kalibrierung etwa so lange wie ein Meßvorgang. Das ist für einen manuell abgestimmten Empfänger ausreichend kurz, stört aber sehr bei automatisch durchgestimmten Empfängern, denn der Zeitaufwand einer rechnergesteuerten Messung würde auf diese Art verdoppelt. Besonders in der Anzeigeart Quasipeak (QP bzw. CISPR-bewertete Anzeige nach CISPR-Publ. 16 und VDE 0876 Teil 1), wo Meßzeiten unter 1 s im allgemeinen zu verfälschter Anzeige führen, ist diese Verdopplung außerordentlich störend.

Deshalb werden in den rechnersteuerbaren Geräten ESH 3, ESHS und ESVP, ESVS zwei Kalibrierroutinen verwendet. Der Grundgedanke dabei ist, daß es Empfängereigenschaften gibt, die sich nur sehr langsam ändern, etwa durch Alterung von Bauelementen. Hierzu gehören die Abstimmcharakteristik der Eingangsfilter, die für den Gleichlauffehler verantwortlich ist, und Änderungen der ZF-Selektionsmittel. Die einzige Eigenschaft, die sich in relativ kurzer Zeit ändern kann, ist die Verstärkung des Gerätes. Hier sind – bei einer Gesamtverstärkung in der Größenordnung von 140 dB – Änderungen über den gesamten Arbeitstemperaturbereich von einigen dB möglich. Diese Verhältnisse ermöglichen bei den prozessorgesteuerten Empfängern folgende günstige technische Lösungen:

1. Kurzkalibrierung: Die Empfängerabstimmung springt – unabhängig vom eingestellten Wert – auf 1 MHz (ESH 3 und ESHS) oder 100 MHz (ESVP) oder 64 MHz (ESVS), die Bandbreite wird auf 10 kHz (ESH 3 und ESHS) oder 120 kHz (ESVP und ESVS) und die Anzeige auf „Mittelwert" (MW bzw. AV) geschaltet. Die Sollverstärkung wird bei dieser Frequenz automatisch, wie oben beschrieben, eingestellt. Danach springen Abstimmung, Bandbreite und Betriebsart wieder auf die vorher eingestellten Werte zurück. Die Kurzkalibrierung wird durch kurzes Drücken der Taste „CAL" ausgelöst.

2. Totalkalibrierung: Sie wird dadurch ausgelöst, daß die Taste „CAL" länger als drei Sekunden gedrückt wird. Folgende Vorgänge laufen nacheinander ab, wobei die dabei ermittelten Korrekturwerte im nichtflüchtigen RAM abgelegt werden:

- Vergleich der Verstärkungen bei den verschiedenen ZF-Bandbreiten mit der Verstärkung bei 10 kHz (ESH 3 und ESHS) oder 120 kHz (ESVP und ESVS) Bandbreite.
- Vergleich der Anzeigearten „bewertet nach CISPR" (QP bzw. CISPR), „Spitzenwert" (Pk bzw. SP) und „spektrale Spannungsdichte" (Pk/MHz bzw. MIL) mit der Referenzanzeige „Mittelwert" (AV bzw. MW). Hierfür wird der eingebaute Pulskalibriergenerator verwendet.
- Prüfung der Anzeigekennlinien in 10-dB-Schritten durch Einschalten einer entsprechenden Anzahl von 10-dB-Dämpfungsstufen des Eingangsteilerschalters.
- Messung des Frequenzgangs der Eingangsschaltung bezüglich der Referenzfrequenz mit und ohne eingeschaltetem Vorverstärker, um auch dessen Frequenzgang zu erfassen.

Die Totalkalibrierung läuft in etwa 25 s (ESH 3, ESHS) oder 60 s (ESVP, ESVS) ab und muß nur gelegentlich (z. B. jede Woche einmal) durchgeführt werden.

Der Hauptvorteil dieser Kombination aus Kurz- und Totalkalibrierung ist, daß es ausreicht, vor einem automatischen Frequenzablauf die Kurzkalibrierung auszulösen. Sie kostet so viel Zeit wie ein Meßwert. Die folgenden rund 6000 Meßwerte (bei einer Schrittweite von 5 kHz für einen Ablauf von 10 kHz bis 30 MHz) werden dann automatisch unter Berücksichtigung der aus der Totalkalibrierung ermittelten Korrekturwerte ausgegeben. Die als Beispiel aufgeführte Zahl der Meßwerte gegenüber einem Kalibriervorgang zeigt, daß die Zeit für das Kalibrieren hier vernachlässigt werden kann. Das heißt nichts anderes, als daß die Kombination von Kurz- und Totalkalibrierung die Prozeßzeit gegenüber einer Meßroutine, bei der bei jedem Frequenzschritt kalibriert wird, halbiert.

Kalibrieren der geräteinternen Standards

Meßergebnisse müssen international im Rahmen der zugelassenen Fehlergrenzen vergleichbar sein. Deshalb ist es notwendig, die Kalibriergeneratoren selbst und die übrigen, für die Fehlergrenzen eines Meßempfängers bestimmenden Baugruppen (z. B. die Eingangseichleitung) mit Hilfe nationaler Standards (die ihrerseits wieder international verglichen werden) zu kalibrieren.

Ein Meßempfänger sei hier in erster Linie als frequenzselektives Pegelmeßgerät aufgefaßt. Die Kalibrierung der Frequenzeinstellung, bei der der interne Quarzreferenzoszillator mit einer Normalfrequenzquelle verglichen und justiert wird, soll hier deshalb außer Betracht bleiben.

Für die reine Pegelkalibrierung sind zwei Aufgaben zu lösen:

1. Der Pegel des internen Kalibriergenerators muß mit einer maximalen Abweichung von etwa ±0,1 dB bei eingelaufenem Gerät und normaler Temperatur (+23° C) auf seinen Sollwert eingestellt werden.

2. Die Dämpfungsschritte der Eingangseichleitung müssen daraufhin kontrolliert werden, daß die gesamte eingeschaltete Dämpfung nie mehr als 0,5 dB vom Sollwert abweicht.

Anmerkung zu Punkt 1: Zur genauen Ermittlung eines Hochfrequenzpegels dient der Leistungsmesser NRV von Rohde & Schwarz, dessen Frequenzbereich bis 18 GHz reicht. In Verbindung mit dem Leistungsmeßkopf NRV-Z2 wird eine Meßgenauigkeit von 1,5 % vom Meßwert entsprechend 0,07 dB durch Vergleich mit einem von PTB bzw. NIST kalibrierten thermischen Leistungsmeßkopf erreicht. Damit steht ein Meßmittel zur Verfügung, das wesentlich genauer ist als die zulässigen Fehlergrenzen des Kalibriergenerators in einem Meßempfänger.

Anmerkung zu Punkt 2: Die Eingangseichleitung wird an einem Dämpfungsmeßplatz überprüft, der mit Normaldämpfungsgliedern kalibriert ist, die ihrerseits wieder auf das NIST-Standard-Normal zurückgeführt sind. Die Grenze des Meßfehlers beträgt 0,02 dB pro 10- oder 20-dB-Schritt. Damit sind die geforderten Fehlergrenzen der Eingangseichleitung von 0,5 dB über 110 dB sicher überprüfbar.

Durch die beschriebenen Kalibrierverfahren ist bei allen Rohde & Schwarz-Meßempfängern dafür gesorgt, daß die geforderten und garantierten Fehlergrenzen sicher eingehalten werden.

Kalibrieren von Meßantennen

Antennen dienen als Wandler zwischen leitungsgeführten und sich frei im Raum ausbreitenden elektromagnetischen Wellen. Während es in der Kommunikationstechnik vor allem auf eine möglichst verlustarme Überführung des einen Wellentyps in den anderen ankommt, haben Meßantennen die Aufgabe, einem nachgeschalteten Meßempfänger ein genaues Maß für die am Aufstellungsort herrschende Feldstärke anzubieten. Grundsätzlich läßt sich jede Antenne auch als Meßantenne einsetzen, sofern ihre Eigenschaften genau bekannt sind.

Eigenschaften von Antennen

Die einfachste vorstellbare Antennenform ist der isotrope Kugelstrahler, ein in alle Raumrichtungen gleichmäßig strahlender Punkt. Wird eine derartige Antenne mit der Sendeleistung P_s gespeist, so ruft sie im Abstand r die **Strahlungsdichte**

$$S_{io} = \frac{P_s}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \qquad (1)$$

hervor. Eine praktisch realisierbare Antenne stellt der isotrope Kugelstrahler zwar nicht dar; er eignet sich jedoch vorzüglich als Referenzstrahler für Vergleichszwecke. Reale Antennen weisen demgegenüber stets eine räumliche Richtcharakteristik und damit

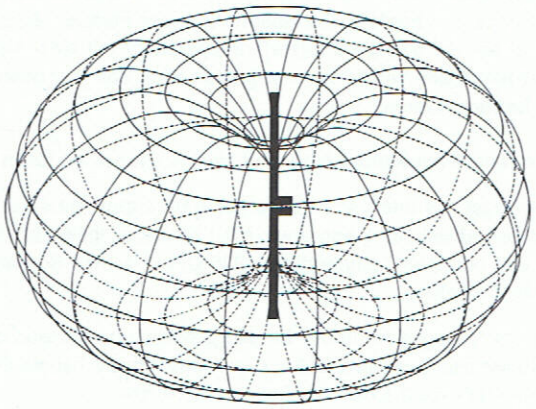


BILD 5 Räumliche Richtcharakteristik einer Dipolantenne.

(mindestens) eine Hauptstrahlungsrichtung auf (BILD 5). Ihr Verhalten kann dann zweckmäßig durch das Verhältnis der von ihr in Hauptstrahlungsrichtung erzeugten Strahlungsdichte zu der eines mit gleicher Leistung gespeisten isotropen Kugelstrahlers beschrieben werden. Der so definierte **Antennengewinn**

$$G = \frac{S_{max}}{S_{io}}, \qquad (2)$$

der häufig auch in logarithmierter Form $g = 10 \lg G$ [dB] (3) angegeben wird, ist also ohne besondere Vereinbarung stets

- auf die Hauptstrahlungsrichtung der Antenne und
- auf einen isotropen Kugelstrahler als Vergleichsantenne

bezogen. Wichtig sind weiterhin die Feststellungen, daß der so genormte Gewinn [2] nur für

- eine perfekt angepaßte Antenne (Reflexionsfaktor $r = 0$) und
- eine verlustfreie Antenne (Wirkungsgrad $\eta = 1$)

gilt. Er läßt sich aus dem ebenfalls genormten praktischen Gewinn [3] sowie dem Betrag des Reflexionsfaktors bestimmen:

$$G = G_{prakt} \frac{1}{1 - |r|^2}. \qquad (4)$$

Müssen darüberhinaus Antennenverluste berücksichtigt werden, so ist zwischen dem Gewinn G und dem Richtfaktor D zu unterscheiden, die über den Antennenwirkungsgrad η verknüpft sind:

$$G = \eta \cdot D. \qquad (5)$$

Soll nun eine Antenne dazu dienen, die an ihrem Aufstellungsort herrschende Feldstärke zu bestimmen, so muß ihr **Wandlungsfaktor**

$$K = \frac{\text{Elektrische Feldstärke}}{\text{Ausgangsspannung an } 50\ \Omega} \qquad (6)$$

(oft auch Antennenfaktor, engl.: antenna factor) bekannt sein, dessen logarithmierte Form als **Wandlungsmaß**

$$k = 20 \lg K \qquad (7)$$

zu dem vom Empfänger angezeigten Spannungspegel P_u zu addieren ist, um den gesuchten Feldstärkepegel zu erhalten:

$$F\ [dB(1\mu V/m)] = P_u\ [dB(1\mu V)] + k\ [dB(1/m)]. \qquad (8)$$

Es liegt nahe, daß jede Ungenauigkeit dieses Wandlungsfaktors in die Genauigkeit der Feldstärkemessung eingeht, woraus die Forderung nach einer möglichst präzisen Kalibrierung der Meßantenne resultiert. Je nach Art der zu untersuchenden Feldstärke und dem zu überstreichenden Frequenzbereich kommen unterschiedlichste Antennenformen als Meßantennen in Betracht.

Kalibrierverfahren

Bei der Kalibrierung einer Meßantenne ist die Frage von untergeordneter Bedeutung, ob hierfür der Wandlungsfaktor (6) oder der Gewinn (4) meßtechnisch bestimmt werden, da sich beide Größen durch Auswertung der Beziehung

$$K = \frac{9{,}73}{\lambda \cdot G_{prakt}} = \frac{9{,}73}{300} \frac{f\ [MHz]}{G_{prakt}} \qquad (9)$$

ineinander umrechnen lassen. Unerheblich ist auch, ob die zu kalibrierende Antenne als Sende- oder Empfangsantenne betrieben wird, da sämtliche Antennengrößen für Sende- wie Empfangsfall analog definiert sind. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß die Definitionen streng zunächst nur für die Wellenausbreitung im völlig freien Raum gültig sind. Gelingt es nicht, hinreichende Freiraumbedingungen wie

- einen Mindestabstand von einer (besser einigen) Wellenlänge(n) zwischen Sende- und Empfangsantenne sowie
- völlige Hindernisfreiheit in einer definierten Zone um Sende- und Empfangsantenne

zu schaffen, so erweist es sich als vorteilhafter, die durch die Reflexion an einer gut leitenden Platte hervorgerufene Feldstärkeüberhöhung zur Kalibrierung auszunutzen.

Ist die elektrische Feldstärke am Aufstellungsort der Antenne mit ausreichender Genauigkeit bekannt, so kann der Wandlungsfaktor direkt durch Auswertung der Gleichung (6) gewonnen werden

(Standard-Feld-Methode). So wird beispielsweise im Frequenzbereich 10 kHz bis 30 MHz als genormtes Feld das einer Doppelleitung [4] oder einer Rahmenantenne [5] herangezogen.

Daneben sind von nationalen und internationalen Normungs- und Fernmeldebehörden eine Reihe weiterer Kalibrierverfahren festgelegt worden, um den physikalischen Eigenschaften der Antennen in den jeweils betrachteten Frequenzbereichen in geeigneter Form Rechnung zu tragen. Hinsichtlich der Auswertung der Messung lassen sie sich unterscheiden in

- Vergleichsverfahren, bei denen die Daten der zu kalibrierenden Antenne mit denen einer Referenzantenne verglichen werden, und in
- Reziprozitätsverfahren, bei denen die Antennendaten aus der berechneten Übertragungsdämpfung zwischen Sende- und Empfangsantenne bestimmt werden.

Da in die Genauigkeit des Vergleichsverfahrens neben anderen Faktoren selbstverständlich auch die Präzision der zur Verfügung stehenden Referenzantenne eingeht, wird bei Rohde & Schwarz grundsätzlich den Reziprozitätsverfahren der Vorzug gegeben. Eine Übersicht über gängige Kalibrierverfahren vermittelt die Tabelle in BILD 6.

	Freiraumverfahren	Reflexionsverfahren
Vergleichsverfahren	Vergleichsverfahren nach DIN 45003 [3] Standard Receiving Antenna Method NBS Report 5539 [6] Reference Antenna Method nach ANSI-C63.5 [7]	Reference Antenna Method nach ANSI-C63.5 [7]
Reziprozitätsverfahren (2 identische Antennen)	Reziprozitätsverfahren nach DIN 45003 ARP 958 [8]	Standard Site Method nach ANSI-C63.5
Reziprozitätsverfahren (3 Antennen)	Reziprozitätsverfahren nach DIN 45003 und Hausvorschrift R&S; ARP 958 (3 Antennen)	Standard Site Method nach ANSI-C63.5

BILD 6 Tabellarische Zusammenstellung gängiger Kalibrierverfahren für Meßantennen.

Antennenkalibrierung nach dem Reziprozitätsverfahren

Antennen wie die logarithmisch-periodische Dipolantenne HL 223, die einen Frequenzbereich von 200 bis 1300 MHz bei einem typischen Gewinn von 6,5 dB überstreichen, lassen sich nach einem Freiraumverfahren kalibrieren, da

- ihre vergleichsweise hohe Betriebsfrequenz und
- ihre Richtwirkung

den Aufbau einer Freiraumstrecke durchaus gestatten und sich mögliche störende Einflüsse wirkungsvoll ausblenden lassen. Einen typischen Meßaufbau zeigt BILD 7. Wird nun – vorzugsweise mit Hilfe eines Netzwerk-Analysators – das Verhältnis zwischen empfangener und abgestrahlter Leistung

$$\frac{P_e}{P_s} = |S_{21}|^2 \quad \text{mit } 20 \lg |S_{21}| = s_{21} \tag{10}$$

gemessen, so erhält man für die Summe der logarithmierten Antennengewinne den allein vom gemessenen Parameter s_{21} sowie dem zuvor berechneten Freiraum-Grundübertragungsmaß L_o abhängigen Ausdruck

$$g_e + g_s = s_{21} + L_o \quad \text{mit } L_o = 10 \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda}\right)^2. \tag{11}$$

Er ermöglicht die Bestimmung der Einzelgewinne, sofern entweder beide Antennen identisch sind oder aber der Gewinn einer Antenne genau bekannt ist.

Werden nach dem geschilderten Verfahren nicht zwei, sondern drei – nunmehr grundsätzlich beliebige – Antennen gegeneinander vermessen, so führt dies auf ein System von drei Gleichungen, das sich unter der Voraussetzung konstanten Grundübertragungsmaßes ohne weiteres nach den drei Einzelgewinnen auflösen läßt. Die Drei-Antennen-Methode gestattet mithin die Kalibrierung von drei – auch verschiedenen – Antennen zugleich und stellt darüber hinaus die einzige Möglichkeit dar, auch aktive Antennen (mit denen ein Sendebetrieb nicht möglich ist) zu kalibrieren.

Zu den möglichen Fehlerquellen zählen in erster Linie verfälschende Bodenreflexionen, die man durch

- Verwendung vertikaler Polarisation,
- Ausnutzung der Richtwirkung mit entsprechend hohen Masten,
- Verwendung von Absorbern am Boden

sowie den Einsatz weiterer Verfahren zu verringern bestrebt sein wird. Eine gegenseitige Verkopplung beider Antennen verändert zudem deren Eigenschaften und muß erforderlichenfalls rechnerisch berücksichtigt werden. Ebenso ist zu beachten, daß gerade bei der hier vorgestellten logarithmisch-periodischen Antenne die Lage des Phasenzentrums frequenzabhängig ist.

Soll stattdessen beispielsweise ein bikonischer Breitbanddipol im Frequenzbereich 20 bis 300 MHz kalibriert werden, so lassen sich Freiraumbedingungen nur sehr schwer realisieren. Entsprechend BILD 8 werden daher die Antennen über einer leitenden Fläche aufgebaut, so daß sich das am Empfangsort herrschende Feld aus einem direkten und einem reflektierten Anteil zusammensetzt. Durch entsprechende Höhenjustage des Prüflings kann nun das (zuvor berechnete) Feldstärkemaximum eingestellt und durch Vergleich zwischen errechneten und gemessenen Werten wie zuvor beschrieben auf die Antennendaten geschlossen werden.

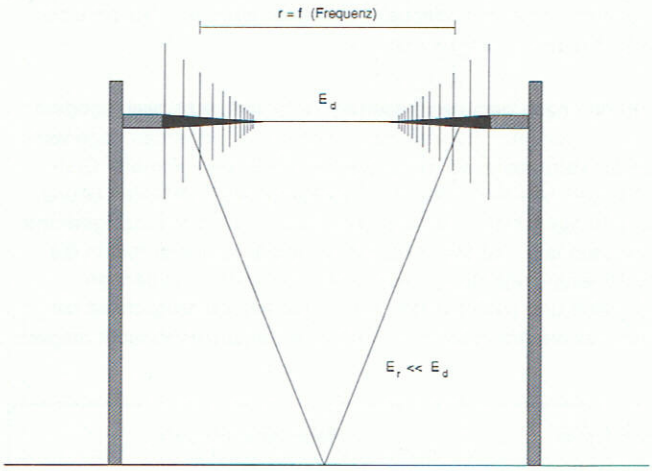


BILD 7 Meßaufbau zur Kalibrierung nach dem Freiraumverfahren.

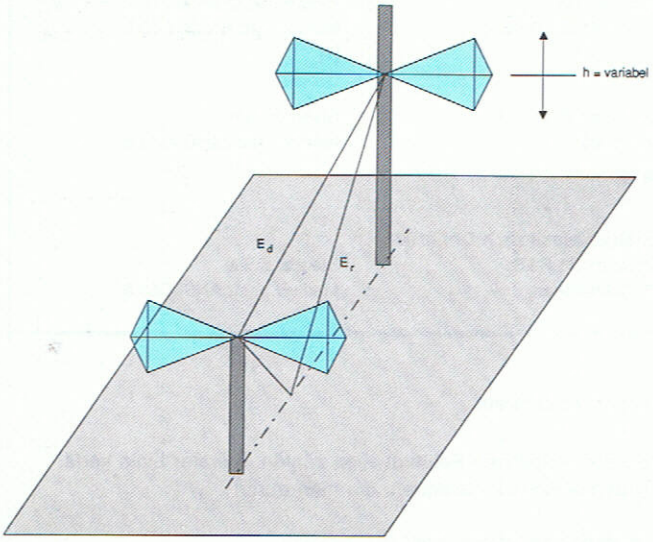


BILD 8 Meßaufbau zur Kalibrierung nach dem Reflexionsverfahren.

Dem erheblichen Vorteil, daß das Reflexionsverfahren auch bei niedrigen Frequenzen sowie auf relativ kleinem Raum anwendbar ist, stehen die Nachteile einer größeren Anzahl möglicher Fehlerquellen sowie eines erhöhten Meßaufwands gegenüber. So ist insbesondere zu beachten, daß

- die reflektierende Fläche hinreichend gut leitend und glatt ist und
- die Meßstrecke und ihre Umgebung frei von sonstigen Reflektoren und Hindernissen ist.

Eine Überprüfung des Meßplatzes mit bekannten Antennen ist daher zwingend erforderlich. Die Richtcharakteristik der verwendeten Antennen muß elementar (beispielsweise rund) oder aber mindestens frequenzabhängig bekannt sein; aus diesen und anderen Gründen wird man bevorzugt horizontal polarisierte Antennen einsetzen. Zusätzlich zur Verkopplung beider Antennen miteinander wird man die mit der leitenden Ebene berücksichtigen müssen.

Das ursprünglichste und direkt aus der Definitionsgleichung (6) ableitbare Verfahren, einer zu kalibrierenden Meßantenne ein definiertes Feld zur Verfügung zu stellen und deren Ausgangsspannung zu messen, besticht durch sein sehr einfach anmutendes Konzept, stößt jedoch sehr rasch auf physikalische Grenzen der Anwendbarkeit. Es ist daher erforderlich, abhängig von

- den Dimensionen der zu kalibrierenden Antenne und
- dem überstrichenen Frequenzbereich

Kalibrierverfahren auszuwählen, die die Bestimmung des Wandlungsfaktors mit hinreichender Genauigkeit gestatten. Auf eine sorgfältige Abschätzung (gegebenenfalls Kompensation) möglicherweise auftretender Fehlerquellen an Meßstrecke und Meßgeräten kann keinesfalls verzichtet werden. Die Verwendung eines Netzwerkanalysators mit automatischer, die HF-Kabel einbeziehender Fehlerkorrektur kann Fehler deutlich verringern und bietet darüber hinaus den Vorteil, daß sich zeitabhängige Störungen – etwa durch Fremdsender oder Windeinflüsse – sofort erkennen lassen.

Karl-Otto Müller; Ludwig Nielsen; Dr. Christof Rohner; Josef Wolf

LITERATUR

[1] DIN 1319 Teil 3, August 83, Grundbegriffe der Meßtechnik.

[2] ITG/NTG 2.1/01: Begriffe aus dem Gebiet der Antennen, Elektrische Eigenschaften und Kenngrößen. Informationstechnische Gesellschaft im VDE (ITG), Fachausschuß Antennen. Empfehlung 1986, ITG-Fachbericht 111, 1990. VDE-Verlag Berlin, Offenbach.

[3] DIN 45003, Meßverfahren für Ton- und Fernsehrundfunk-Empfangsanlagen im Frequenzbereich von 30 bis 1000 MHz.

[4] Fernmeldetechnisches Zentralamt der Deutschen Bundespost, Technischer Bericht Nr. 5547 vom 1.8.59.

[5] Aykan, A.: Präzisionskalibrierung für Rahmenantennen mit Primärnormal-Genauigkeit. Neues von Rohde & Schwarz (1990) Nr. 131, S. 29.

[6] NBS Report 5539: Methods for accurate Measurement of Antenna Gain, National Bureau of Standards. November 1957, Boulder, Colorado, USA.

[7] ANSI-C63.5, American National Standard for Calibration of Antennas.

[8] ARP 958: Aerospace Recommended Practice, Broadband Electromagnetic Interference Measurement Antennas; Standard Calibration Requirements and Methods. Society of Automotive Engineers Inc.. Januar 1968, New York, N.Y., USA.

Die bewertete Messung von Störimpulsen nach CISPR stellt an den Meßempfänger vor allem im VHF-UHF-Bereich außerordentlich hohe Anforderungen. Mit einem extrem linearen Gleichrichter und einer besonderen Bewertungsschaltung wird bei den Empfängern ESV und ESVP ein CISPR-QP-Anzeigebereich von 10 dB erreicht. Durch eine besondere Überwachungseinrichtung läßt der Meßempfänger ESVS auch ein Arbeiten im Anzeigebereich von 60 dB zu. Dadurch und durch optimale Dimensionierung der HF-Eingangsstufen gestatten diese Meßempfänger komfortables und genaues Messen ohne Einschränkung zwischen 20 und 1000 MHz in konkurrenzloser Weise.

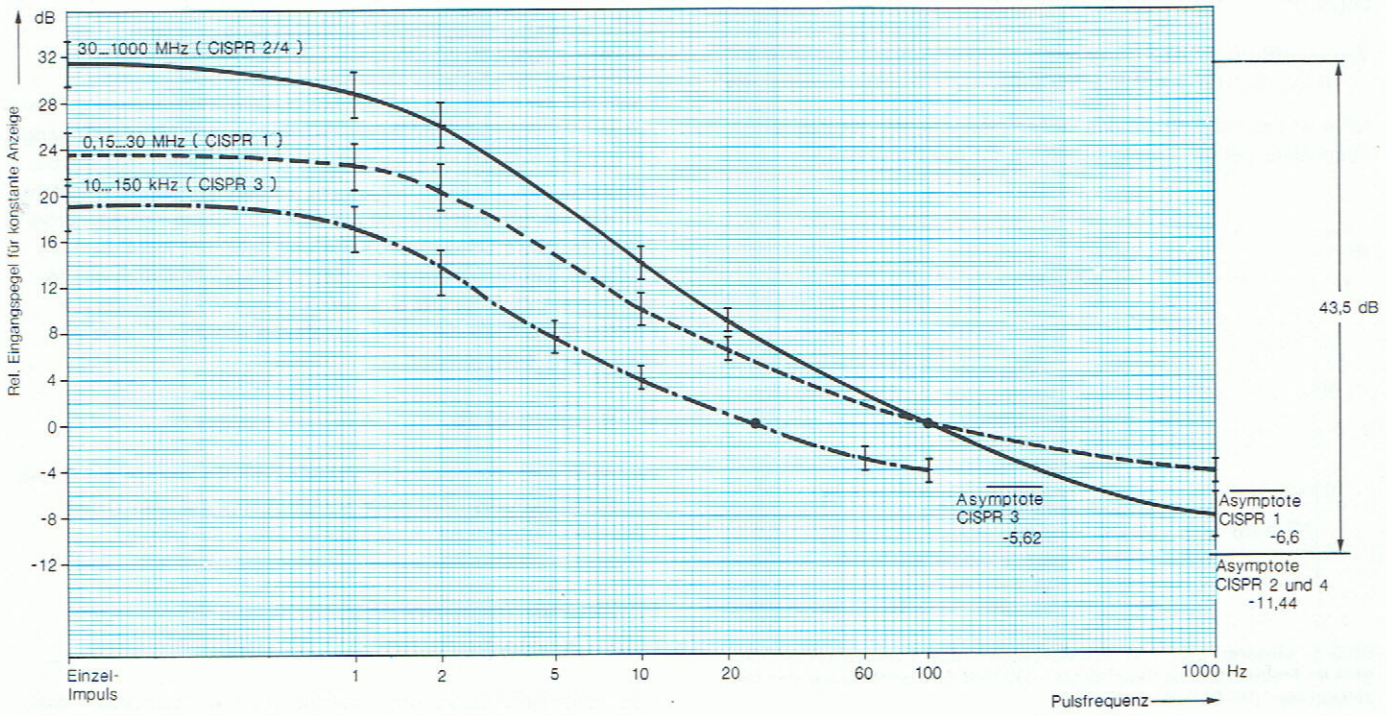
Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit den Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS

Das CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) legte in den Publikationen 1 bis 4 (zusammengefaßt 1977 in Publ. 16) die Eigenschaften der Funkstörmeßempfänger für die drei Frequenzbereiche 10 bis 150 kHz, 0,15 bis 30 MHz und 30 bis 1000 MHz fest. In nationalen Vorschriften, zum Beispiel in VDE 0876 Teil 1, wurden die Eigenschaften des Funkstörmeßempfängers äquivalent definiert. **Charakteristisch für jeden der drei Frequenzbereiche** ist die **jeweilige Quasi-Peak-Bewertungskurve** zur Messung von Impulsstörungen (BILD 1).

Linearer Anzeigebereich eines Funkstörmeßempfängers

Aufgabe der **QP-Bewertungsschaltung** ist es, den **Störeindruck,** den Impulse vor allem beim Rundfunkempfang akustisch oder optisch auf den Menschen hervorrufen, **quantitativ zu erfassen.** Mit einer Pulsfrequenz von 100 Hz wird die gleichgroße Störung als wesentlich lästiger empfunden als mit 10 Hz. Ein Vergleich der drei Bewertungskurven von Bild 1 zeigt, daß im Frequenzbereich von 30 bis 1000 MHz für Einzelimpulse ein Bewertungsfaktor von

BILD 1 CISPR-QP-Bewertungskurven für Impulsstörungen.



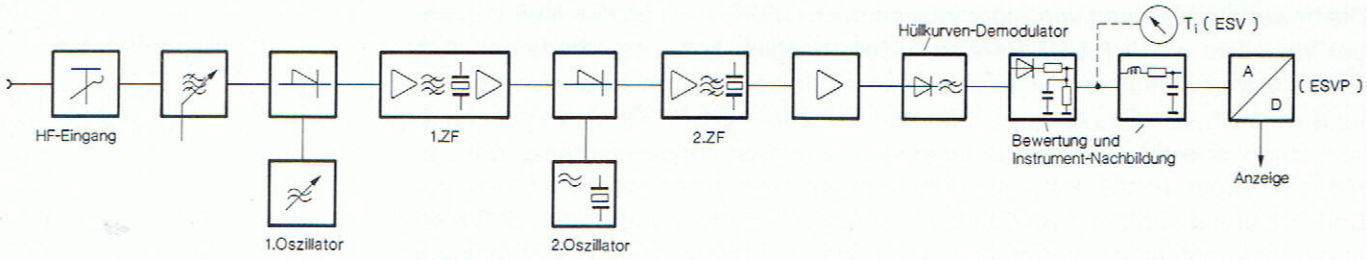


BILD 2 Blockschaltbild eines Funkstörmeßempfängers.

43,5 dB gefordert ist, das heißt, der Spitzenwert des Einzelimpulses ist um 43,5 dB höher als der QP-Anzeigewert nach CISPR. Damit die Bewertung bei jeder Pulsfrequnz richtig wird, müssen die Impulse den gesamten Meßempfänger linear durchlaufen (BILD 2). Dies bedingt eine Linearitätsreserve der Stufen nach dem ZF-Filter (120 kHz) von 43,5 dB. Vor dem ZF-Filter wird der Eingangsimpulspegel um den logarithmierten Bandbreitenfaktor 20 log B_{rf}/B_{if} größer (siehe folgende Gleichungen). Der lineare Anzeigebereich des Funkstörmeßempfängers beginnt bei der Rauschanzeige und endet dort, wo ein Einzelimpuls durch die Empfängereingangsschaltung um etwa 1 dB komprimiert wird.

Die obere Grenze ist gegeben durch:

$$V_{ind\ max}\ (dB\mu V) = V_{max}\ (dB\mu V) - 20\ \log \frac{B_{rf}}{B_{if}} - W_1\ (dB). \qquad (1)$$

V_{max} ist der 1-dB-Kompressionspunkt der Empfängereingangsschaltung (Eingangsmischer) für ein Sinussignal; B_{rf} und B_{if} sind die Impulsbandbreiten (≈ 6-dB-Bandbreiten) der HF-Vorselektion und der ZF-Selektion, W_1 ist der Pulsbewertungsfaktor.

Für B_{rf} gilt im Bereich 20 bis 1000 MHz: $B_{rf} \approx f_{rec}/10$ (f_{rec} = Empfängerfrequenz), ein Wert, der mit erträglicher Einfügungsdämpfung der Vorselektion erreichbar ist;
B_{if} = 120 kHz und W_1 = 43,5 dB für Einzelimpulse.

Der lineare Anzeigebereich ist unten durch die Rauschanzeige begrenzt:

$$V_{ind\ min}\ (dB\mu V) = -67\ dB\mu V + 10\ \log\ (B_{if}/Hz) + NF_{dB} + W_2\ (dB). \qquad (2)$$

NF_{dB} ist das Rauschmaß des Meßempfängers, W_2 der Bewertungsfaktor der QP-Anzeigeschaltung für das Rauschen.

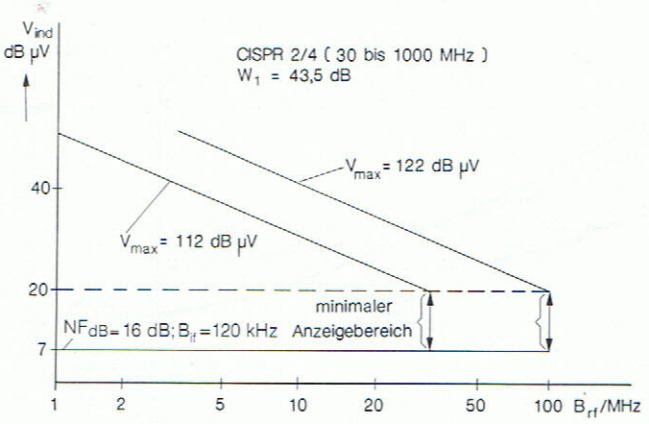


BILD 3 Linearer CISPR-QP-Anzeigebereich des Funkstörmeßempfängers im Frequenzbereich von 20 bis 1000 MHz bei der Messung von Einzelimpulsen (HF-Dämpfung 0 dB).

Für NF werden im ESV/P-Bereich etwa 14 bis 16 dB erreicht (beim ESVS etwa 12 – 14 dB), und W_2 ist typisch 7 dB für die CISPR-QP-Anzeige.

Mit den Gleichungen (1) und (2) ergibt sich eine Grafik nach BILD 3 (entsprechende Grafiken sind in [1] für den Frequenzbereich 0,01 bis 30 MHz enthalten).

Aus Bild 3 ist ersichtlich, welch harte Anforderungen die CISPR-QP-Bewertung an den Meßempfänger stellt. Bei der Entwicklung von ESV, ESVP und ESVS wurde deshalb vor allen begrenzenden Stufen soviel Vorselektion wie möglich eingebaut. Aus [2] sei das Beispiel des ESV/P-HF-Eingangsmoduls zitiert:

Durch einen Eingangsbandpaß werden die PIN-Dioden-Schalter vor Übersteuerung geschützt. Da die 6-dB-Bandbreite (Impulsbandbreite) hier etwa 600 MHz ist, treten Spannungen auf, die um

$$20 \cdot \lg \frac{600\ MHz}{0{,}12\ MHz} \approx 74\ dB$$

höher liegen als die Spannung in einem 120 kHz breiten Meßkanal. Die Eingangsfilter können auf Grund der vorgegebenen Güte der Kapazitätsdioden bei einer zulässigen Durchgangsdämpfung von maximal 3 dB die HF-Bandbreite im Frequenzbereich zwischen etwa 340 und 1000 MHz nur auf etwa 120 MHz reduzieren. Dies entlastet den folgenden, extrem linearen Hochleistungsmischer um

$$20 \cdot \lg \frac{600\ MHz}{120\ MHz} = 14\ dB.$$

Beide bei der Mischung mit der ersten Oszillatorfrequenz entstehenden Seitenbänder gelangen, gegenüber dem Mischereingang um die Mischdämpfung reduziert, an die erste Stufe des ersten ZF-Verstärkers. Diese ist wegen der Forderung nach niedrigstem Rauschmaß, gleichbedeutend mit nicht zu hohem Kollektorstrom, das schwächste Glied in der Kette und bestimmt wesentlich die Linearität des Impulsverhaltens des Empfängers. Durch das folgende erste ZF-Filter tritt eine beträchtliche Entschärfung der Problematik ein, da die Impulsbandbreite von 2 · 120 MHz auf etwa 4 MHz entsprechend

$$20 \cdot \lg \frac{240}{4} \approx 36\ dB$$

verringert wird. Die folgenden Verstärkerstufen werden auf Grund der Vorverstärkung nicht mehr kompromißlos auf niedrigstes Rauschen, sondern auf Aussteuerbarkeit dimensioniert.

Hüllkurvendemodulator und QP-Bewertungsschaltung

Eine wesentliche Bedienungserleichterung beim manuellen Meß-

empfänger und auch für den Autorange-Prozeß beim automatischen Meßempfänger ist ein großer CISPR-QP-Anzeigebereich. Bei kleinem Anzeigebereich, beispielsweise ±1 dB, ist bei jeder Änderung des Meßsignals von mehr als 2 dB ein Nachstellen von HF- oder ZF-Dämpfung des Meßempfängers zum Angleichen des Meßbereichs erforderlich. Deshalb wurde bei ESV und ESVP einiges unternommen, um die erreichte Übersteuerungsfestigkeit der HF-Eingangsstufen für einen möglichst großen Anzeigebereich auszunutzen [3, 4]. Ein Anzeigebereich von über 10 dB für Störmessungen nach CISPR im Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz, wie er hier realisiert wurde, ist ein hervorragender Wert. Im Frequenzbereich 10 kHz bis 30 MHz haben die Meßempfänger ESH 2 und ESH 3 auf Grund der geringeren Linearitätsanforderungen Anzeigebereiche von über 20 dB. Durch permanentes Überwachen des Spitzenwerts gestatten die Meßempfänger ESHS und ESVS auch ein Arbeiten im 60-dB-Anzeigebereich.

Damit sowohl das Rauschen wie auch der Einzelimpuls nach CISPR richtig bewertet werden, ergibt sich folgende **Linearitätsanforderung an den Hüllkurvendemodulator:**

Linearitätsbereich in dB = $(a + W_1 + W_2)$ dB =

= (14 + 43,5 + 7) dB = 64,5 dB,

wobei a der lineare Anzeigebereich gemäß Bild 3 ist.

Der speziell für den ESV und den ESVP entwickelte extrem lineare Hüllkurvendemodulator hat in einem Arbeitsbereich von etwa 66 dB nur **Linearitätsabweichungen von maximal 0,2 dB über den gesamten Temperaturbereich** mit einer Bandbreite von über 1 MHz bei einer Zwischenfrequenz von 10,7 MHz.

Auf den Hüllkurvendemodulator folgt die eigentliche Bewertungsschaltung. Sie besteht normalerweise aus einer Schaltung mit niedriger Ladezeit T_L und hoher Entladezeit T_E sowie einem kritisch bedämpften Anzeigeinstrument, wie in BILD 4 dargestellt. Die Zeitkonstante T_i des Anzeigeinstruments wurde beim ESVP und ESVS durch eine Instrumentnachbildungsschaltung ersetzt.

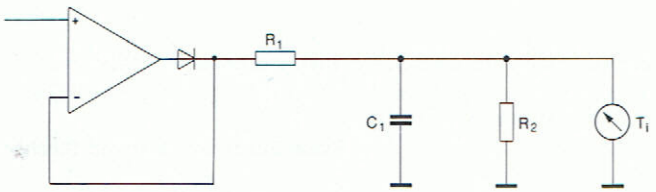


BILD 4 CISPR-Bewertungsschaltung. Im ESV-Frequenzbereich gilt: $T_L = (R_1 // R_2) \cdot C_1 = 1$ ms; $T_E = R_2 \cdot C_1 = 550$ ms; $T_i = 100$ ms.

Eine solche Bewertungsschaltung arbeitet einwandfrei, solange der Abstand des Störimpulses zum Empfängerrauschen genügend groß ist. Dies ist im HF-Bereich bei ESH 2, ESH 3 und ESHS der Fall. Im Bereich der Empfänger ESV, ESVP und ESVS darf der Rauschabstand wegen der enormen Anforderungen an die Linearität der HF-Stufen nicht zu groß werden.

Es gilt daher, den störenden Einfluß der Rauschanzeige auf die Impulsbewertung zu beseitigen. Der Einfluß der Rauschanzeige macht sich bemerkbar, wenn die Entladung des Kondensators C_1 während der Impulspausen bis unterhalb der Rauschanzeige erfolgen müßte, dies aber wegen der vorhandenen Rauschspannung nicht kann. Der nachfolgende Impuls findet nun den Kondensator nicht entladen vor, wie es für die richtige Bewertung notwendig wäre. Dadurch wird die Spannung am Ende des Ladevorgangs zu hoch, und die QP-Bewertung liegt außerhalb der von CISPR zugestandenen Toleranz. Dieser Effekt läßt sich besonders stark beim Einzelimpuls am unteren Ende der Anzeigeskala von CISPR-QP-Meßempfängern bei geringem Rauschabstand bis zu Impulsfrequenzen von 5 Hz beobachten. Um diesem Mißstand abzuhelfen, wurde ein **zweiter Bewertungszweig** (BILD 5) eingeführt.

Der Komparator 1 schaltet S1 nur ein, wenn die Spannung vom Hüllkurvendemodulator genügend weit über dem Rauschen liegt. Über ein Zeitglied wird Komparator 2 veranlaßt, die Schalter S_2 und S_3 für etwa 10 ms einzuschalten. Normalerweise reicht dann die Analogspannung des Bewertungszweiges 2 am Eingang des Komparators 2, um den Bewertungszweig (2), der vorher nicht durch die Rauschspannung aufgeladen war, dauerhaft einzuschalten. Sinkt die Spannung im Bewertungszweig (2) unter die Umschaltschwelle, so werden S_1 und S_2 ausgeschaltet und der Bewertungszweig (2) kann sich frei bis auf 0 V entladen.

Auf diese Weise erhält man eine im ganzen Anzeigebereich von 10 dB richtige Bewertung (BILD 6). Die Impulsbewertung wird nahezu völlig unabhängig von der Empfängerfrequenz (20 MHz mit der geringsten HF-Bandbreite und 1 GHz mit der größten HF-Bandbreite) und vom Ausschlag des Drehspulinstruments (beim ESV: Vollausschlag bis 10 dB unter Vollausschlag). Die angegebenen Toleranzmarken sind die in den CISPR-Publikationen 2, 4 und 16 angegebenen Toleranzen für die Impulsbewertung (Bild 6).

Akustische Kontrolle

Der erfahrene Störmeßtechniker verläßt sich nicht nur auf die Pegelanzeige, sondern verwendet auch einen Lautsprecher oder Kopfhörer, um etwas über die **Art der Störung** (Pfeifen, Brum-

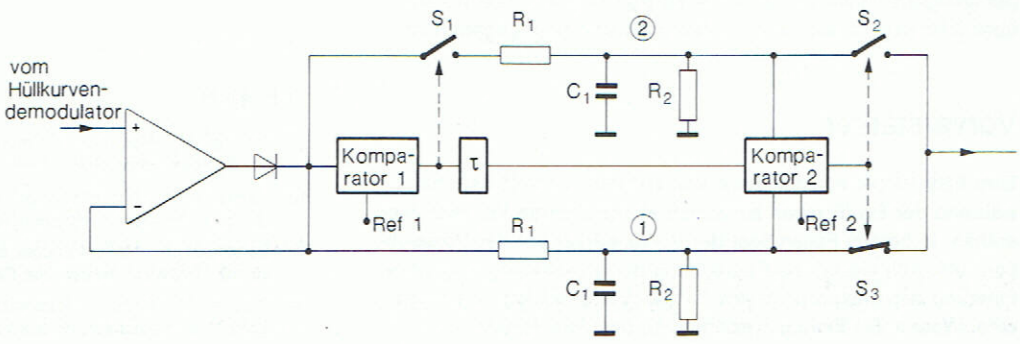


BILD 5 Bewertungsschaltung mit zwei Bewertungszweigen: zur korrekten Rauschanzeige (1) und zur Simulation eines großen Rauschabstandes (2).

men, Prasseln, Tacken) zu erfahren. Dies ist bei der manuellen Messung besonders dann wichtig, wenn Störungen, die nicht vom Meßobjekt stammen, das Meßergebnis verfälschen können, wie bei Freifeldmessungen. Die Meßempfänger ESV, ESVP und ESVS enthalten einen zum Bewertungszweig parallelen **Mithörzweig**, der das Signal des Hüllkurvendemodulators verstärkt und zum eingebauten, abschaltbaren Lautsprecher führt. Die NF ist ungeregelt, das heißt, die Lautstärke ist proportional zur Störung, weshalb die akustische Kontrolle auch zum Finden des spektralen Maximums einer Störung mithilft. Da die Bewertung nahe am Rauschen stattfindet und die Spannung des Hüllkurvendemodulators ohne zusätzliche akustische Bewertung übernommen wird, entsteht der Eindruck eines sehr schlechten Rauschabstandes. Dieser ist physikalisch vorgegeben, weil ja die Anzeigespannung am Anfang des CISPR-Anzeigebereiches nur um 5 bis 7 dB über der Rauschanzeige liegt.

schließlich PIN-Diodenschalter) von rund 4 dB wird das Rauschmaß des gesamten Empfängers mit vorgeschaltetem Vorverstärker niedriger als mit Vorselektion vor dem Vorverstärker. Der verwendete Vorverstärker hat neben einem niedrigen Rauschmaß auch hervorragende Übersteuerungseigenschaften. Sein **1-dB-Kompressionspunkt liegt am Eingang bei +16 dBm!** Er verarbeitet ein bis über 1 GHz ebenes Impulsspektrum bis zu einer Impulsspektraldichte von 65 dBµV/MHz linear. Der Vorverstärker des ESVS liegt hinter der Vorselektion, weshalb die Aussteuerfähigkeit für Impulse nur unwesentlich geringer ist als ohne Vorverstärker. Durch geringe Einfügungsdämpfung der Vorselektion wird dennoch mit Vorverstärkung ein Rauschmaß von 7 – 9 dB erreicht.
Mit all diesen auf die speziellen Anforderungen der Störmeßtechnik ausgelegten und optimierten Eigenschaften stehen mit den Meßempfängern ESV, ESVP und ESVS universelle Geräte

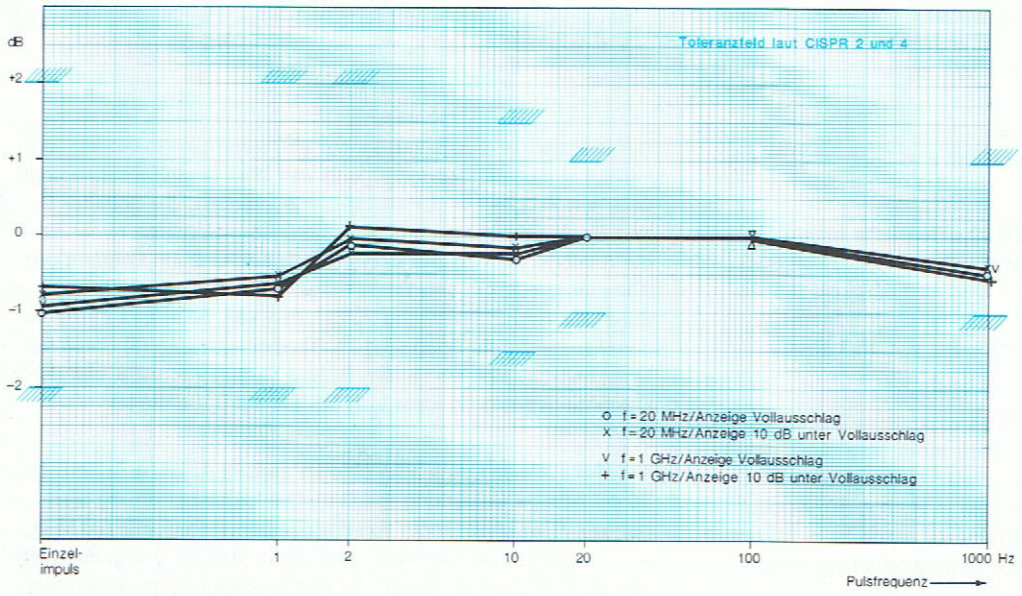


BILD 6 Kontrolle der Impulsbewertung eines Seriengerätes ESV.

Die hohe Übersteuerungsfestigkeit ermöglicht es jedoch, die ZF-Dämpfung des Meßempfängers um 10 dB zu erhöhen, wodurch die Rauschanzeige um 15 bis 17 dB unter dem Anfang des CISPR-QP-Anzeigebereiches liegt; außerdem verbessert sich auch der NF-Rauschabstand drastisch. Bei den Meßempfängern ESVP und ESVS geschieht dies automatisch mit der **Autorange-Funktion LOW NOISE.** Die Einschaltung der erhöhten ZF-Dämpfung ist bis etwa 160 MHz ohne jeden Einfluß auf die Impulsbewertungskurve, und bis 1000 MHz tritt keine Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit auf, solange die Pulsfrequenz des Störers über 5 Hz liegt – was wohl in den meisten Fällen gegeben ist.

Vorverstärker

Zum ESV ist der vorschaltbare Vorverstärker ESV-Z3 lieferbar, während der ESVP einen zusätzlich einschaltbaren Vorverstärker enthält. In beiden Fällen liegt der Vorverstärker vor der Vorselektion, wodurch die für die Begrenzung der Impulsenergie wichtige Filterung des Impulsspektrums für den Vorverstärker unwirksam wird. Wegen der Einfügungsdämpfung der Vorselektion (ein-

zur Verfügung, die uneingeschränkt und bisher **unübertroffen komfortable und genaue Funkstörmessungen im Bereich 20 bis 1000 MHz ermöglichen.**

Klaus Danzeisen; Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Stecher, M.: Properties of Smart EMI-Measuring Receivers. Proc. on 5th Symposium on EMC, 1980 Wroclaw, S. 647 – 655.

[2] Danzeisen, K.: Störmessungen nach CISPR bis 1 GHz mit Meßempfänger ESV. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 9 – 11.

[3] Danzeisen, K.: Meßempfänger ESV und Feldstärkemeßgerät HUF für 20 bis 1000 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1982) Nr. 98, S. 8 – 10.

[4] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESVP für 20 bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

Eine Voraussetzung für das Funktionieren eines gemeinsamen Marktes sind gegenseitig voll anerkannte technische Vorschriften (Normen). Hier haben im Bereich der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) die immer schon geltenden physikalischen Gesetze bereits in den 30er Jahren Vorarbeiten ausgelöst, deren Ergebnisse eine gute Basis für ein einheitliches Vorschriftenwerk in Europa darstellen.

Kommerzielle EMV-Normen und Zulassungsbestimmungen für „Europa 92"

Einleitend ist zunächst ein Rückblick auf die kurze Geschichte der Europäischen Gemeinschaft unter zwei verschiedenen Aspekten nützlich:

Der Vertrag von Rom

Im März 1957 unterzeichneten die Regierungen von sechs europäischen Staaten (Belgien, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg und die Niederlande) den Vertrag von Rom und gründeten so die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) mit der Verpflichtung, einen einheitlichen Binnenmarkt zu schaffen.

Dieser einheitliche Binnenmarkt wurde definiert als ein Gebiet, in dem der freie Verkehr von Waren, Personen, Dienstleistungen und Kapital gewährleistet ist. Im Februar 1986 wurde beschlossen, den „Europäischen Markt" bis zum Ende des Jahres 1992 zu realisieren, so daß er ab 1.1.1993 Wirklichkeit ist.

Mit **rund 337 Millionen Kunden** ist – betrachtet man seine Wirtschaftskraft – der Europäische Markt der **wichtigste Markt der Welt**. Der EFTA-Markt (Österreich, Finnland, Island, Norwegen, Schweden und die Schweiz) stellt mit 31 Millionen Einwohnern weniger als 10% dieses Marktgewichts dar.

Die europäischen Normen

Im Jahr 1934 trat in Paris ein von den fünf europäischen Staaten Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Niederlande gegründetes Sonderkomitee zum Schutz des Rundfunkempfangs vor Störungen, die von anderen elektrischen Einrichtungen ausgehen, erstmals zusammen. Dieses **Sonderkomitee CISPR** (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) wurde 1946 ein 100%iges Unterkomitee der IEC (International Electrotechnical Commission) in Genf. CISPR führte die ersten Untersuchungen über Funkstörungen durch und diskutierte danach „Grenzwerte", d.h. maximal zulässige Werte von Funkstörgrößen.

Im Jahr 1961 wurden die erarbeiteten Werte in der **CISPR-Publikation Nr. 1** für den Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz als Empfehlungen veröffentlicht [1]. Weitere CISPR-Publikationen folgten, so daß heute der gesamte, für Rundfunkzwecke benützte Frequenzbereich durch bei CISPR festgelegte Grenzwerte, Meßgeräte und Meßverfahren abgedeckt ist.

Von Anfang an hatten die CISPR-Publikationen Einfluß auf die nationalen EMV-Normen in Europa. Der Grund liegt zum Teil in der engen Zusammenarbeit zwischen CISPR und den nationalen Normengremien, zum Teil aber auch in den immer schon bestehenden wirtschaftlichen Verflechtungen in Europa. Deswegen waren die CISPR-Publikationen eine geeignete Grundlage, als die Notwendigkeit erkannt wurde, **europaweit gültige EMV-Normen** zu erarbeiten.

Im Jahr 1973 wurde das **Europäische Normenkomitee CEN** (Comité Européen de Normalisation) gegründet. Das **Unterkomitee CENELEC** erhielt 1984 den offiziellen Auftrag der EWG, auf der Basis der CISPR-Publikationen Europäische Normen (EN) zu schaffen. Sie werden in drei offiziellen Sprachen (Deutsch, Englisch und Französisch) veröffentlicht. Ihre nahe Verwandtschaft zu den CISPR-Publikationen erkennt man aus der Numerierung: Die europäischen EMV-Normen tragen die Nummern EN 55 0XX, wobei XX die Nummer der zugrunde liegenden CISPR-Publikation ist.

Bis jetzt existieren folgende Europäische Normen oder sind in Beratung (kenntlich am Vorsatz „pr"):

EN 55 014	Elektro-Haushaltsgeräte, handgeführte Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte,
EN 55 015	Leuchtstofflampen und Leuchtstofflampenleuchten,
EN 55 020	Störfestigkeit von Rundfunkempfängern und angeschlossenen Geräten,
EN 55 022	Informationstechnische Einrichtungen (ITE),
prEN 55 011	Funk-Entstörung von Einrichtungen für industrielle, wissenschaftliche, medizinische (ISM) und ähnliche Zwecke,
prEN 55 013	Funkstöreigenschaften (Störaussendungen) von Rundfunkempfängern und angeschlossenen Geräten.

Diese Normen entstehen übrigens bei CENELEC unter **gleichberechtigter Mitarbeit der EFTA-Staaten** [2; 3], so daß hier im

vollen Sinn des Wortes von „Europäischen Normen" gesprochen werden kann. Der rechtliche Rahmen für ihre Anwendung wird in den EFTA-Staaten sicher von der Handhabung in der EG abweichen, aber die technische Basis der EMV-Vorschriften wird damit in allen 18 Staaten Westeuropas gleich sein.

Betont werden sollte auch, daß CEN und CENELEC keine regierungsamtlichen Einrichtungen sind, sondern **private Körperschaften,** die im Auftrag der europäischen Regierungen die Vorschriften erarbeiten. Deshalb sind die Europäischen Normen auch nicht automatisch verbindlich; sie werden es erst durch Einbindung in **Richtlinien des Europäischen Rates.** Diese Richtlinien erhalten dann nach Veröffentlichung in den einzelnen Staaten den Charakter eines Gesetzes und sind damit bindend.

Auf dem Gebiet der Funk-Entstörung wurden Richtlinien des Europäischen Rates bereits seit 1972 veröffentlicht. Folgende Richtlinien sind heute gültig:

72/245/EWG Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung,
75/322/EWG Fremdzündungsmotoren von land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen auf Rädern,
76/889/EWG Elektro-Haushaltsgeräte, handgeführte Elektrowerkzeuge und ähnliche Geräte; später modifiziert als 82/499/EWG, 83/447/EWG und 87/308/EWG,
76/890/EWG Leuchten mit Starter für Leuchtstofflampen; später modifiziert als 82/500/EWG, 83/447/EWG und 87/310/EWG.

Wie zu erkennen ist, fehlen in dieser Aufstellung Europäische Richtlinien für eine Reihe wichtiger Geräte, beispielsweise für den ganzen Bereich der erwähnten ISM-Technik, für die Datenverarbeitung und die Rundfunktechnik. Der Prozeß der Schaffung notwendiger weiterer Richtlinien erwies sich in Anbetracht des festen Termins „Ende 1992" eindeutig als zu langsam. Das hatte vor allem zwei Gründe:

1. Jede Richtlinie der oben genannten Art enthält neben dem rechtlichen Teil auch einen **technischen Anhang,** der die betroffenen Geräte oder Einrichtungen im Detail beschreibt und **die zugehörigen Meßverfahren und Grenzwerte festlegt.** Dieser doppelte Inhalt erschwerte und verzögerte die Verabschiedung der Richtlinien ungemein, denn der technische Fortschritt auf elektronischem Gebiet machte ständig Anpassungen während des Abstimmungsverfahrens zwischen den einzelnen europäischen Staaten erforderlich.

2. Die Delegierten einzelner Staaten hatten ein Vetorecht und konnten damit, falls sie ihre nationalen Interessen nicht genügend berücksichtigt fanden, den Erlaß einer Richtlinie blockieren.

Die Erkenntnis, daß in der hergebrachten Weise der europäische Zeitplan überhaupt nicht einzuhalten war, führte zu zwei grundsätzlichen Änderungen, um die Verfahren zu beschleunigen:

1. Im Mai 1985 wurde mit der „Neuen Konzeption" die Trennung von gesetzgeberischem und technischem Teil der Richtlinien beschlossen.

2. Der Vertrag von Rom wurde 1986 dahingehend modifiziert, daß künftig eine gewichtete Mehrheit zum Verabschieden einer Richtlinie ausreicht. Vorher war stets völlige Übereinstimmung im Europäischen Ministerrat notwendig.

Die ersten Richtlinien, die nach dem neuen Verfahren erlassen wurden, sind die neuesten Ausgaben der Richtlinien für Haushaltsgeräte und Leuchten. Sie sind, verglichen mit den älteren Ausgaben, sehr kurz, denn sie enthalten nur noch den gesetzgeberischen Teil und beziehen sich, was die Technik betrifft, auf die Normen EN 55 014 und EN 55 015.

Aber auch dieses Verfahren erwies sich als zu langsam, denn immer noch war es nötig, für die Vielzahl der elektrischen und elektronischen Produkte jeweils individuelle europäische EMV-Vorschriften zu erarbeiten. Als Lösung für dieses Problem wurde deshalb die sogenannte **EMV-Rahmenrichtlinie** erlassen. Sie wurde im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 139/19 am 23. Mai 1989 [4] veröffentlicht und trägt den Titel „Richtlinie des Rates vom 3. Mai 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG)".

Die EMV-Rahmenrichtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften

Diese Richtlinie stellt die Basis aller künftigen Gesetze auf dem EMV-Gebiet in Europa dar und soll deshalb hier im Detail erläutert werden.

Inhaltsübersicht der EMV-Rahmenrichtlinie

Die einzelnen Artikel der Richtlinie tragen keine Überschriften. Um trotzdem einen schnellen Überblick über ihren Inhalt geben zu können, sind nachstehend die Artikel mit Stichworten versehen aufgeführt:

Artikel 1: Definitionen
Artikel 2: Geltungsbereich
Artikel 3: Verpflichtung, das Inverkehrbringen und den Betrieb nicht richtlinienkonformer Geräte zu verhindern
Artikel 4: Schutzanforderungen
Artikel 5: Verbot der Verkehrs- und Betriebsbehinderung richtlinienkonformer Geräte
Artikel 6: Zulässige Sondermaßnahmen
Artikel 7: Übereinstimmung mit den Schutzanforderungen
Artikel 8: Kontrollfunktion des „Ständigen Ausschusses"
Artikel 9: Maßnahmen gegen das Inverkehrbringen nicht richtlinienkonformer Geräte
Artikel 10: Zulassungsvorschriften
Artikel 11: Aufhebung der Richtlinien 76/889/EWG und 76/890/EWG ab 1.1.1992
Artikel 12: Termine für nationale Umsetzung und Inkrafttreten
Artikel 13: „Diese Richtlinie ist an alle Mitgliedstaaten gerichtet"

Bestimmungen der wichtigsten Artikel der EMV-Rahmenrichtlinie im einzelnen

Artikel 1

Artikel 1 definiert nachstehende Begriffe

- Geräte
- Elektromagnetische Störungen
- Störfestigkeit
- Elektromagnetische Verträglichkeit

Die Definition dieser Begriffe entspricht dem technischen Sprachgebrauch und muß hier nicht weiter erklärt werden. Zwei weitere Begriffe werden in der Richtlinie wie folgt erläutert (Ergänzungen durch den Verfasser in Klammern):

- Zuständige Stelle: die (Prüf-)Stelle, die den Kriterien des Anhangs II (der Richtlinie) entspricht und als solche anerkannt ist.
- EG-Baumusterbescheinigung: das Dokument, in dem eine nach Artikel 10 Absatz 6 gemeldete Stelle (das ist eine den übrigen Mitgliedstaaten gemeldete Prüfstelle) bescheinigt, daß der geprüfte Gerätetyp den einschlägigen Bestimmungen dieser Richtlinie entspricht.

Artikel 2

Artikel 2 legt fest, daß die Richtlinie die elektromagnetische Verträglichkeit aller elektrischen und elektronischen Geräte und Einrichtungen ohne jede Ausnahme betrifft (daher der Ausdruck „EMV-Rahmenrichtlinie"), und zwar im Hinblick sowohl auf die Erzeugung von störender Energie wie auch im Hinblick auf die Festigkeit gegen störende Energie.

Der **Anhang III** der Richtlinie enthält eine Liste der Geräte, deren Betrieb besonders gegen Störungen zu schützen ist.

Artikel 3

Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, darauf zu achten, daß nur Geräte in den Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen werden, die den Anforderungen der Richtlinie entsprechen.

Artikel 4

Festlegung der Schutzanforderungen:

- Die erzeugte Störenergie muß so gering sein, daß Funk- und Telekommunikationsgeräte bestimmungsgemäß betrieben werden können.
- Die Geräte müssen eine angemessene Störfestigkeit aufweisen.

Artikel 5

Die Mitgliedstaaten dürfen das Inverkehrbringen oder den Betrieb richtlinienkonformer Geräte nicht behindern.

Artikel 6

Dieser Artikel behandelt Sondermaßnahmen, die bei auftretenden oder vorhersehbaren EMV-Problemen im öffentlichen Interesse ergriffen werden.

Artikel 7

Richtlinienkonform sind Geräte,

- die den in nationale Normen umgesetzten europäischen („harmonisierten") Normen entsprechen oder
- die nationalen Normen entsprechen, die der Europäischen Kommission gemeldet und im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften veröffentlicht wurden oder
- für die eine „zuständige Stelle" eine Prüfbescheinigung ausgestellt hat.

Artikel 8

In Artikel 8 wird die Überprüfung von „harmonisierten" Normen nach Einspruch eines Mitgliedstaats oder der Europäischen Kommission durch den „Ständigen Ausschuß" festgelegt.

Artikel 9

In diesem Artikel werden alle vorgesehenen Sanktionen bei Nichtkonformität mit der Richtlinie besprochen. Sie reichen vom „Rückgängigmachen des Inverkehrbringens" über ein Verbot des Inverkehrbringens bis zur Einschränkung des freien Verkehrs.

Artikel 10

In Artikel 10 werden die verschiedenen Nachweisverfahren für die Übereinstimmung eines Gerätes mit den Vorschriften der Richtlinie aufgeführt. Dabei wird unterschieden zwischen Geräten, für die gültige Normen vorliegen (Absatz 1) und Geräten, für die dies nicht der Fall ist oder für die die gültigen Normen aus irgendeinem Grund nicht angewendet wurden (Absatz 2), sowie Telekommunikations-Endgeräten (Absatz 4) und Sendefunkgeräten (Absatz 5). Absatz 3 enthält eine bis zum 31.12.1992 befristete Übergangsregelung.

Der Inhalt von Artikel 10 ist im Flußdiagramm BILD 1 dargestellt. Es zeigt, daß die Zulassungsverfahren, verglichen mit älteren nationalen Regelungen, wesentlich einfacher werden. Das in [5] auf Seite 183 dargestellte Flußdiagramm zeigt, daß z.B. die Zulassungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland wesentlich komplizierter waren.

Artikel 10, Absatz 1

Die Übereinstimmung mit der Richtlinie wird durch eine EG-Konformitätsbescheinigung bestätigt, die der Hersteller oder sein in der EG niedergelassener Vertreter selbst ausstellt („Herstellererklärung"). Diese Bescheinigung wird nicht, wie z.Zt. beim Verfahren in der Bundesrepublik nach den Amtsblattverfügungen 1045/1984 und 1046/1984 üblich, dem Produkt beigefügt, sondern verbleibt beim Aussteller, der sie mindestens zehn Jahre aufbewahren muß. Zum Zeichen der Konformität wird das **EG-Konformitätszeichen** auf dem Gerät, der Verpackung, der Bedienungsanleitung oder dem Garantieschein angebracht.

Artikel 10, Absatz 1 verweist bezüglich des Inhalts der Konformitätserklärung und bezüglich des Konformitätszeichens auf den Anhang I. Hier steht, was die Konformitätserklärung enthalten muß, nämlich

- die Beschreibung des betreffenden Gerätes,
- die angewendeten Normen,
- eine rechtsverbindliche Unterschrift des Ausstellers,

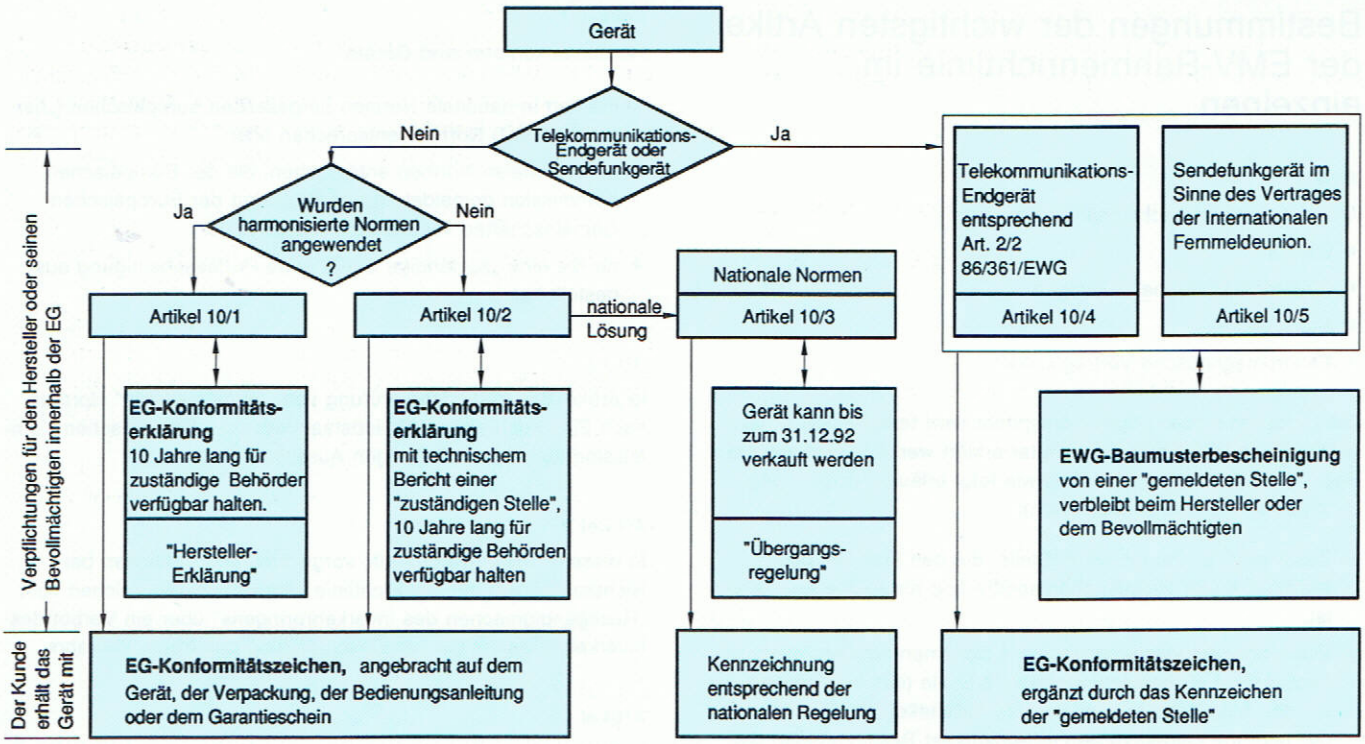


BILD 1 Zulassungsverfahren für elektrische und elektronische Geräte gemäß EMV-Rahmenrichtlinie 89/336/EWG, Artikel 10.

- im Fall der EG-Baumusterbescheinigung den Namen der der Europäischen Kommission gemeldeten Prüfungsstelle.

Anhang I enthält außerdem die Abbildung des EG-Konformitätszeichens, das aus den stilisierten Buchstaben C und E (BILD 2) und der Jahreszahl des Jahres besteht, in dem das Zeichen angebracht wurde. Dieses Zeichen wird, wenn es für Zulassungen gemäß Artikel 10, Absatz 4 und 5 angewendet wird, durch das Kennzeichen der obengenannten Prüfungsstelle ergänzt. Das EG-Konformitätszeichen bestätigt außerdem die Übereinstimmung mit den Anforderungen anderer europäischer Richtlinien, soweit in ihnen die Kennzeichnung mit dem Konformitätszeichen verlangt wird.

Artikel 10, Absatz 2

Wie unter Absatz 1; zusätzlich muß die Bescheinigung aber das Gutachten einer „zuständigen Stelle" enthalten.

Das **EG-Konformitätszeichen** besteht aus den wie folgt dargestellten Buchstaben C und E und der Jahreszahl der Anbringung:

CE

- Dieses Zeichen ist gegebenenfalls durch das Kennzeichen der gemeldeten Stelle zu ergänzen, die die EG-Baumusterbescheinigung ausgestellt hat.
- Fallen Geräte unter andere Richtlinien, die das EG-Konformitätszeichen vorsehen, so weist die Verwendung des EG-Zeichens auch auf die Übereinstimmung mit den betreffenden Anforderungen dieser anderen Richtlinien hin.

BILD 2 Das EG-Konformitätszeichen bestätigt auch die Übereinstimmung mit den Anforderungen anderer europäischer Richtlinien, soweit in ihnen die Kennzeichnung mit dem Konformitätszeichen verlangt wird.

Artikel 10, Absatz 3

Existieren keine harmonisierten Normen, dann kann das Gerät auf der Basis nationaler Normen bis 31.12.1992 auf den Markt gebracht werden.

Artikel 10, Absatz 4 und Absatz 5

Für Telekommunikations-Endgeräte und Sendefunkgeräte muß die Herstellererklärung durch eine **EG-Baumusterbescheinigung** ergänzt werden, die eine der Europäischen Kommission gemeldete Prüfstelle ausgestellt hat.

Artikel 10, Absatz 6

Hier werden das Meldeverfahren und die Zulassung der Prüfstellen geregelt, die ermächtigt sind, eine EG-Baumusterbescheinigung auszustellen.

Artikel 11 und 13

Der Inhalt dieser Artikel wurde bereits im Kapitel „Inhaltsübersicht der EMV-Rahmenrichtlinie" erläutert.

Artikel 12

Artikel 12 verpflichtet die Mitgliedstaaten, bis zum 1. Juli 1991 die notwendigen nationalen Vorschriften zu erlassen und sie vom 1. Januar 1992 an anzuwenden. Hierzu kann gesagt werden, daß bei den deutschen offiziellen Stellen die Tendenz besteht, die Vorschriften bereits früher, etwa bereits ab Anfang 1991 – eventuell sogar noch früher – anzuwenden.

Erläuterungen zur EMV-Rahmenrichtlinie

Allgemeine Konsequenz der europaweiten Gültigkeit

Die Richtlinie ist der Generalschlüssel zum Europäischen Markt und öffnet damit den Zugang, soweit die elektromagnetische Verträglichkeit betrachtet wird, zu allen Staaten der Europäischen Gemeinschaft. Andererseits gilt aber auch, daß ein Produkt, das den Anforderungen nicht genügt, in keinem Land der EWG auf den Markt gebracht werden kann!

Gegenseitige Anerkennung der Zertifikate

Alle Herstellererklärungen oder Prüfbescheinigungen gelten EG-weit. Damit ist zum Beispiel ein Zertifikat, das von einer Prüfstelle in Griechenland ausgefertigt ist, überall genau so gültig wie ein in Großbritannien ausgestelltes.

Zusätzliche funktionelle Parameter

Es gibt Fälle, für die zusätzliche nationale Gesichtspunkte für Parameter gelten, die nicht in den Geltungsbereich der EMV-Rahmenrichtlinie fallen. So sind zum Beispiel die **zugelassenen Frequenzbereiche für den Rundfunkempfang nicht in allen EG-Staaten gleich.** Hier sind die nationalen Besonderheiten zusätzlich zu beachten. Die Erlaubnis, eine Rundfunk-Empfangsanlage zu errichten, wird für die Bundesrepublik Deutschland nur erteilt, wenn das Einhalten der einschlägigen Postverfügung nach den dort vorgesehenen Verfahren zusätzlich garantiert wird.

Änderungen für die EMV-Meßtechnik

Die Zulassungen von elektrischen und elekronischen Geräten sind technisch auf die Einhaltung der Europäischen Normen gegründet. Diese folgen den neueren CISPR-Publikationen, in denen nicht mehr zwischen Schmal- und Breitbandstörern unterschieden wird (was bei den heutigen Geräten zunehmend schwieriger wurde), sondern wo statt dessen **Quasipeak- und Mittelwert-Grenzwerte** festgelegt wurden. Das vereinfacht die Messungen, fordert aber **Funkstör-Meßempfänger mit einwandfreier Mittelwertbildung auch von pulsförmigen Störsignalen.**

Zusammenfassung

Der Gemeinsame Europäische Markt wird zu **einheitlichen Normen für die elektromagnetische Verträglichkeit und Zulassungsverfahren** in allen zwölf EG-Mitgliedstaaten führen. Technisch werden die Normen auch in den sechs EFTA-Staaten gelten, so daß die Produkte für ganz Westeuropa mit seinen insgesamt 368 Millionen Menschen nach den gleichen EMV-Normen beurteilt werden. Diese Tatsache wird sich ohne Zweifel auch **auf die Standardisierung außerhalb Europas auswirken,** schon im Hinblick auf die Interessen der nach Europa exportierenden Staaten.

Insgesamt wird in Europa der EMV mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden müssen. Die jetzt noch bestehenden Unterschiede im Stellenwert der EMV in den einzelnen Staaten werden in Zukunft kleiner werden. Zu hoffen ist dabei allerdings, daß der hohe Stand der Funk-Entstörung der jetzt führenden Staaten im Gemeinsamen Markt nicht erniedrigt wird, weil andernorts deren Wert gering geachtet wird. Verlorene Umweltqualität läßt sich, wie Erfahrungen auf andern Gebieten zeigen, nie mehr wiedergewinnen!

Karl-Otto Müller

LITERATUR

[1] Jackson, G.A.: The early history of radio interference. Journal of the Institution of Electronic and Radio Engineers, Vol. 57, No. 6, pp. 244 – 250 Nov./Dec. 1987.

[2] Orth, K.L.: Europäische Normen bei der Realisierung des Binnenmarktes bis 1992 – aus der Sicht des DIN. DIN-Mitteilungen und Elektronorm 67 (1988), Nr. 3, S. 129 – 133.

[3] Winckler, R.: Binnenmarkt und elektrotechnische Normung. etz. Bd. 110 (1989) Heft 1, S. 18 – 21.

[4] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, zu beziehen in der Bundesrepublik Deutschland bei:
Bundesanzeiger, 5000 Köln 1, Breite Straße, Postfach 108006.

[5] Müller, K.-O.: Procedures for Granting Licenses for the Operation of RF Devices, Radio and TV Receivers in Western Germany. 1986, ROHDE & SCHWARZ, Type EZ-3, 837.1814.02

Vier Netznachbildungen für die Messung der elektromagnetischen Verträglichkeit von elektrischen Geräten und Anlagen enthält das Zubehörprogramm für die Störmeßtechnik von Rohde & Schwarz. Neben Meß- und Tastantennen, Tastköpfen und HF-Stromwandlern dienen Netznachbildungen als wichtige Bindeglieder zwischen Prüfling und Meßempfänger.

Netznachbildungen für die Störmeßtechnik

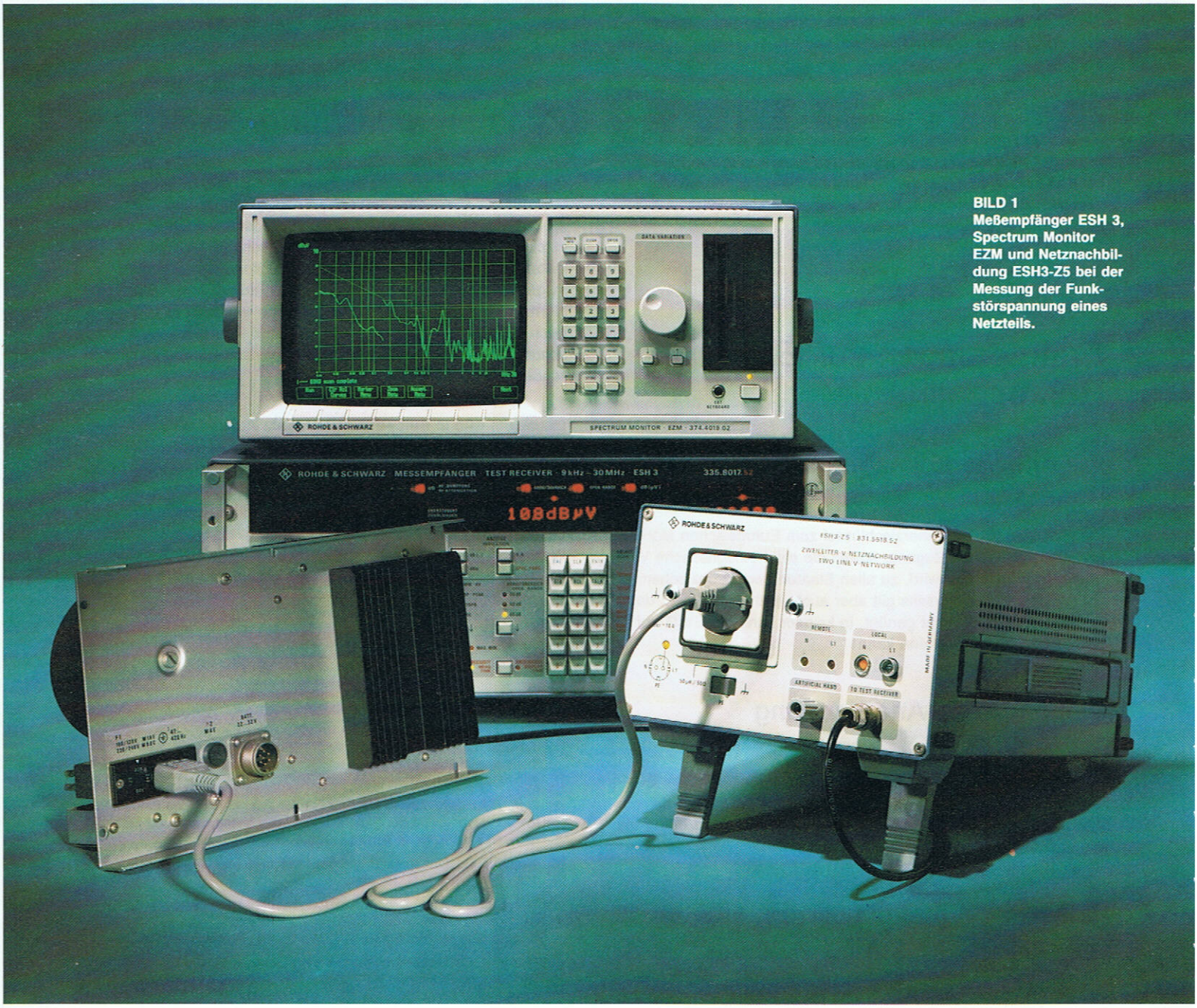


BILD 1
Meßempfänger ESH 3, Spectrum Monitor EZM und Netznachbildung ESH3-Z5 bei der Messung der Funkstörspannung eines Netzteils.

Elektromagnetische Störungen breiten sich auf zweierlei Weise aus: als Ströme und Spannungen auf Leitungen und abgestrahlt als elektromagnetische Wellen. Netznachbildungen dienen als Ankoppelnetzwerke für die Störspannungsmessung auf Leitungen und für die Messung der Beeinflußbarkeit von elektrischen Betriebsmitteln gegenüber leitungsgeführten Störungen. Reale Netze eignen sich für die Störspannungsmessung nicht, da sie in ihrer Impedanz uneinheitlich und starken Streuungen unterworfen sind, so daß Meßergebnisse je nach Meßort unterschiedlich ausfallen würden. Insbesondere beim Messen von Störspannungen auf Wechselspannungsnetzen sind Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, die in Netznachbildungen berücksichtigt sind. BILD 1 zeigt einen kompletten Gerätesatz mit Meßempfänger ESH 3 [1], Spectrum Monitor EZM [2] und Netznachbildung ESH3-Z5, wie er bei der Messung von Störspannungen eingesetzt wird.

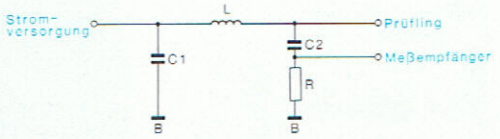
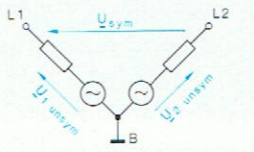
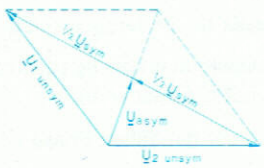


BILD 2 Prinzip einer Netznachbildung für die Messung der unsymmetrischen Störspannung an einem Prüflingsanschluß. C1, L Tiefpaß, C2 Hochpaß, R Nachbildwiderstand (mit Meßempfänger-Eingangswiderstand), B Bezugsmasse.





$$\underline{U}_{asym} = \frac{\underline{U}_{1\,unsym} + \underline{U}_{2\,unsym}}{2}$$

$$\underline{U}_{sym} = \underline{U}_{1\,unsym} - \underline{U}_{2\,unsym}$$

BILD 3 Störspannungen zweier Leiter gegeneinander und gegen Bezugsmasse (L1, L2 Anschlüsse Prüfling, B Bezugsmasse) sowie Vektordiagramm der Störspannungen.

Im einzelnen haben Netznachbildungen folgende Aufgaben:

- Hauptaufgabe ist, gegenüber dem Prüfling das Netz nachzubilden, das heißt die Störspannungsquelle des Prüflings mit einer standardisierten Impedanz gegen die Bezugsmasse abzuschließen (BILD 2). CISPR-Publikationen verwenden die Bezeichnung Artificial-Mains Network, also ein Kunstnetz; in der amerikanischen Fachliteratur nennt man sie LISN (Line Impedance Stabilization Network), was etwa bedeutet: Die Netzimpedanz mit definierten Eigenschaften versehen.
- Weiter dienen Netznachbildungen zum Zuführen der Versorgungsspannung an den Prüfling beziehungsweise zur Versorgung des Prüflings mit den für seinen Betrieb erforderlichen Signalen oder Daten bei Telefon- und Datennetznachbildungen.
- Sie übernehmen die Entkopplung des Meßkreises gegenüber Störungen von außen, zum Beispiel vom Wechselstromnetz oder von Geräten, die den Prüfling während der Messung mit Daten versorgen.
- Sie führen bei der Messung des aktiven Störverhaltens die Störspannung des Prüflings dem Meßempfänger zu, und bei der Messung des passiven Störverhaltens (Beeinflußbarkeit, Suszeptibilität) leiten sie die Störspannung vom Meßsender an den Prüfling.

Betrachtet man ein System aus zwei Leitern, von denen keiner mit Masse verbunden ist [3], so kann man drei **Arten von Störspannungen** unterscheiden (BILD 3):

- die unsymmetrische Störspannung jedes einzelnen Leiters gegen die Bezugsmasse,
- die asymmetrische Störspannung der „elektrischen Mitte" zweier Leiter gegen die Bezugsmasse,
- die symmetrische Störspannung zweier Leiter gegeneinander.

Dementsprechend gibt es auch drei **Typen von Netznachbildungen:**

- Netznachbildungen für unsymmetrische Störspannungen. Da die beiden für zwei Leiter eines Betriebsstromkreises erforderlichen Nachbildwiderstände gegen Bezugsmasse V-förmig angeordnet sind, wird dieser Typ V-Netznachbildung genannt. Die R&S-Netznachbildungen ESH2-Z5, ESH3-Z5 und ESH3-Z6 sind V-Netznachbildungen.
- Netznachbildungen für asymmetrische Störspannungen. Ein Beispiel dafür ist die T-Netznachbildung ESH3-Z4. Die Bezeichnung T-Netznachbildung beruht auf der T-förmigen Symmetrieranordnung, die die für die Messung an Fernmeldeeinrichtungen nötige hohe Unsymmetriedämpfung sicherstellt.
- Netznachbildungen für symmetrische Störspannungen sind △-Netznachbildungen. Diese sind so aufgebaut, daß sie für die Messung der asymmetrischen Störspannung umschaltbar sind. △-Netznachbildungen haben an Bedeutung verloren, nachdem alle Funkstörmeßvorschriften auf V- und T-Netznachbildungen umgestellt worden sind.

Netznachbildung ESH2-Z5

Die Netznachbildung ESH2-Z5 (BILD 4 und 5) ist eine Vierleiter-V-Netznachbildung mit der Nachbildimpedanz 50 Ω II (50 µH + 5 Ω) nach CISPR-Publ. 16, Abschnitt 8.2 und VDE 0876, Teil 1, für den Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz. Sie ist mit einem Dauerstrom von 27 A belastbar – kurzzeitig auch höher (z. B.

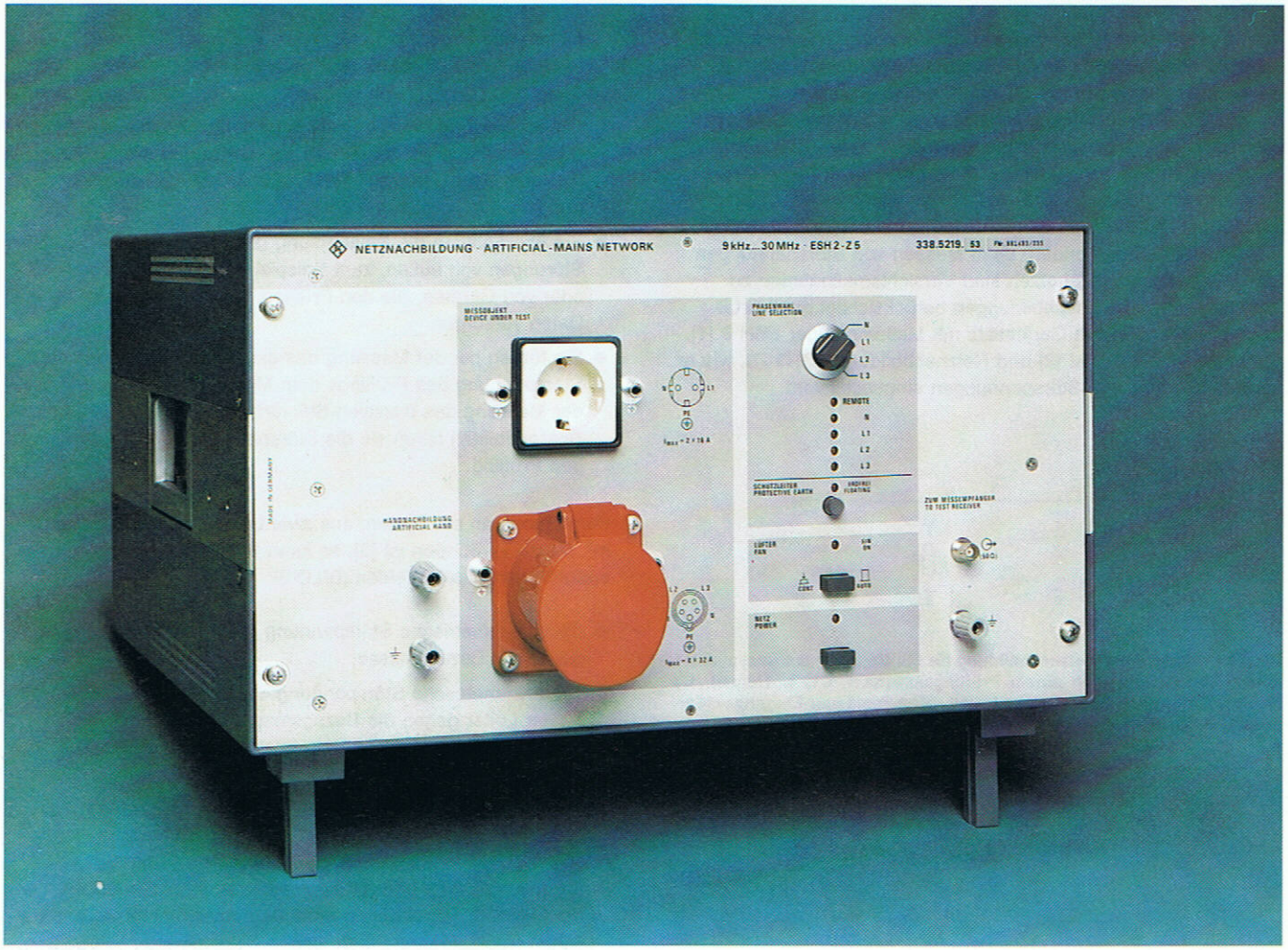


BILD 4 Netznachbildung ESH2-Z5, eine Vierleiter-V-Netznachbildung für Störsignalmessungen im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz.

mit 70 A bis zu 2 min); damit kann sie auch als Netznachbildung nach CISPR-Publ. 16, Abschnitt 8.3.3, für Ströme von 25 bis 100 A eingesetzt werden.

Die Netznachbildung ESH2-Z5 verfügt über

zwei Prüflingsanschlüsse (für ein- und dreiphasige Prüflinge,

eingebaute Handnachbildung,

impulsstromfeste Relais für die ferngesteuerte Phasenwahl,

überbrückbare Schutzleiterauftrennung (Schutzleiter über eine 1,6-mH-Drossel HF-mäßig aufgetrennt),

LEDs für die Anzeige der gewählten Phase und Schutzleiternachbildung,

ein eingebautes Netzteil für Lüfter, Relais und LEDs.

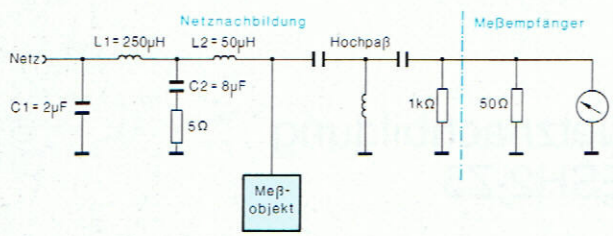


BILD 5 Prinzip der Netznachbildungen ESH2-Z5 und ESH3-Z5. Die Elemente C1 und L1 dienen zur Entkopplung vom Netz. Der dreigliedrige Hochpaß ersetzt das Koppel-C von 0,25 µF nach VDE 0876, Teil 1/9.78, wodurch der dort angegebene, frequenzabhängige Korrekturfaktor entfällt.

Nach VDE 0877, Teil 1 A1 (Entwurf 2/85), ist es zur Erfassung der maximalen Funkstörspannung von Betriebsmitteln mit lückenhafter Schirmung und hochfrequenzmäßig nicht wirksamer Schutzleiter- oder Erdverbindung erforderlich, neben einer geerdeten (Schutzleiteranschluß des Prüflings an Bezugsmasse) auch eine ungeerdete Messung durchzuführen: Schutzleiteranschluß des Prüflings über eine **1,6-mH-Schutzleiterdrossel** mit Bezugsmasse verbunden. Dies ist in den Meßvorschriften VDE 0871 A1 und Vfg 1046/1984 derzeit so festgelegt. Daneben gibt es nach VDE 0877 Teil 1 3/89 und in Entwürfen für die dritte Auflage der CISPR Publ. 16 eine **Schutzleiternachbildung 50 Ω || 50 µH.** Das internationale Normungsgremium CISPR/G beabsichtigt, Störspannungsmessungen mit dieser Art der Schutzleiternachbildung vorzuschreiben. Die Netznachbildung ESH3-Z5 enthält bereits eine solche Schutzleiternachbildung wegen der zu erwartenden Entscheidung für diese Lösung.

Zweileiter-V-Netznachbildung ESH3-Z5

Die Netznachbildung ESH3-Z5 (rechts in BILD 6) hat ebenso wie die ESH2-Z5 eine Nachbildimpedanz von 50 Ω II (50 µH + 5 Ω). Sie ist mit einem Dauerstrom von 10 A und bis zu einer halben Stunde mit 16 A belastbar. Hiermit bietet R&S eine preisgünstige Netznachbildung für den häufigsten Anwendungsfall, die Störspannungsmessung an einphasigen Prüflingen, an. Durch ihre Kompaktheit und ihr geringes Gewicht eignet sie sich besonders für häufig wechselnde Einsatzfälle. Als Meßobjektanschluß hat sie eine 16-A-Schukodose, die vom Anwender auch durch ein anderes (landesübliches) Steckersystem ersetzt werden kann. Phasenwahl und Einschaltung der Schutzleiternachbildung sind ebenso wie bei der Netznachbildung ESH2-Z5 mit TTL-Pegeln fernsteuerbar.

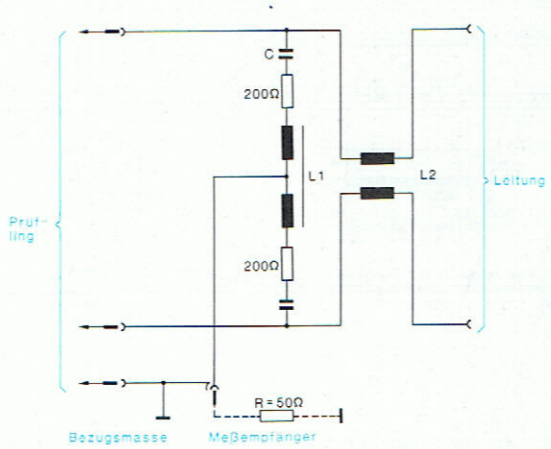


BILD 7 Prinzipschaltbild der T-Netznachbildung. L1 symmetrische Drossel, C: 1/ωC ≪200 Ω, L2 Entkopplungsdrossel (stromkompensiert).

V-Netznachbildung 5 µH II 50 Ω ESH3-Z6

Die Netznachbildung ESH3-Z6 (Bild 6 Mitte) erfüllt als Einleiter-V-Netznachbildung mit der Nachbildimpedanz von 50 Ω II (5 µH + 1 Ω) die Vorschriften VDE 0876, Teil 1/9.78 (Bordnetze), CISPR-Publ. 16, Abschnitt 8.3.4 (Low Impedance Power Supplies) sowie eine Reihe von militärischen Standards (MIL-STD 462, Notice 3, MIL-I-6181 D, MIL-I-16910 C, MIL-E-55301, brit. DEF-STAN 59-41 und frz. DO 160) im Frequenzbereich 0,1 bis 200 MHz.

Als Meßobjekt- und Stromversorgungsanschlüsse enthält die Netznachbildung Schraubanschlüsse mit breitflächigen Kontakten für niederohmige Verbindungen mit Hilfe von Kabelschuhen. Kunststoffkappen dienen als Berührungsschutz auf beiden Anschlüssen. Die Dauerstrombelastbarkeit beträgt bis zu 150 A. Kurzzeitig kann sie auch höher belastet werden (z. B. mit 500 A bis zu 1 min).

BILD 6 T-Netznachbildung ESH3-Z4, V-Netznachbildung 5 µH II 50 Ω ESH3-Z6 sowie Zweileiter-V-Netznachbildung ESH3-Z5 (von links).

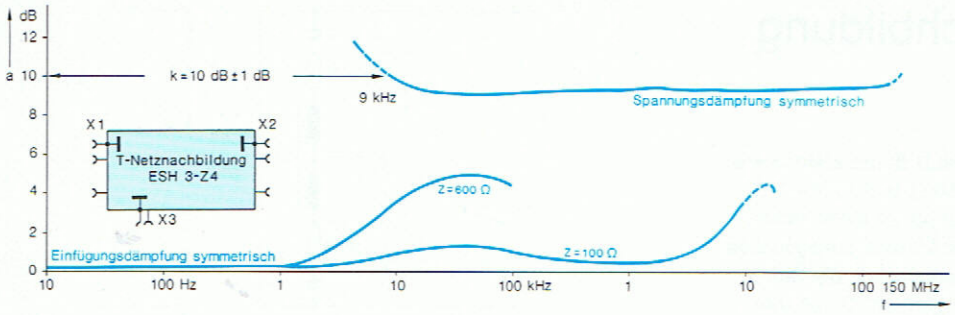


BILD 8 Frequenzgang der Spannungs- und Einfügungsdämpfungen. Spannungsdämpfung k: Einfügungsdämpfung für asymmetrische Störspannungen zwischen Meßobjektanschluß X1 und Meßanschluß X3. Durch Codierung am Meßempfänger wird diese Dämpfung automatisch in der Anzeige berücksichtigt. Einfügungsdämpfung symmetrisch: Einfügungsdämpfung für symmetrische Spannungen (Fernmeldesignale) zwischen den Anschlüssen X1 und X3.

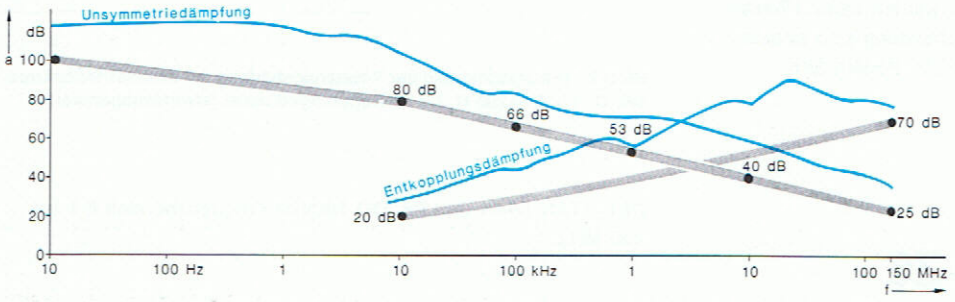


BILD 9 Frequenzgang der Unsymmetrie- und Entkopplungsdämpfung (blau) sowie garantierte Werte. Unsymmetriedämpfung: Dämpfung symmetrischer Spannungen zwischen Meßobjekteingang X1 und Meßanschluß X3. (Am Anschluß X1 liegen normalerweise symmetrische Spannungen, die nicht als asymmetrische Störspannungen an X3 erscheinen sollen.) Entkopplungsdämpfung: Dämpfung asymmetrischer Störspannungen zwischen den Anschlüssen X2 und X3.

T-Netznachbildung ESH3-Z4

Die T-Netznachbildung ESH3-Z4 (Bild 6 links und BILD 7) dient zur Messung asymmetrischer Störspannungen im Frequenzbereich 9 kHz bis 150 MHz auf symmetrisch betriebenen Fernmelde-, Tonfrequenz- und Steuerleitungen. Außerdem wird sie als Ankoppelnetzwerk zur Messung der Beeinflußbarkeit von Geräten und Systemen gegenüber leitungsgeführten hochfrequenten Störungen eingesetzt. Sie schließt die beiden Netznachbildungen T1 (für den Frequenzbereich 10 kHz bis 30 MHz) und T2 (für 30 bis 150 MHz) nach FTZ-Richtlinie 12TR1 ein und entspricht außerdem folgenden Normen: VDE 0847, Teil 2 (Entwurf 4.84), VDE 0878, Teil 1/12.86 und Teil 2 (Entwurf 12.86) und VG 95377, Teil 14.

Das besondere Merkmal dieser Netznachbildung ist ihr großer, bisher konkurrenzloser Frequenzbereich von 9 kHz bis 150 MHz. Im gesamten Bereich liegt die Lastimpedanz für asymmetrische Störspannungen von 150 Ω im zulässigen Toleranzbereich, die Einfügungsdämpfung im Meßkreis beträgt 10 dB (BILD 8). Wie BILD 9 zeigt, werden alle Forderungen an die Unsymmetrie- und Entkopplungsdämpfung erfüllt oder sogar weit übertroffen.

Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESH 3 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1980), Nr. 89, S. 8 – 12.

[2] Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. Neues von Rohde & Schwarz (1986), Nr. 115, S. 8 – 12.

[3] VDE 0876, Teil 1/9.78. Geräte zur Messung von Funkstörungen. Funkstörmeßempfänger mit bewertender Anzeige und Zubehör.

KURZDATEN R&S-NETZNACHBILDUNGEN

ESH2-Z5	
Frequenzbereich Störspannung	9 kHz . . . 30 MHz
Belastbarkeit (alle 4 Leiter)	
Dauerstrom (mit Lüfter)	27 A
Kurzzeitstrom (2 min)	70 A
Anschlüsse Prüfling	Schukodose bis 16 A, Cekon-Buchse
Anschluß Netz	Cekon-Stecker
Handnachbildung n. CISPR 16	eingebaut
ESH3-Z5	
Frequenzbereich Störspannung	9 kHz . . . 30 MHz
Belastbarkeit	
Dauerstrom	10 A
Kurzzeitstrom (30 min)	16 A
Anschluß Prüfling	Schukodose
Anschluß Netz	Kabel (2 m) mit Schukostecker
Handnachbildung n. CISPR 16	eingebaut
ESH3-Z6	
Frequenzbereich Störspannung	0,1 . . . 200 MHz
Belastbarkeit	
Dauerstrom	150 A
Kurzzeitstrom (1 min)	500 A
Anschlüsse Prüfling, Netz	Schraubgewinde M8
ESH3-Z4	
Frequenzbereich Störspannung	9 kHz . . .150 MHz
Frequenzber. Datenübertragung	0 . . . 10 MHz
Anschlüsse Prüfling, Leitung	4-mm-Telefonbuchsen

Meßempfängersystem EP-6 für Störmessungen nach VG-Normen und MIL-Standards

Durch Kombination verschiedener Meßempfängermodelle ESH 3 [1] und ESVP [2] mit dem Spectrum Monitor EZM [3] entstehen Meßsysteme mit den Bezeichnungen EP-1 bis EP-6.

Die Systeme EP-3 und EP-5 sind für Funkkontroll-Meßaufgaben einschließlich Messung von Rundfunksignalen ausgelegt, die Systeme EP-1, -2, -4 und -6 dienen überwiegend der Störmeßtechnik.

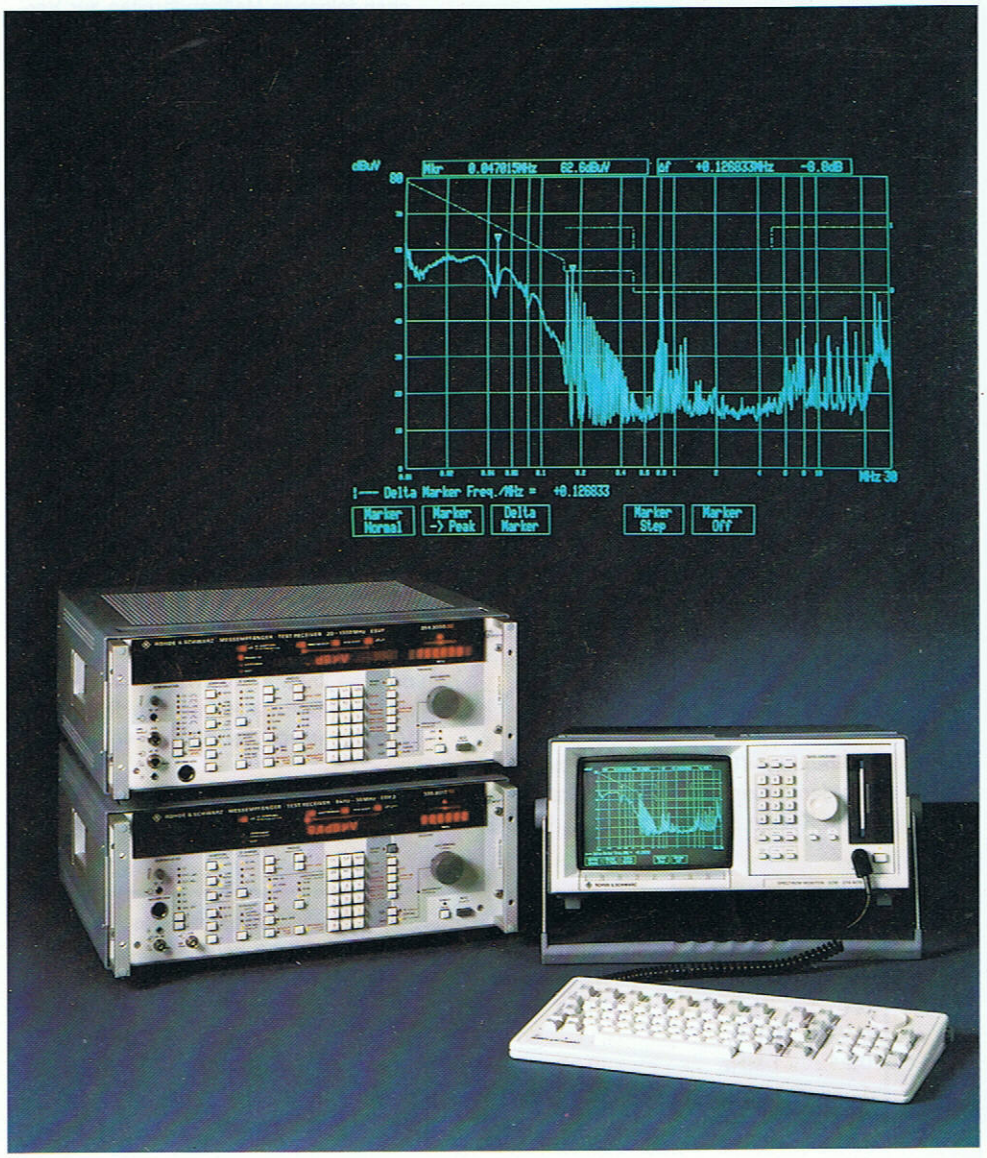
	ESH 3 Modell	ESVP Modell	EZM Modell
EP-1	52	—	03
EP-2	—	52	03
EP-3	—	53	03
EP-4	52	52	03
EP-5	52	53	03
EP-6	56	56	56

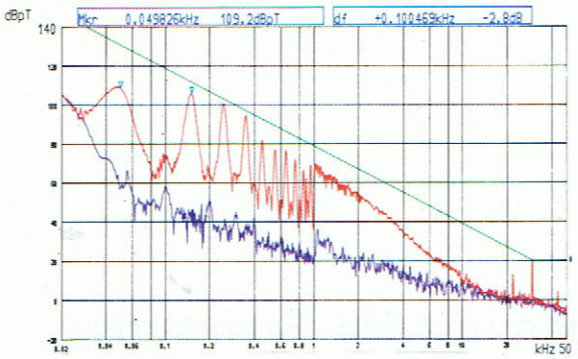
Die gemeinsamen **Merkmale aller Systeme** sind:

- die Anzeigearten Spitzen-, Mittel- und Quasi-Spitzenwert nach CISPR,
- Berücksichtigung von Bandbreitenfaktoren für die Anzeige von Breitbandstörungen,
- Anzeige aller üblichen Größen mit den richtigen Einheiten (dBµV, dBµA, dBµV/m, dBpW, dBpT, dBµV/MHz usw.),
- Berücksichtigung von Meßwandlerfaktoren.

Das Meßempfängersystem EP-6 (BILD 1) kann neben **Messungen geleiteter und gestrahlter Störungen nach MIL-STD 461/462** und nach **CISPR** im Bereich 9 kHz bis 1300 MHz auch Messungen **ab 20 Hz** durchführen und **erfüllt** die **Bandbreitenforderungen neuer MIL-Standards,** wie des britischen **DEF STAN 59 – 41** und MIL-STD 462 B. Das EP-6 enthält die Modellvarianten 56 von ESH 3, ESVP und EZM und unterscheidet sich von den anderen Systemen in einigen wesentlichen Punkten. Beim Meßempfänger ESH 3 ist der erste Filterbereich der Vorselektion von 9 bis 150 kHz auf 20 Hz bis 150 kHz erweitert und die Oszillatorunterdrückung am ZF-Tor auf 70 dB erhöht. Beim Spectrum Monitor EZM ist eine 10-Hz-Bandbreite hinzugefügt und die Frequenzdarstellung um den Bereich 20 Hz bis 9 kHz erweitert.

BILD 1 Meßempfängersystem EP-6 für Störmessungen im Frequenzbereich 20 Hz bis 1300 MHz nach zivilen und militärischen Vorschriften.





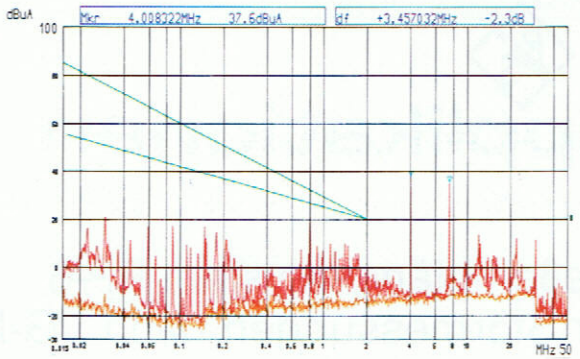


BILD 2 links: Plotter-Hardcopy einer Störstrahlungsmessung nach MIL-STD 461 B RE 01; violette Meßkurve Rauschpegel. Bei beiden Meßkurven ist das Wandlungsmaß der Feldsonde berücksichtigt (Meßbandbreite bis 1 kHz 10 Hz, darüber 100 Hz). Rechts: Plotter-Hardcopy einer Störstrommessung auf Stromversorgungsleitungen nach MIL-STD 461 B CE 03 (NB); orangefarbene Meßkurve Rauschpegel.

Die Frequenzbereichserweiterung des Systems geschieht mit Hilfe der HF-/ZF-Analyse des EZM. Wie bei allen Suchlauf-Empfängersystemen fällt auch hier bei Einstellung der Empfangsfrequenz 0 Hz die erste Oszillatorfrequenz in die ZF, weshalb die erste Mischstufe des ESH 3 auf hohe Oszillatorunterdrückung gezüchtet wurde. Dadurch wird auch bei sehr niedrigen Frequenzen eine ausreichende Meßempfindlichkeit erreicht. Eine Pegel- und Frequenzkalibrierung wird zu Beginn des Sweep-Vorgangs mit Hilfe des ESH 3-Kalibriergenerators durchgeführt. Als Meßbandbreiten dienen die Analysebandbreiten des EZM.

Im amerikanischen MIL-STD 461 besteht die Forderung nach Unterscheidung von Breit- und Schmalbandstörungen, weil unterschiedliche Breit- und Schmalbandstörgrenzwerte existieren. Wegen nicht festgelegter Meßbandbreiten kommen unterschiedliche Meßsysteme und -philosophien zu unterschiedlichen Resultaten. In [4 bis 6] wird vorgeschlagen beziehungsweise festgelegt, die Meßbandbreiten so einzustellen, daß auf eine Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen verzichtet werden kann.

Die Frequenz-/Bandbreitenzuordnung nach den neuen MIL-Standards ist im blauen Kasten zusammengestellt. BILD 2 zeigt die Ergebnisse von Störmessungen mit dem EP-6 gemäß MIL-STD 461.

Beim Meßempfängersystem EP-6 stehen in den verschiedenen Teilfrequenzbereichen folgende Meßbandbreiten zur Verfügung:

Frequenzbereich	Meßbandbreiten in kHz	Betriebsart des EZM
20 Hz . . . 9 kHz	0,01/0,03/0,1/0,3/1/3/10	HF/ZF
9 kHz . . . 30 MHz	0,01/0,03/0,1/0,3/1/3/10	HF/ZF
	0,2/1/2,4/10	HF
20 . . . 1300 MHz	0,01/0,03/0,1/0,3/1/3/10	HF/ZF
	10/100/120/1000	HF

Die volle Übereinstimmung mit den neuen MIL-Normen ist also bis 1300 MHz gewährleistet.

Das Meßempfängersystem EP-6 erfüllt auch alle Voraussetzungen für **Messungen nach CISPR, VDE, FCC** und anderen Funkstörmeßvorschriften. Außer der CISPR-Quasi-Spitzenwertanzeige ist auch die beispielsweise nach CISPR 22 erforderliche lineare Mittelwertanzeige vorhanden. Die Spitzenwertanzeige dient zur Voranalyse von Funkstörungen.

Zu dem umfangreichen Zubehör für Störmessungen (Ströme, -spannungen und -feldstärken) nach zivilen und militärischen Meßvorschriften sind auch die entsprechenden Antennen lieferbar: eine aktive Stabantenne für MIL- und VG-Normen, eine bikonische Antenne, eine logarithmisch-periodische Antenne und eine konisch-logarithmische Spiralantenne; des weiteren steht ein Holzstativ für diese Meßantennen zur Verfügung.

Manfred Stecher

LITERATUR

[1] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESH 3 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1980) Nr. 89, S. 8 – 12.

[2] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESVP für 20 bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

[3] Pohn, E.; Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM mit Controller-Funktion. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 119, S. 15 – 19.

[4] MIL-STD-462-Application Note. Identification of Broadband and Narrowband Emissions. ASD/ENA-TR-80-3 1 May 1980, Electromagnetic and Interference Compatibility Branch, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

[5] Proposed MIL-STD 462 B, August 1984. Test Methods for Electromagnetic Emissions and Susceptibility.

[6] Defence Standard 59 – 41, Ministery of Defence, United Kingdom.

Frequenzbereich Entwurf MIL-STD 462 B	Frequenzbereich brit. DEF-STAN 59 – 41	Meßbandbreite
0,1 . . . 0,5 kHz	0,02 . . . 1 kHz	10 Hz
0,5 . . . 10 kHz	1 . . . 50 kHz	100 Hz
0,01 . . . 1 MHz	0,05 . . . 2 MHz	1 kHz
1 . . . 30 MHz	2 . . . 30 MHz	10 kHz
30 . . . 1000 MHz	30 . . . 1000 MHz	100 kHz

Rechnergesteuerte Messung elektromagnetischer Störungen

Der neue Applikationsbericht stellt rechnergesteuerte Lösungen für die Messung elektromagnetischer Störungen im Frequenzbereich 20 Hz bis 1,3 GHz vor. Im einzelnen erfassen die **R&S-Meßplätze** (BILD 1), bestehend aus den **Meßempfängern ESH 3 und/oder ESVP** mit Meßzubehör und dem **Spectrum Monitor EZM** mit Rechneroption [1; 2], geleitete Funkstörungen und Funkstörfeldstärken nach kommerziellen Normen sowie elektromagnetische Störungen nach militärischen Normen.

Gesteuert werden die Meßplätze über die **Software EZM-K1,** die außerdem Test-Reports auf Druckern und Plottern liefert und das Speichern von Meßergebnissen auf Disketten ermöglicht. Sie verwaltet eine große Anzahl von Einstell-Datensätzen (einschließlich der zugehörigen Meßwandlerfaktoren und Grenzwertlinien) für viele Normen. Ferner erweitert sie die Meßplätze durch zusätzliche IEC-Bus-kompatible Geräte wie fernsteuerbarer Antennenmast und Meßobjekt-Drehtisch.

Die Software ist größtenteils softkey-gesteuert, in Basic geschrieben und für den Benutzer lesbar und änderbar. Über eine Auswahl von sechs Programmen gelangt der Benutzer auf eine Test Library für jedes Programm, das heißt auf eine unbegrenzte Liste von Meßspezifikationen, die er über Create-, Change- und Delete-Menüs erweitern, ändern und bereinigen kann. Bei Neuerstellung einer Spezifikation dient immer eine vorhandene als Muster. Auf diese Weise wird der Benutzer geführt und hat ein Minimum an Daten einzugeben – beispielsweise nur geänderte Grenzwerte. Zur Festlegung von Grafik, Scan-Daten und Scan-Sequenz für die HF-Analyse, Sweep-Daten für die HF-ZF-Analyse, Grenzwert- und Meßwandler-Daten dient ein für alle Programme einheitliches Menü, während ein programmspezifisches Menü Eigenschaften des Meßplatzes – etwa den Typ der Netznachbildung oder des Antennenmastes – oder Besonderheiten der Auswertung angibt.

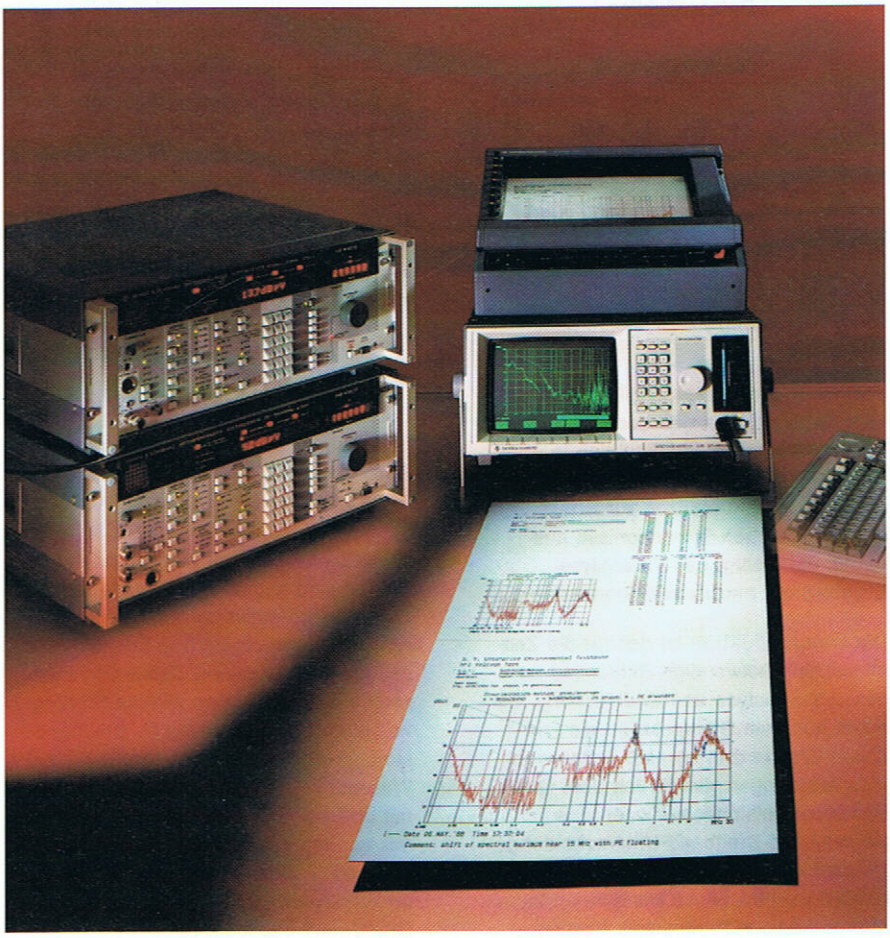


BILD 1 Meßempfänger ESH 3 (9 kHz bis 30 MHz) und ESVP (20 bis 1300 MHz) sowie Spectrum Monitor EZM mit Controller-Funktion.

1 Prinzip der rechnergesteuerten Störmeßtechnik

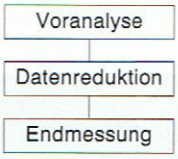
Die **Hauptziele der rechnergesteuerten Störmeßtechnik** sind:

- Zeitersparnis,
- Zuverlässigkeit und Genauigkeit,
- Reproduzierbarkeit der Ergebnisse,
- automatische, aussagekräftige Ergebnisdarstellung.

Für Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit sorgen die Meßempfänger ESH 3 und ESVP zusammen mit normgemäßen Meßaufbauten.

Zur Zeitersparnis wird bei Störmessungen ein **systematisches Verfahren** benutzt. Rechnergesteuerte Störmessung ist nicht nur die von einem Automaten

ausgeführte manuelle Messung. Man kann auch nicht allein die in den Normen niedergelegten Meßvorschriften in automatische Prozesse umsetzen, weil die Normen einerseits oft in dieser Hinsicht nicht präzise genug sind und andererseits bei unreflektierter Umsetzung der Normen zu große Meßzeiten zustandekommen. Das systematische Verfahren besteht in folgender Sequenz:



Die **Voranalyse** dient dazu, dem Rechner ein Bild vom Verlauf des Störspektrums zu geben. Sie wird mit dem Spitzenwertgleichrichter des Meßempfängers durchgeführt. Das hat zwei Gründe:

1. Der Spitzenwertgleichrichter ist schneller als die bewertenden Gleichrichterarten.

2. Diese Gleichrichterart gibt den Höchstwert der Störgröße während der Meßzeit an. Wenn also der Prüfling sich in der Betriebsart mit höchster Störemission befindet und die Meßzeit zur Erfassung der wesentlichen Störereignisse ausreicht, dann zeigt das Voranalyse-Ergebnis die maximale Störemission an.

Die **Datenreduktion** ist das für die Zeiteinsparung notwendige Bindeglied zwischen Voranalyse und Endmessung. Sie sucht aus dem Störspektrum die kritischen Frequenzen heraus. Zeitaufwendige Messungen wie die mit dem Quasi-Spitzenwertgleichrichter oder eine Schmalband-Breitband-Unterscheidung müssen nicht bei jeder Frequenz durchgeführt werden. Diese Messungen kann man auf solche Frequenzen beschränken, bei denen sich der Spitzenwert der Voranalyse entweder über dem Grenzwert oder in seiner Nähe befindet (BILD 2).

Um diese Frequenzen aus dem Spektrum herauszufinden, führt der Spectrum Monitor EZM eine Akzeptanzanalyse durch. Dazu wird eine Akzeptanzlinie verwendet, die mit variablem Abstand parallel zur Grenzwertlinie verläuft. Das Meßsystem kann alle Frequenzen identifizieren, deren Störpegel über der Akzeptanzlinie liegt, weil alle Spitzenwerte während der Voranalyse gespeichert worden sind. Der variable Abstand der Akzeptanzlinie von der Grenzwertlinie hat gegenüber einem festen Abstand beziehungsweise gegenüber der bloßen Verwendung der Grenzwertlinie zwei wesentliche Vorteile:

1. Jeder Hersteller von Serienprodukten verwendet eigene Sicherheitsabstände als Präventivmaßnahme gegen Bauelemente- und Fertigungstoleranzen.

2. Wenn der Grenzwert in einem großen Frequenzbereich überschritten ist, kann die Akzeptanzlinie iterativ angehoben werden, bis die Anzahl der Endmessungen auf ein vernünftiges Maß reduziert worden ist (z. B. auf 20 Quasi-Spitzenwertmessungen).

Die **Endauswertung** umfaßt zeitraubende Meß- und Auswertevorgänge an kritischen Stellen des Störspektrums. Solche Vorgänge sind:

Messungen mit dem Quasi-Spitzenwertgleichrichter,

Messungen mit dem Mittelwertgleichrichter,

Schmalband-Breitband-Unterscheidungen,

Suchvorgänge für die Ermittlung lokaler Strahlungsmaxima, wie Verschiebung der Absorberzange, Variation der Antennenhöhe und Drehen des Meßobjekts.

Die von Meßobjekten ausgesendeten Störungen sind auch bei der Betriebsart mit höchster Störemission häufig in ihrer Amplitude und oft auch in ihrer Frequenz zeitlich nicht konstant. Dabei sind kurzzeitige Schwankungen wie die Störungen von Motoren (kontinuierliche Breitbandstörungen) das geringste Problem. Wesentlich unangenehmer sind Prüflinge mit driftenden Frequenzen und solche mit zyklisch in großem zeitlichem Abstand (z. B. mehreren Sekunden) wiederkehrender Störung. Aus diesem Grund muß das Meßsystem flexibel reagieren können. Die Software EZM-K1 enthält deshalb neben einem für Standardfälle verwendbaren Conformance-Test einen Quick-Look-Test, der einen schnellen Überblick über das Störspektrum liefert. Im ersten Fall wird die HF-Analyse und im zweiten Fall die HF-ZF-Analyse des EZM verwendet [1]. Während der Conformance-Test nach einem vorher festgelegten Schema durchgeführt wird, läuft der Quick-Look-Test interaktiv ab und erlaubt damit vom Ergebnis der Voranalyse abhängige Entscheidungen des Anwenders.

Ein großer Vorteil der rechnergesteuerten Messung liegt in der **automatischen Dokumentation** der Meßergebnisse. Die Software EZM-K1 bietet einen Test-Report, der neben einer grafischen Darstellung einen Report-Kopf, eine Scan-Tabelle, eine Meßwerteliste und ein Kommentarfeld enthält. Der Report-Kopf nennt Firmen- oder Abteilungsbezeichnung, Art der Messung, Meßspezifikation, Meßobjektbezeichnung und Betriebsart des Meßobjekts. Die Scan-Tabelle gibt die wichtigsten Einstellungen der Meßempfänger in den einzelnen Frequenz-Teilbereichen wieder. Dazu gehören ZF-Bandbreite, Gleichrichtertyp, HF-Dämpfung, Meßzeit pro Meßwert und Typ des Meßwandlers (Typ der Antenne oder des Stromwandlers). Die Meßwerteliste enthält zur jeweiligen Frequenz den Spitzen-, Mittel- und Quasi-Spitzenwert, den Abstand vom Grenzwert (Margin) und eine Zuordnung zu Schmal- und Breitbandstörungen.

2 Messung geleiteter Funkstörungen

2.1 Messen der Funkstörspannung

Die Funkstörspannung eines Prüflings ist auf dessen Stromversorgungs- und ungeschirmten Signalleitungen gegen Bezugsmasse zu ermitteln. Als **Ankoppelnetzwerke** zur Messung der unsymmetrischen Störspannung auf Stromversorgungsleitungen dienen V-Netznachbildungen (ESH 2-Z5, ESH 3-Z5 und -Z6), auf Signal- und Datenleitungen Tastköpfe (ESH 2-Z2 und -Z3) und zur Messung der

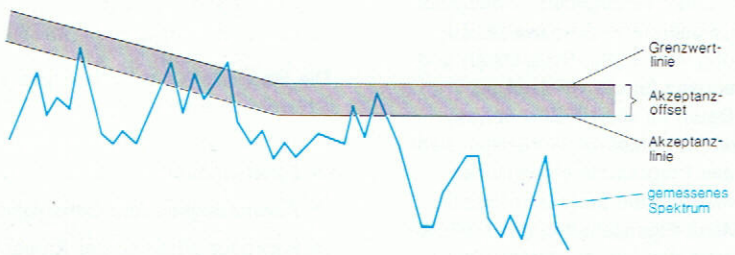


BILD 2 Prinzip der Datenreduktion. Nur die über der Akzeptanzlinie liegenden Störungen müssen in der Endauswertung gemessen werden.

asymmetrischen Störspannung auf symmetrischen Signal- und Datenleitungen die T-Netznachbildung (ESH 3-Z4) [3].

In selteneren Fällen genügt die Messung auf einer Leitung, etwa bei Geräten mit Batteriespeisung und bei einzelnen symmetrischen Leitungspaaren. Bei allen Geräten mit Netzversorgung ist auf mindestens zwei Leitungen zu messen und die Leitung zu finden, die die maximale Störspannung führt. Zusätzlich muß bei einigen Normen (VDE 0871 A1 und Vfg 1046/1984) die Schutzleiternachbildung geschaltet werden. Aus diesem Grund ist die Phasenwahl der R&S-Netznachbildungen ESH 2-Z5 und ESH 3-Z5 über das User-Port des EZM fernsteuerbar (BILD 3).

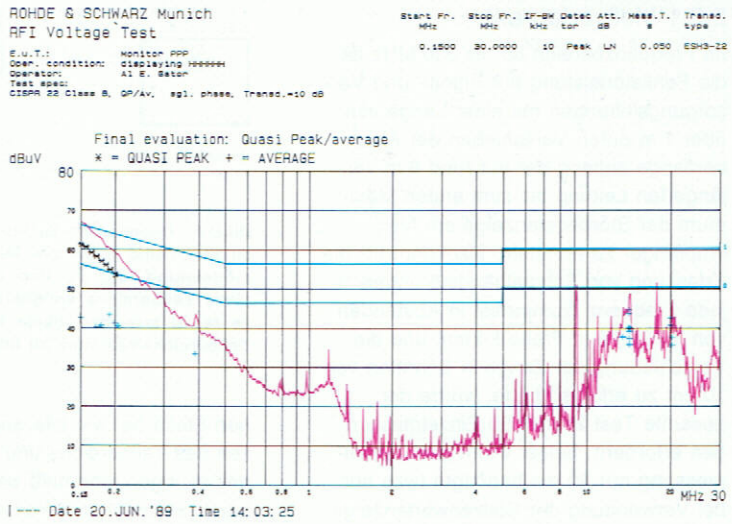


BILD 4 Test-Report einer Funkstörspannungsmessung.

Die Normen VDE 0871 Teil 1 und Vfg 1046/1984 verlangen die **Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen.** Als Unterscheidungsmethode für automatische Messungen dient der Vergleich von Spitzen- und Mittelwertanzeige. Schmal- und Breitbandstörungen in Grenzwertnähe werden nach erfolgter Zuordnung mit dem Quasi-Spitzenwert-

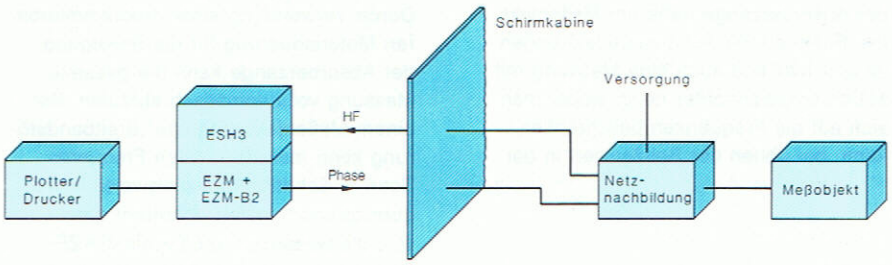


BILD 3 Meßaufbau für die Funkstörspannungsmessung.

gleichrichter gemessen.

Die Normen VDE 0871 Teil 2, CISPR Publ. 22 und auch Entwürfe der CISPR Publ. 11 und 14 sehen anstatt der Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen **Grenzwerte für die Mittel- und Quasi-Spitzenwertanzeige** vor.

Auch für diesen Fall wird eine Lösung mit Meßdatenreduktion geboten: Mittel- und Quasi-Spitzenwertgleichrichter werden nur verwendet, wenn der Grenzwert bei Spitzenwertanzeige überschritten wurde.

Der automatische oder interaktive **Meßablauf** sieht also folgendermaßen aus: Nach einer Vormessung auf einer Phase mit dem Spitzenwertgleichrichter wird durch Vergleichsmessungen die Phase mit der höchsten Störspannung gefunden. Mit Hilfe der Akzeptanzanalyse werden die Frequenzen ermittelt, auf denen die Schmal-Breitband-Unterscheidung oder die Mittelwertmessung durchgeführt wird. Am Ende wird auf einer stark reduzierten Anzahl von Frequenzen (beispielsweise 20), bei denen der Spitzenwert den Grenzwert am weitesten überschreitet beziehungsweise in dessen Nähe liegt, der Quasi-Spitzenwert gemessen. BILD 4 zeigt das Ergebnis einer Funkstörspannungsmessung mit Grenzwerten für die Mittel- und Quasi-Spitzenwertanzeige.

Der Ablauf der Funkstörspannungsmessung läßt sich mit den angegebenen Verfahren für viele Anwendungsfälle automatisieren. Ausgenommen sind Störungen mit einer zeitlichen Schwankung, die einen Meßablauf von unerträglich hoher Dauer nötig machen würde.

2.2 Messen der Funkstörleistung mit Absorberzange

Die Funkstörleistung wird mit der Absorberzange im Frequenzbereich 30 bis 300 MHz gemessen. Sie dient zum Ersatz der Feldstärkemessung bei Meßobjekten mit Abmessungen, die kleiner als ein Viertel der Wellenlänge sind.

In diesem Fall kann man davon ausgehen, daß die Störleistung überwiegend über das Netzkabel abgestrahlt wird. Die Absorberzange (z. B. die Absorptions-Meßwandlerzange MDS-21) umschließt das Kabel und absorbiert die Störleistung. Ein Stromwandler am Eingang des Absorbers wandelt den in die Zange fließenden Strom in eine Spannung am Eingang des Meßempfängers um. Mit Hilfe eines Wandlerfaktors wird die vom Kabel abstrahlbare Störleistung in dBpW ermittelt.

Es gibt Vorschläge, die Störleistungsmessung auf den Bereich bis 1000 MHz auszudehnen. Das bedeutet aber, daß der Anteil der über das Gehäuse abgestrahlten Störenergie nicht mehr vernachlässigbar ist. Die Anwendung betrifft Geräte mit überwiegender Breitbandstörung (Haushaltsgeräte und Elektrowerkzeuge), aber auch Geräte mit Schmalbandstörungen. Auch Signalleitungen mit einer Länge von über 1 m sind mit einzubeziehen (deutsche Verfügungen 527/1979 und 1046/1984 und neuerdings auch europäische Norm-Entwürfe).

2.2.1 Meßverfahren

Im Frequenzbereich 30 bis 300 MHz ist die Funkstörleistung auf Signal- und Versorgungsleitungen mit einer Länge von über 1 m durch Verschieben der Absorberzange entlang der auf rund 6 m verlängerten Leitung bis zum ersten Maximum der Störpegelanzeige am Meßempfänger zu ermitteln. Nachdem für die Erfassung von Schmalbandstörungen jede Frequenz (zumindest in Abständen von 100 kHz) in Frage kommt und die Verschiebung der Zange in Schritten von 10 cm zu erfolgen hätte, würde der gesamte Test 2700 · 50 Einzelmessungen erfordern. Selbst wenn jede Einzelmessung nur 80 ms benötigte (was nur bei Verwendung der Spitzenwertanzeige geht), würde die gesamte Messung etwa drei Stunden dauern. Anschließend müßte man immer noch Messungen mit dem Mittelwert- und dem Quasi-Spitzenwertgleichrichter machen.

Die **Kernidee zur Reduzierung der Meßzeit** ist folgende: Der gesamte Frequenzbereich wird in eine ausreichende Anzahl von Teilbereichen geteilt, innerhalb derer für alle Frequenzen annähernd die gleichen Bedingungen gelten (d. h. Quellen- und Lastimpedanzen sind annähernd gleich). Dann kann man annehmen, daß die stehende Welle des Teilbereichsmaximums (Maximalpegel des Teilbereichs-Spektrums bei feststehender Zange) ihr lokales Maximum (das erste Maximum bei Verschiebung der Zange) an derselben Stelle hat wie alle anderen Frequenzen des Teilbereichs und daß die Pegelbeziehungen innerhalb des Frequenzteilbereichs annähernd konstant bleiben. Es ist deshalb nicht nötig, das lokale Maximum für alle Frequenzen des Teilbereichs zu suchen. Das lokale Maximum einer Repräsentativfrequenz – am besten der Frequenz, bei der das Teilbereichsmaximum liegt – genügt (BILD 5).

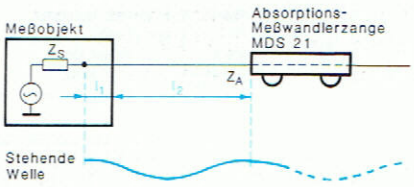


BILD 5 Impedanzen Z_S und Z_A und Leitungslängen l_1 und l_2 bei der Messung der Funkstörleistung. Z_S, Z_A und l_1 sind innerhalb eines Teilbereichs annähernd konstant, und es reicht aus, das lokale Maximum l_2 beim Teilbereichsmaximum zu finden.

2.2.2 Meßablauf

Zunächst wird die **Voranalyse** durchgeführt, also die Messung des Meßobjekt-Spektrums im gesamten Frequenzbereich mit Spitzenwertgleichrichter und mit der Absorberzange nahe am Meßobjekt. Bei Spektren mit Schmalbandstörungen ist anschließend auch eine Messung mit Mittelwertgleichrichter nötig, wobei man sich auf die Frequenzen beschränken kann, bei denen der Spitzenwert in der Nähe des Mittelwertgrenzwertes liegt. Dabei ist damit zu rechnen, daß sich ein neues Teilbereichsmaximum für die Mittelwertanzeige ergibt.

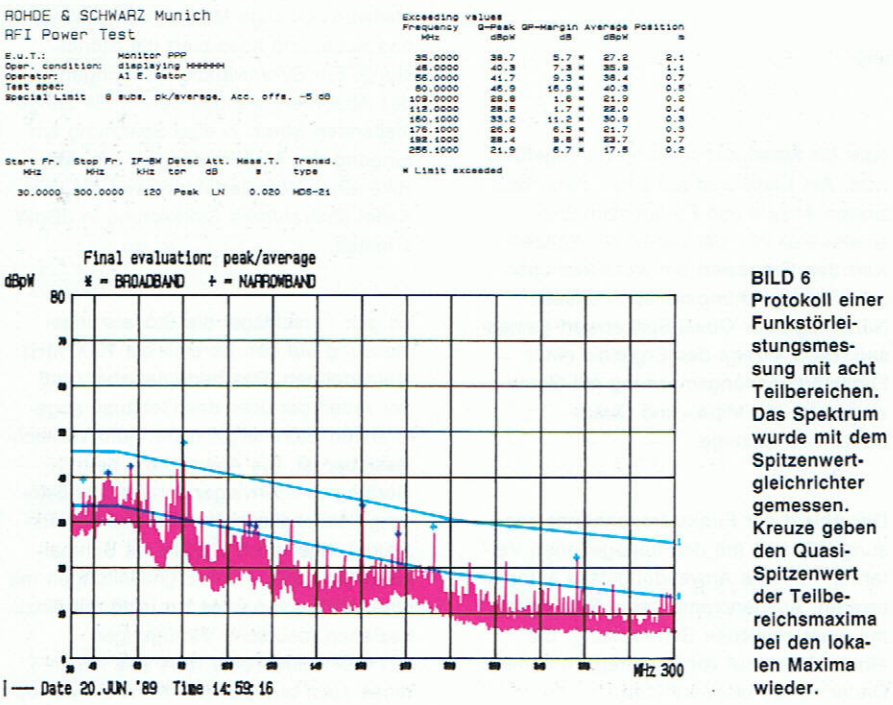
Es folgt die **Bestimmung der Teilbereichsmaxima** in zum Beispiel acht Teilbereichen. Zusätzliche Teilbereichsmaxima der Mittelwertanzeige sind zu bilden, wenn Spitzenwert- und Mittelwertmaxima nicht identisch sind.

Als nächstes wird die **Zange in 10-cm-Schritten bewegt** und mit Spitzenwertgleichrichter (und Mittelwertgleichrichter) bei allen Teilbereichsmaxima gemessen (Datenreduktion und Endauswertung). Eine weitere Reduzierung der Meßzeit ergibt sich durch die Physik: Bei höheren Frequenzen rückt das erste lokale Maximum dem Meßobjekt immer näher. Das heißt, mit zunehmendem Abstand vom Meßobjekt nimmt die Zahl der Meßfrequenzen immer weiter ab.

Schließlich wird die **Zange zu den gefundenen lokalen Maxima** bewegt, wo die abschließende Quasi-Spitzenwertmessung durchgeführt wird. Auf diese Weise wurde die Anzahl der Quasi-Spitzenwertmessungen auf die Anzahl der Teilbereiche reduziert.

Durch Verwendung einer programmierbaren Motorsteuerung für die Bewegung der Absorberzange kann die gesamte Messung vollautomatisch ablaufen. Bei einem Meßobjekt mit reiner Breitbandstörung kann man den ersten Frequenz-Scan in Schritten (beispielsweise in frequenzproportionalen Schritten) durchführen, die wesentlich größer als die ZF-Bandbreite sind. Damit ist schon in der Voranalyse eine Meßzeitreduktion möglich.

Meßbeispiel: Ein Meßobjekt mit Mikroprozessor, der eine Clock-Frequenz von 1 MHz hat, wurde mit acht und 16 Teilbereichen gemessen. Nachdem das Programm aus Gründen der Datenreduktion normalerweise die Auswertung von Störungen mit einem Pegel, der weit unter dem Schmalbandstörgrenzwert liegt, unterdrückt, wurden die Grenzwertlinien an den Verlauf des Störspektrums angepaßt. Es wurde eine Schmalband-Breitband-Unterscheidung auf der Grundlage der Spitzenwert-Mittelwert-Pegeldifferenz durchgeführt (BILD 6). Per Meßspezifikation kann das Programm an Meßvorschriften mit Quasi-Spitzenwert- und Mittelwertgrenzwerten angepaßt werden. Das Ergebnis zeigt, daß eine relativ kleine Anzahl von Teilbereichen für die Entscheidung, ob ein Meßobjekt die Norm erfüllt oder nicht, ausreicht.


ROHDE & SCHWARZ Munich
RFI Power Test

E.U.T.: Monitor PPP
Oper. condition: displaying HHHHHH
Operator: Al E. Gator
Test spec:
Special Limit 8 subs. pk/average. Acc. offs. -5 dB

Start Fr. MHz	Stop Fr. MHz	IF-BW kHz	Detec	Att. dB	Meas.T. s	Transd. type
30.0000	300.0000	120	Peak	LN	0.020	MDS-21

Exceeding values

Frequency MHz	Q-Peak dBpW	QP-Margin dB		Average dBpW	Position m
35.0000	38.7	5.7	*	27.2	2.1
46.0000	40.3	7.3	*	35.9	1.1
56.0000	41.7	8.3	*	38.4	0.7
80.0000	46.9	16.9	*	40.5	0.5
109.0000	28.8	1.6	*	21.9	0.2
112.0000	28.5	1.7	*	22.0	0.4
160.1000	33.2	11.2	*	30.8	0.3
176.1000	26.9	6.5	*	21.7	0.3
192.1000	28.4	9.6	*	23.7	0.7
256.1000	21.9	6.7	*	17.5	0.2

* Limit exceeded

BILD 6 Protokoll einer Funkstörleistungsmessung mit acht Teilbereichen. Das Spektrum wurde mit dem Spitzenwertgleichrichter gemessen. Kreuze geben den Quasi-Spitzenwert der Teilbereichsmaxima bei den lokalen Maxima wieder.

3 Messung von Funkstörfeldstärken

Funkstörfeldstärkemessungen erfordern einen sehr viel größeren technischen und zeitlichen Aufwand als Funkstörspannungs- und -leistungsmessungen. Die Meßabstände liegen zwischen 3 und 30 m, wobei die Tendenz besteht, auf die Meßentfernung von 30 m zu verzichten.

Im Frequenzbereich **9 kHz bis 30 MHz** ist die magnetische Komponente des Feldes zu messen. Rahmenantenne und Meßobjekt sind so auszurichten, daß die maximale Feldstärke angezeigt wird. Im Bereich **30 bis 1000 MHz** wird die Feldstärke üblicherweise mit Breitbandantennen für lineare Polarisation gemessen. Während für die Messung von Objekten mit Zündstörungen nach CISPR Publ. 12 die Art der Grundfläche nicht vorgeschrieben ist, ist für Geräte mit Breit- und Schmalbandstörungen nach CISPR Publ. 11, 13, 14, 15 und 22 ein Meßplatz mit reflektierender Grundfläche nötig, der ansonsten aber frei von reflektierenden Gegenständen sein muß. Die nach CISPR Publ. 16 im Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz zu messende Meßplatzdämpfung bestimmt, ob ein Meßplatz brauchbar ist.

Die preisgünstigste Lösung ist ein **Freifeldmeßplatz.** Er hat jedoch den Nachteil der Umgebungsstörungen, die automatische Messungen weitgehend ausschließen. Bei genügender Entfernung von Großstädten und Industrie kann man mit etwas Vorsicht durchaus mit dem Freifeldmeßplatz arbeiten. Daneben setzen sich langsam **geschirmte Absorberräume** durch, die, wenn sie genügend groß und mit ausreichendem Absorbermaterial ausgestattet sind, ebenfalls die Meßplatzdämpfungsforderungen einhalten [4].

Infolge der reflektierenden Grundfläche ergibt sich im Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz eine Höhenabhängigkeit der Feldstärke und damit die Notwendigkeit einer Variation der Antennenhöhe zur Ermittlung der maximalen Feldstärke. Die horizontale und vertikale Komponente des Störfeldes sind zu messen und das Meßobjekt zu drehen, eventuell muß es mit allen Verbindungskabeln und Komponenten so angeordnet werden, daß die maximale Störstrahlung erfaßt wird. Diese Bedingungen werden von der Störfeldstärke-Meßsoftware EZM-K1 berücksichtigt. Erfreulicherweise gibt es nur Quasi-Peak-Grenzwerte und weder eine Schmal-Breitband-Unterscheidung noch Grenzwerte für die Mittelwertanzeige.

3.1 Messung der Funkstörfeldstärke bei Zündstörungen

3.1.1 Meßaufgaben

Im Bereich der Störaussendungsmessungen an Fahrzeugen und Geräten mit Hochspannungszündanlagen bestehen drei Ziele:

1. die **Fernentstörung** von Fahrzeugen mit Meßvorschriften nach VDE 0879 Teil 1 (für die Bundesrepublik Deutschland), SAE J551 (für USA und Kanada) und CISPR Publ. 12. Dabei wird die Störwirkung von Zündstörungen auf den Rundfunkempfang in Heimempfängern betrachtet. Die Störwirkung von an Bord des Fahrzeugs befindlichen Schmalbandstörquellen (z. B. Mikroprozessoren) wird bisher nicht berücksichtigt.

2. die **Eigenentstörung** von Fahrzeugen mit Meßvorschriften, die sich derzeit noch im Entwurfsstadium befinden. Dabei wird die Störwirkung von Zündstörungen und anderen Störquellen auf den Rundfunkempfang an Bord des Fahrzeugs betrachtet. Die Messung geschieht an der Bordantenne des Fahrzeugs.

3. die **Entstörung von Komponenten** mit Meßvorschriften nach VDE 0879 Teil 3. Bisher erfolgt nur die Messung der Funkstörspannung an der Netznachbildung.

Wir betrachten hier den ersten Fall, also die Messung der Funkstörfeldstärke nach VDE 0879 Teil 1, SAE J551 und nach CISPR Publ. 12 (BILD 7).

3.1.2 Meßphilosophie

Da **Zündstörungen breitbandigen Charakter** haben, müssen sie nicht lückenlos gemessen werden, und man kann vom Prinzip Voranalyse – Datenreduktion – Endmessung abweichen. Im VHF-UHF-Bereich genügen Messungen in Schritten von einigen MHz. Voraussetzung für die fehlerfreie Messung von Zündstörungen ist ein Freifeldmeßplatz in ruhiger Umgebung. Wenn dies der Fall ist, scheiden Breitbandstörungen aus der Umgebung aus. Schmalbandstörungen durch Rundfunk, Flugsicherung, Mobilfunk u. a. sind jedoch sehr wohl vorhanden, im allgemeinen zeitlich konstant und – was wichtig ist – spektral begrenzt, so daß man sie nur einmal messen muß, um zu wissen, wo sie sich befinden. Es zeigt sich, daß neben diesen Schmalbandstörungen die Umgebungsstörfeldstärke genügend weit vom Grenzwert entfernt ist, so daß **Meßfrequenzen** angegeben werden können, bei denen die Breitband-Störfeldstärke **unbeeinflußt von der Umgebungsstörung** ist (BILD 8).

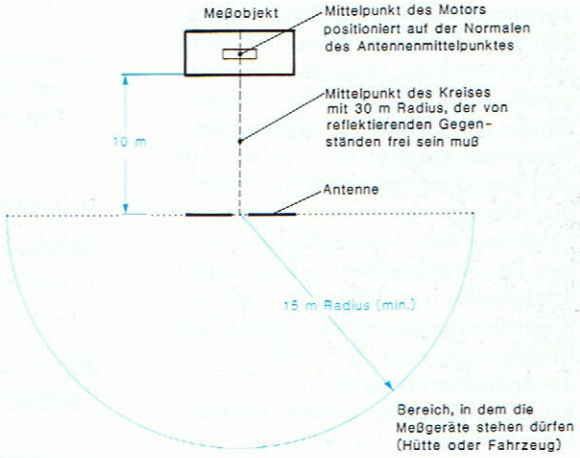


BILD 7 Meßanordnung zur Störaussendungsmessung nach CISPR Publ. 12. Die Höhe des Antennenmittelpunkts über dem Boden ist fixiert und beträgt 3 m, der Abstand zum nächstliegenden Metallteil des Meßobjekts ist 10 m (also keine Rechnersteuerung der Antennenhöhe erforderlich).

Die Funkstörfeldstärke von Fahrzeugen und Geräten mit Hochspannungszündeinrichtungen ist nach VDE 0879 und nach CISPR Publ. 12 mit dem Quasi-Spitzenwert-Detektor (nach SAE J551 mit dem Spitzenwert-Detektor) bei horizontaler und vertikaler Polarisation zu messen. Da nach VDE 0879 und CISPR Publ. 12 die Motordrehzahl bei Mehrzylindermotoren auf 1500 U/min einzustellen ist,

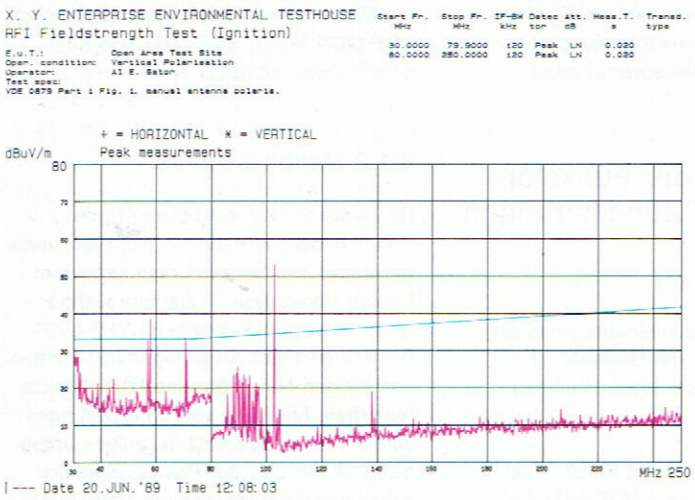


BILD 8 Beispiel für ein günstiges Umgebungs-Störspektrum für Freifeldmeßplätze.

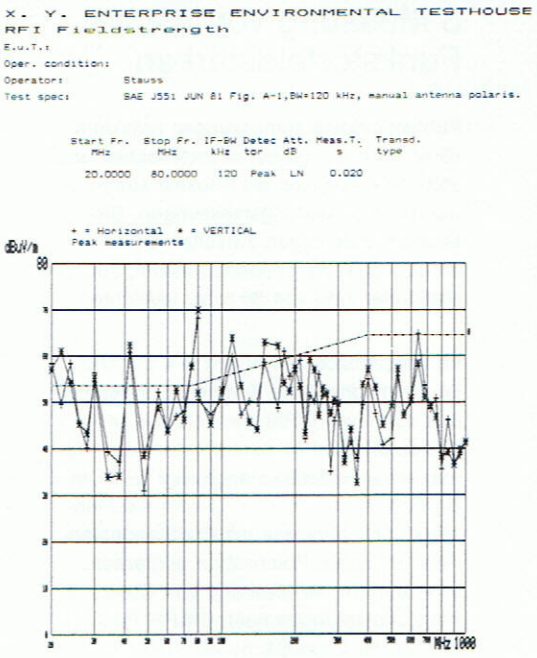


BILD 9 Ergebnis einer Funkstörfeldstärkemessung. Die Polarisation (horizontal und vertikal) wird durch Kreuze und Sterne unterschieden.

ergibt sich beispielsweise beim Vierzylinder-Viertaktmotor eine Zündpulsfrequenz von 50 Hz, beim Sechszylinder-Viertaktmotor von 75 Hz. Entsprechend dem Verlauf der Impulsbewertungskurve nach CISPR Publ. 16 für den Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz muß der Spitzenwert der Zündstörung deshalb beim Vierzylinder-Viertaktmotor um etwa 15 dB über dem Quasi-Spitzenwert und beim Sechszylinder-Viertaktmotor um etwa 13 dB über dem Quasi-Spitzenwert liegen. Da die Spitzenwertmessung wesentlich schneller durchführbar ist, kann für Kontrollmessungen beziehungsweise zur Untersuchung von Entstörmaßnahmen der Spitzenwert-Detektor und für Typprüfungen der Quasi-Spitzenwert-Detektor verwendet werden. Damit man auch bei einfachen Kontrollmessungen einen Bezug zum Grenzwert hat, ist es zweckmäßig, für diese Spitzenwertmessungen einen um 13 beziehungsweise 15 dB erhöhten Grenzwert anzugeben (BILD 9).

3.1.3 Programmorganisation und Meßablauf

Das **Programm** zur Funkstörfeldstärkemessung von Zündstörungen enthält folgende **Elemente**:

- die Möglichkeit zur Messung und Analyse der Umgebungsstörungen, damit Meßfrequenzen für die Breitbandstörmessung festgelegt werden können, sowie eine Speichermöglichkeit für die Umgebungsstörungen für spätere Kontrollen,
- eine Editier- und Speichermöglichkeit für die Liste der Meßfrequenzen,
- die Möglichkeit der Spitzenwertmessung auf den gewählten Meßfrequenzen mit grafischer Ergebnisdarstellung,
- die Möglichkeit der Quasi-Spitzenwertmessung auf den gewählten Meßfrequenzen mit grafischer Darstellung,
- die Möglichkeit der manuellen und automatischen Polarisationsumschaltung der Meßantenne.

3.2 Messung der Funkstörfeldstärke allgemein (Breit- und Schmalbandstörungen)

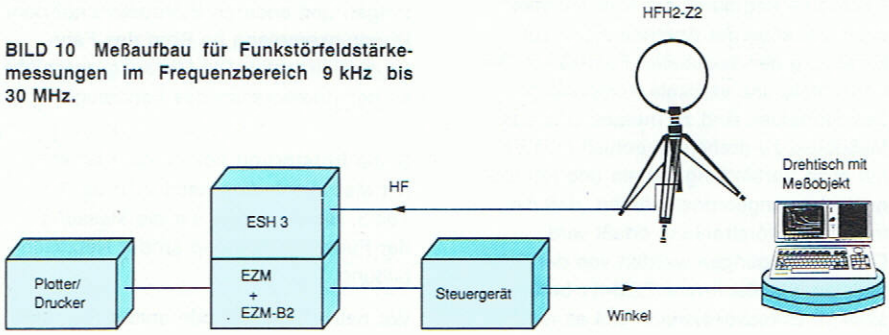
3.2.1 Strategien zur Feldstärkemessung

Grundsätzlich ist für Meßobjekte mit Breit- und Schmalbandstörungen der Frequenzbereich in Schritten, die kleiner sind als die ZF-Bandbreite, abzutasten. Je nach Frequenzbereich und Meßplatzkonfiguration ergeben sich unterschiedliche Meßstrategien:

Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz

Der Meßplatz besteht aus einem Drehtisch für das Meßobjekt, der Rahmenantenne HFH 2-Z2 und dem Meßempfänger ESH 3 (BILD 10). Eine **Vormessung** mit HF-ZF-Analyse dient zur Orientierung von Meßobjekt und Rahmenantenne auf maximale Feldstärkeanzeige. Danach können im Freifeld das Umgebungsstörspektrum und dasselbe mit Meßobjektspektrum aufgenommen, anschließend eine **modifizierte Akzeptanzanalyse** zur Ermittlung der vermutlichen Störfrequenzen und schließlich auf diesen Frequenzen die **Endmessung** bei manueller Kontrolle der Störquelle mit Quasi-Spitzenwertgleichrichter durchgeführt werden. Die modifizierte Akzeptanzanalyse ermittelt Frequenzen, bei denen der Feldstärkepegel wenigstens um x dB über (eventuell auch unter) dem Grenzwert und wenigstens um y dB über der Umgebungsstörung liegt; x und y sind variabel. In einem geschirmten Raum entfällt die Messung des Umgebungsstörspektrums,

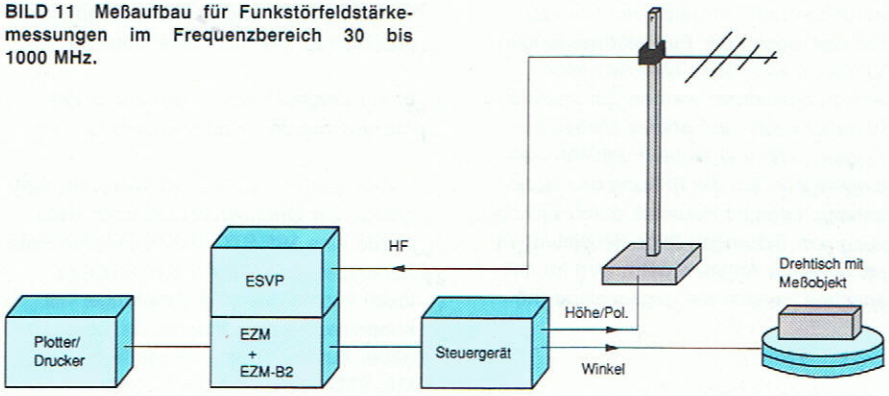
BILD 10 Meßaufbau für Funkstörfeldstärkemessungen im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz.



und es genügt eine einfache Akzeptanzanalyse.

Resümee: Zur Voranalyse müssen im Freifeld zwei Spektren aufgenommen werden; die Meßdatenreduktion erfordert die Berücksichtigung sowohl des Umgebungsstörspektrums als auch des Grenzwertverlaufs, und bei der Endmessung muß vor der Messung durch Aus- und Einschalten des Meßobjekts (was nicht immer möglich ist), durch visuelle und akustische Kontrolle geprüft werden, ob die Störfeldstärke vom Meßobjekt stammt. Dieser Ablauf gilt grundsätzlich im Freifeld. Durch Kontrolle wird Fehlmessungen infolge zeitlich schwankender Umgebungsfeldstärke und intermittierender Störungen vorgebeugt.

BILD 11 Meßaufbau für Funkstörfeldstärkemessungen im Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz.



Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz

Hier besteht der Meßplatz aus einem Drehtisch für das Meßobjekt, einem Antennenmast mit zwei Breitbandantennen und dem Meßempfänger ESVP (BILD 11). Wie erwähnt, ist die automatische Messung wegen intermittierender Umgebungsstörungen auf dem Freifeldmeßplatz praktisch unmöglich. Auf ruhigen Meßplätzen kann jedoch folgender **Meßablauf** zum Erfolg führen:

- Aufnahme und Speicherung des Umgebungsstörspektrums (ca. 10000 Werte) bei horizontaler Polarisation.
- Aufnahme des Spektrums von Meßobjekt- und Umgebungsstörung.

Zur optimalen Erfassung der Meßobjektstörung kann der gesamte Frequenzbereich in eine bestimmte Anzahl von Teilbereichen mit jeweils fester Höhe der Meßantenne eingeteilt werden. Die Antennenhöhe muß für einen gegebenen Frequenzbereich so eingestellt werden, daß die Auslöschung der Störwelle wegen Überlagerung der direkten und der reflektierten Welle vermieden wird. Um sicherzugehen, daß dieses Ziel erreichbar ist, hat Rohde & Schwarz die Bereiche der Antennenhöhe berechnet, bei denen die Feldstärke weniger als 3 dB unter der maximal erreichbaren Feldstärke liegt (BILD 12). Die Anzahl der Frequenzteilbereiche hängt ab von der Meßentfernung und der Antenneneinstellung (horizontal oder vertikal). Für den sehr kritischen Fall der 3-m-Meßstrecke wurde dies auch in [5] berechnet. Das Meßobjekt soll in einer Anordnung aufgestellt werden, die normalerweise ein Strahlungsmaximum in Richtung auf die Meßantenne bewirkt (z. B. die in VDE 0877 Teil 1 empfohlene Meßanordnung). Bei hohen Meßobjekten (z. B. 2 m hohen Gestellen) kann durch Anwendung der HF-ZF-Analyse im Quick-Look-Mode bei gleichzeitiger Änderung der Antennenhöhe in einem Bereich von 1 bis 2 m eine Auslöschung vermieden werden.

- Durchführung einer modifizierten Akzeptanzanalyse, die eine Anzahl (z. B. 20 Werte) von vermutlichen Störfrequenzen liefert.
- Abstimmen des Meßempfängers auf die vermutlichen Störfrequenzen mit den folgenden Möglichkeiten zur Identifikation der Störquelle:

Ein- und Ausschalten des Meßobjekts, Abhören der NF-Demodulation,

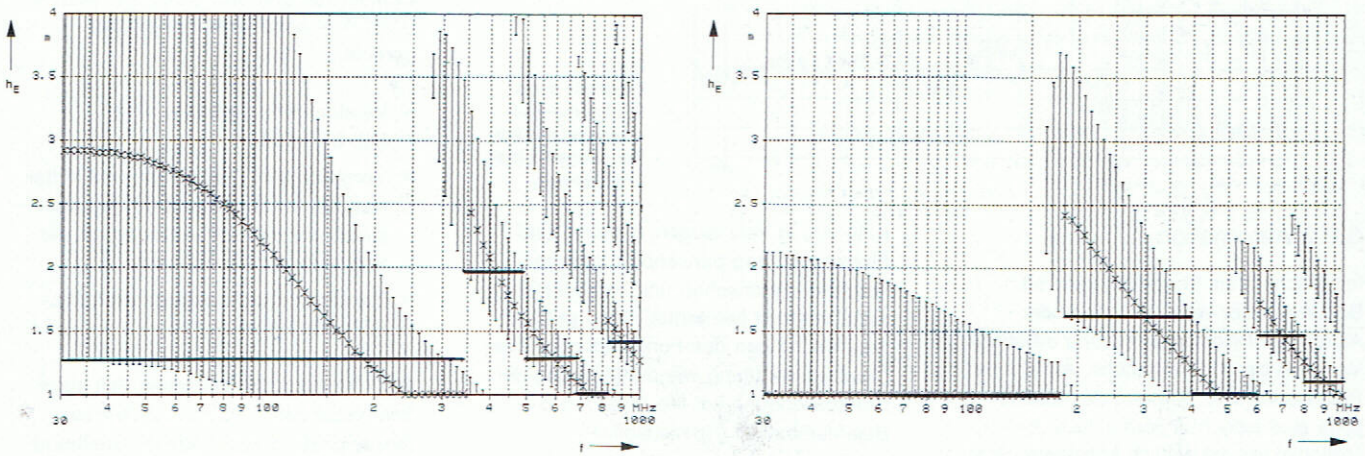


BILD 12 Höhenbereiche der Empfangsantenne, in denen die Feldstärke um weniger als 3 dB unter der maximalen Feldstärke liegt. Meßabstand 3 m, Strahlungszentrum des Meßobjekts über Erdboden 1 m, Polarisation horizontal (links) und vertikal (rechts). Die Antennenhöhen für maximale Feldstärke sind mit x bezeichnet.

Kontrolle des Panoramaschirms mit der ZF-Analyse,
Umschalten auf die nächste vermutliche Störfrequenz, wenn die Störung nicht vom Meßobjekt stammt;
stammt das Störsignal vom Meßobjekt, Variation der Antennenhöhe und Drehung des Meßobjekts, bis die maximale Feldstärke gefunden ist,
Messung des Quasi-Spitzenwerts.

- Wiederholung des gesamten Vorgangs bei vertikaler Polarisation.

Durch Verwendung einer rechnergesteuerten Meßeinrichtung mit Meßsoftware, die die Zahl der Endmessungen durch eine systematische Vormessung und Meßdatenreduktion verringert, kann der Arbeitsaufwand bei der Messung der Funkstörfeldstärke beträchtlich reduziert werden.

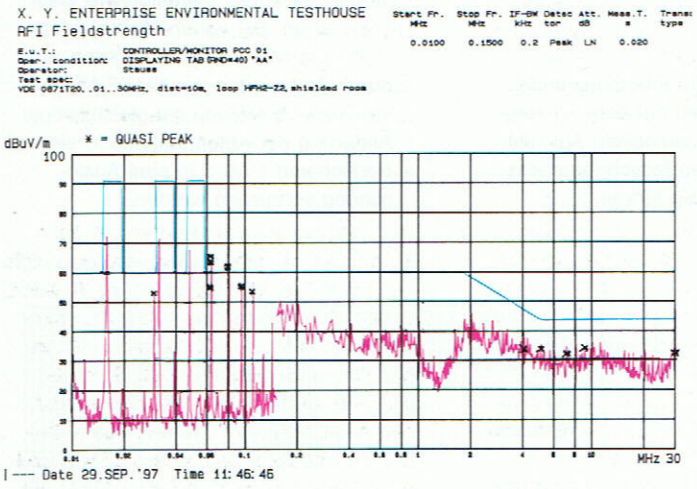


BILD 13
Ergebnis einer Feldstärke-Endmessung auf vorher ausgesuchten Frequenzen.

3.2.2 Automation

Im geschirmten **Absorberraum** mit Bodenreflektor vereinfacht sich der Ablauf der Feldstärkemessung erheblich. Variation der Antennenhöhe, Ändern der Polarisation und Drehung des Meßobjekts sind jedoch unvermeidlich. Bei Meßobjekten mit zeitlich konstanter Störemission sind **vollautomatische Messungen** möglich mit:

- Aufnahme des Feldstärkespektrums mit horizontaler Polarisation und bereichsweise optimierten Antennenhöhen,
- Bestimmung der spektralen Maxima mit einfacher Akzeptanzanalyse, Durchführung einer Meßobjektdrehung und Variation der Antennenhöhe bei einer genügend großen Anzahl kritischer Frequenzen mit abschließender Quasi-Spitzenwertmessung (BILD 13),
- Wiederholung des Ablaufs bei vertikaler Polarisation.

4 Messung von Störungen nach militärischen Normen

4.1 Meßvorschriften

Mit der Messung elektromagnetischer Störungen nach militärischen Normen wird das Gebiet der Funkstörmessungen verlassen, wie sie im kommerziellen Bereich bezeichnet werden. Ein anderes Störmodell führt auf andere Meßanordnungen. Während es bei Funkstörungen überwiegend um die Störung des Rundfunkempfangs im Haushalt durch Einkopplung von Störungen über Netzleitungen und über die Antenne geht, wird im militärischen Bereich die gegenseitige Störung von in Fahrzeugen, Schiffen und Flugzeugen eng benachbart untergebrachten elektrischen und elektronischen Komponenten betrachtet. Dazu gehören auch Störungen des Funkempfangs. Die gleiche Bedeutung wie die Messung der Störaussendung hat die Messung der Beeinflußbarkeit (Suszeptibilität).

Wegen der engen Nachbarschaft der Geräte finden beispielsweise Störstrahlungsmessungen in 1 m Abstand statt – ein Grund dafür, daß die Meßaufbauten leicht in geschirmten Räumen unterzubringen sind [6]. Statt bewertender Anzeigen wird fast immer der Spitzenwertgleichrichter verwendet. Ausnahmen sind die französische Norm GAM EG 13, die für Schmalbandstörungen den Effektivwertgleichrichter vorschreibt, und die deutschen VG-Normen, die dafür den Mittelwertgleichrichter anordnen.

Ein besonderes Problem der Messung nach militärischen Normen ist die Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörungen im Frequenzbereich 10 kHz bis 1000 MHz. Die amerikanischen MIL-STDs 461 A, B und C enthalten Grenzwerte für Schmal- und Breitbandstörungen. MIL-STD 462 (1967) legt fest, daß im Zweifelsfall zwei Tests durchzuführen sind:

1. die Verstimmung des Empfängers um plus/minus zwei Impulsbandbreiten,

2. ein Vergleich der Pulsfrequenz der Störung mit der Impulsbandbreite.

Leider ist die Impulsbandbreite nicht festgelegt; zur Orientierung bei ihrer Wahl wurde eine MIL-STD-462-Application-Note herausgegeben [7], die das Problem lösen könnte, wenn es Empfänger mit kontinuierlich einstellbaren Bandbreiten gäbe. Auf der anderen Seite legt MIL-STD 462 Notice 3 (gültig für US Army) für jeden Frequenzbereich eine Grenzpulsfrequenz und die Methode der Bandbreitenumschaltung zur Schmalband-Breitband-Unterscheidung fest. Damit ist die Impulsbandbreite für den Bereich der US Army annähernd definiert.

Dieser Situation wird die Meßsoftware EZM-K1 mit drei **Methoden zur Schmalband-Breitband-Unterscheidung** gerecht:

- Verstimmungsmethode nach MIL-STD 462,
- Vergleich von Spitzenwert und Mittelwert als ein Äquivalent für den Vergleich der Impulsbandbreite mit der Pulsfrequenz der Störung,
- Bandbreitenumschaltung nach MIL-STD 462 Notice 3.

BILD 14 zeigt den kritischen Fall einer Schmalbandstörung (unmoduliertes Sinussignal) mit überlagerter Breitbandstörung (100-Hz-Pulssignal). Die Schmalbandstörung darf nicht übersehen werden, weil sie ja den Schmalbandgrenzwert (Grenzwert 0) überschreitet.

Bei der Unterscheidung wird folgendermaßen verfahren: Mit für jeden Frequenzbereich getrennt festgelegter Bandbreite und dem Spitzenwertgleichrichter wird vorgemessen. Damit keine Schmalbandstörungen übersehen werden, werden mit Hilfe der Akzeptanzanalyse alle Frequenzen mit einem Spitzenwert in der Nähe des Schmalbandgrenzwertes herausgesucht und nach der gewählten Unterscheidungsmethode untersucht.

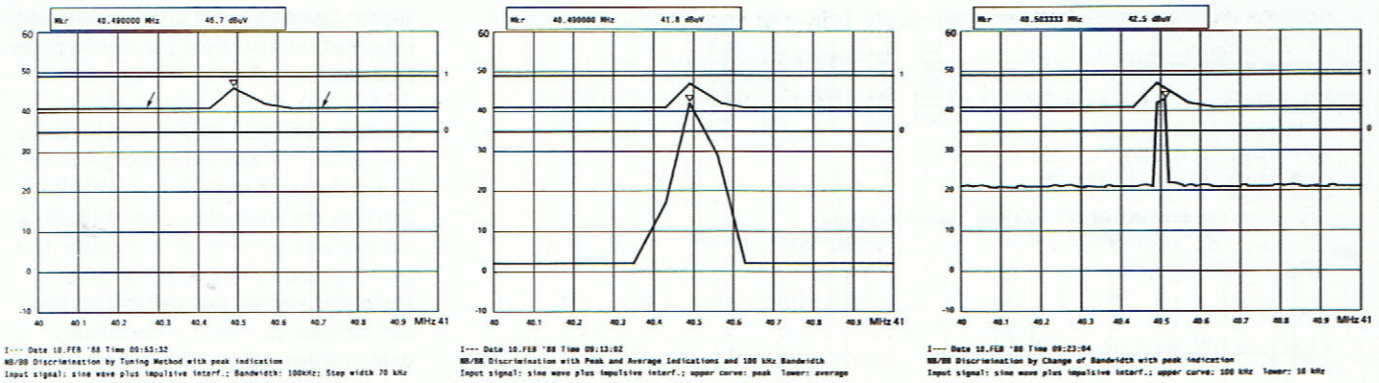


BILD 14 Unterscheidung von Schmalband- und Breitbandstörern nach verschiedenen Methoden.
Links: Frequenzverstimmung. Das Spektrum wurde mit 100 kHz Bandbreite und Spitzenwertgleichrichter gemessen. Die Pfeile markieren das Spektrum in 200 kHz Abstand von der Schmalbandstörung.
Mitte: Vergleich von Spitzen- und Mittelwert. Das Kriterium zur Unterscheidung von Schmal- und Breitbandstörung muß relativ grob gehalten werden, weil durch Überlagerung der beiden Störungen eine Erhöhung des Spitzenwerts von etwa 6 dB zustandekommt.
Rechts: Umschaltung der Meßbandbreite. Die obere Kurve zeigt das mit Spitzenwertgleichrichter und 100 kHz Bandbreite gemessene Spektrum, die untere das mit 10 kHz Bandbreite gemessene Spektrum.

Künftig zu erwartende Vorschriften basieren auf dem 1984 veröffentlichten MIL-STD-462-B-Entwurf; dort werden die Meßbandbreiten bereichsweise festgelegt, auf eine Schmalband-Breitband-Unterscheidung wird verzichtet. Dies ist auch nach dem britischen DEF-STAN 59-41 (in Kraft seit 1985) der Fall. Die in beiden Normen geforderten Meßbandbreiten bietet das Störmeßsystem EP-6 von Rohde & Schwarz. Auf der anderen Seite bleiben in den deutschen VG-Normen 95370 bis 95377 die Begriffe Schmal- und Breitbandstörung sicher erhalten. Sowohl Breit- als auch Schmalband-Meßbandbreiten sind festgelegt. Ferner dient der Spitzenwertgleichrichter zur Messung von Breitbandstörungen und der Mittelwertgleichrichter zur Messung von Schmalbandstörungen. Für die sehr niedrige Grenzwertklasse 1 ist aber aus physikalischen Gründen eine Messung mit Datenreduktion nicht möglich, weil die Rauschanzeige des Meßsystems bei Spitzenwertanzeige und den wesentlich größeren Breitband-Meßbandbreiten bereits weit über den Schmalbandgrenzwerten liegt. Man kann ja nur dann Meßzeit sparen, wenn die Bereiche der mit der Breitband-Meßbandbreite gemessenen Störung, die den Schmalbandgrenzwert überschreiten, klein sind gegenüber dem Gesamtspektrum.

4.2 Messung leitungsgeführter Störgrößen

Unter dem Begriff leitungsgeführte Störgrößen verbergen sich der Störstrom und die Störspannung auf Stromversorgungs-, Signal- und Steuerleitungen elektrischer und elektronischer Komponenten von Systemen. Zur Messung von Störströmen dienen HF-Stromwandler (ESH 2-Z1, ESV-Z1), als Ankoppelnetzwerke zur Störspannungsmessung Netznachbildungen. Bevorzugte Netznachbildung für Stromversorgungsleitungen ist die niederohmige V-Netznachbildung 5 µH || 50 Ω (ESH 3-Z6). In den VG-Normen sind aber auch die Netznachbildung 50 µH || 50 Ω (z. B. ESH 2-Z5) und die T-Netznachbildung (ESH 3-Z4) enthalten. EMV-Labors verfügen über viele Meßwandler (Stromwandler, Feldsonden und Antennen). Mit Hilfe der Transducer Library der Software EZM-K1 können die in den Spezifikations-Files definierten Default-Datensätze durch den Datensatz des gerade verfügbaren Meßwandlers ersetzt werden.

Der Meßaufbau ist einfach (BILD 15). Im allgemeinen sind die Messungen auf jeder Leitung separat zu protokollieren, so daß sich eine automatische Ermittlung der Leitung mit maximaler Störgröße erübrigt. Damit vereinfacht sich aber auch die Automatisierung. HF-Stromwandler haben geringe Rückwirkung auf den zu messenden HF-Strom. Deshalb kann ein niederfrequenter Stromwandler (ESH 2-Z1) an den Meßempfänger ESH 3 und ein hochfrequenter (ESV-Z1) an den ESVP angeschlossen sein. Mit einem simultanen Scan beider Meßempfänger [8], den der Spectrum Monitor EZM anbietet, wird der Meßablauf beschleunigt.

Der Frequenzbereich, in dem geleitete Störungen zu messen sind, erstreckt sich bei den MIL-STDs von 30 Hz bis 50 MHz, bei den VG-Normen bis 100 MHz. Unter 15 kHz (10 kHz bei VG-Normen) gibt es jeweils nur einen Grenzwert. Schmalband-Breitband-Unterscheidungen sind dort nicht gefordert. Sie sind durchführbar mit den Modellen 56 von ESH 3 und EZM (enthalten im Meßsystem EP-6) mit der HF-ZF-Analyse des EZM. Oberhalb von 10 (bzw. 15) kHz muß das Programm Schmal- und Breitbandstörungen unterscheiden können, es muß aber auch neuen Normen ohne diese Unterscheidung genügen. Daher bieten die Spezifikations-Menüs der MIL-Programme eine ganze Reihe von Möglichkeiten:

- keine Akzeptanzanalyse, wenn der Anwender nur das Störspektrum aufgezeichnet haben will,
- keine Schmalband-Breitband-Unter-

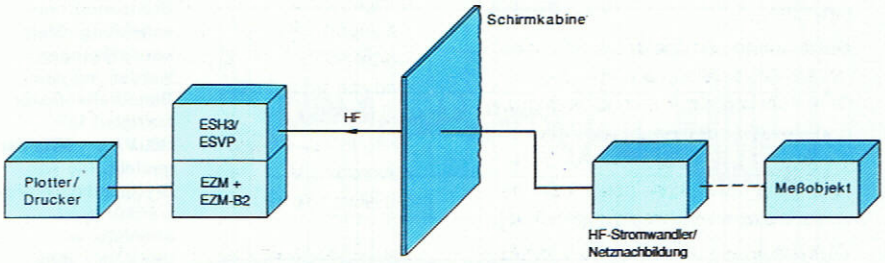


BILD 15 Anordnung zur Messung leitungsgeführter Störgrößen.

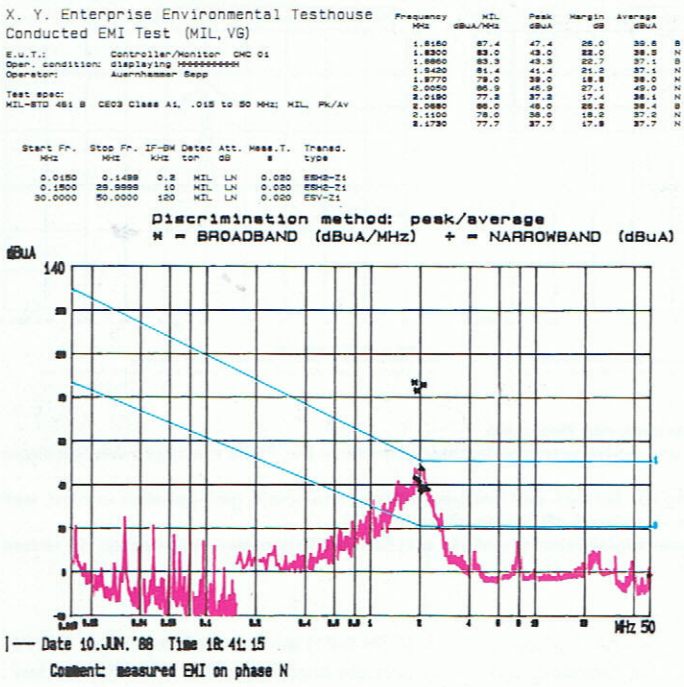


BILD 16 Ergebnis einer Störstrommessung mit Schmalband-Breitband-Unterscheidung. Der Test-Report enthält auch die Einstelldaten der Meßempfänger und den Meßwandlertyp.

scheidung, jedoch eine Akzeptanzanalyse, wodurch bei Normen ohne diese Unterscheidung eine Liste der Emissions-Maxima entsteht,

- Schmalband-Breitband-Unterscheidung mit der Verstimmungsmethode,
- Schmalband-Breitband-Unterscheidung durch Vergleich von Spitzen- und Mittelwert (BILD 16),
- Schmalband-Breitband-Unterscheidung durch Umschaltung der Meßbandbreite.

4.3 Messung abgestrahlter Störungen

Mit der Messung abgestrahlter Störungen wird in militärischen Normen die Messung der **magnetischen oder elektrischen Komponente des elektromagnetischen Feldes** bezeichnet. Im Bereich 20 Hz bis 50 kHz dienen Feldspulen, im Bereich 10 kHz bis 30 MHz Rahmenantennen (nur in VG-Normen) zur Messung des magnetischen Feldes. Zur Messung des elektrischen Feldes im Bereich 10 kHz bis 30 MHz wird eine Stabantenne eingesetzt. Im Bereich 30 bis 200 MHz finden bikonische, im Bereich 200 bis 1000 MHz logarithmisch-periodische (VG-Normen) oder konisch-logarithmische Spiralantennen Verwendung, wobei man jedoch nicht mehr von Feldkomponenten sprechen kann, weil Dipolantennen für die elektrische und die magnetische Komponente gleichermaßen empfindlich sind, wenn ihre Abmessungen im Bereich der halben Wellenlänge liegen. Oberhalb von 1 GHz dienen ebenfalls Breitbandantennen zur Messung der Feldstärke.

Die Abmessungen der Antennen und die **Meßaufbauten** sind genau vorgeschrieben. Bei Antennen für lineare Polarisation sind die horizontale und vertikale Komponente des Feldes zu messen. Nur eine Antenne kann jeweils vor dem Meßobjekt stehen. Die Meßabläufe werden deshalb zum Antennenwechsel unterbrochen. Vor Beginn der Messung ist die Ausrichtung des Meßobjekts für maximale Störstrahlung zu finden. Unter anderem dafür dient auch die HF-ZF-Analyse des Spectrum Monitors EZM (enthalten im Quick-Look-Mode). Auch hier gibt es die Schmalband-Breitband-Unterscheidung nicht unter 10 (14) kHz, sondern nur im Bereich 10 (14) kHz bis 1000 MHz (BILD 17). Die Spezifikations-Menüs bieten daher dieselbe Auswahl wie bei der Messung geleiteter Störungen.

Manfred Stecher

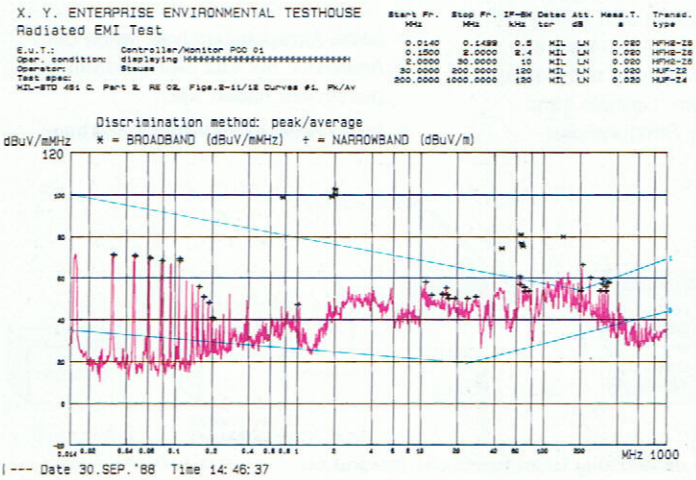


BILD 17 Ergebnis einer Funkstörfeldstärkemessung mit Schmalband-Breitband-Unterscheidung. Breitbandstörungen werden mit dem Bandbreitenfaktor korrigiert in dBµV/m · MHz dargestellt. Die Breitbandstörgrenzwertkurve ist ebenfalls in dBµV/m · MHz eingetragen.

LITERATUR

[1] Stecher. M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. Neues von Rohde & Schwarz (1986) Nr. 115, S. 8 – 12.

[2] Pohn, E.; Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM mit Controller-Funktion. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 119, S. 15 – 19.

[3] Stecher, M.: Netznachbildungen für die Störmeßtechnik. Neues von Rohde & Schwarz (1987) Nr. 117, S. 15 – 19.

[4] Miura, T.; Watanabe, T.; Ono, N.; Ishino, K.: Size reduction of an indoor EMC test site. Proc. of the 1984 Int. Symp. on EMC, Tokio.

[5] Maeda, A.; Ueyama, T.: Note on EMI measurement on open field test site (5) – Optimum antenna height for EMI sweep search measurement over a wide frequency band. Proc. of the 1988 Int. Symp. on EMC, Seattle.

[6] Göpel, K.-D.: Greding – Europas größtes und modernstes EMV-Testzentrum. Neues von Rohde & Schwarz (1989) Nr. 125, S. 44 – 46.

[7] MIL-STD-462-Application-Note: Identification of broadband and narrowband emissions. Mai 1980.

[8] Stecher, M.: Intelligente Meßempfänger in Störmeßsystemen. Neues von Rohde & Schwarz Special 1 (1985), S. 54 – 57.

Meßsystem für mobile Feldstärkeregistrierung

Für die mobile Feldstärkeerfassung im Frequenzbereich von **20 bis 1300 MHz**, speziell für die **Erfassung der Versorgungsgebiete moderner Mobilfunknetze** im Straßen- und Schienenverkehr, wurde das Meßsystem TS 9950 entwickelt. Es erlaubt die statistische Auswertung und grafische Darstellung der gewonnenen Feldstärkemeßwerte als mehrfarbige Kurve über der Landkarte bzw. als Kurvenschar für die Medianwerte in einem kartesischen Diagramm. Durch Weiterverarbeitung der Feldstärkekurven erhält man die Versorgungszonen für definierte Mindestfeldstärken als Flächen über der Landkarte.

Vor Installation eines Mobilfunknetzes ermitteln komplexe Simulationsprogramme die optimalen Aufstellungsorte für die Feststationen. Es werden dabei die Topografie der Versorgungszone, der Frequenzbereich sowie Art und Höhe der Sendeantennenanordnung berücksichtigt. Zur **Kontrolle der realen Versorgungslage** müssen dann mit einem mobilen Feldstärkeerfassungssystem vor allem die Gebiete abgefahren werden, für die das Simulationsprogramm **kritische Empfangsverhältnisse** voraussagt. Diese mobile Meßeinrichtung muß zumindest folgenden Anforderungen entsprechen:

- lückenlose Feldstärkeerfassung auch bei schneller Fahrt,

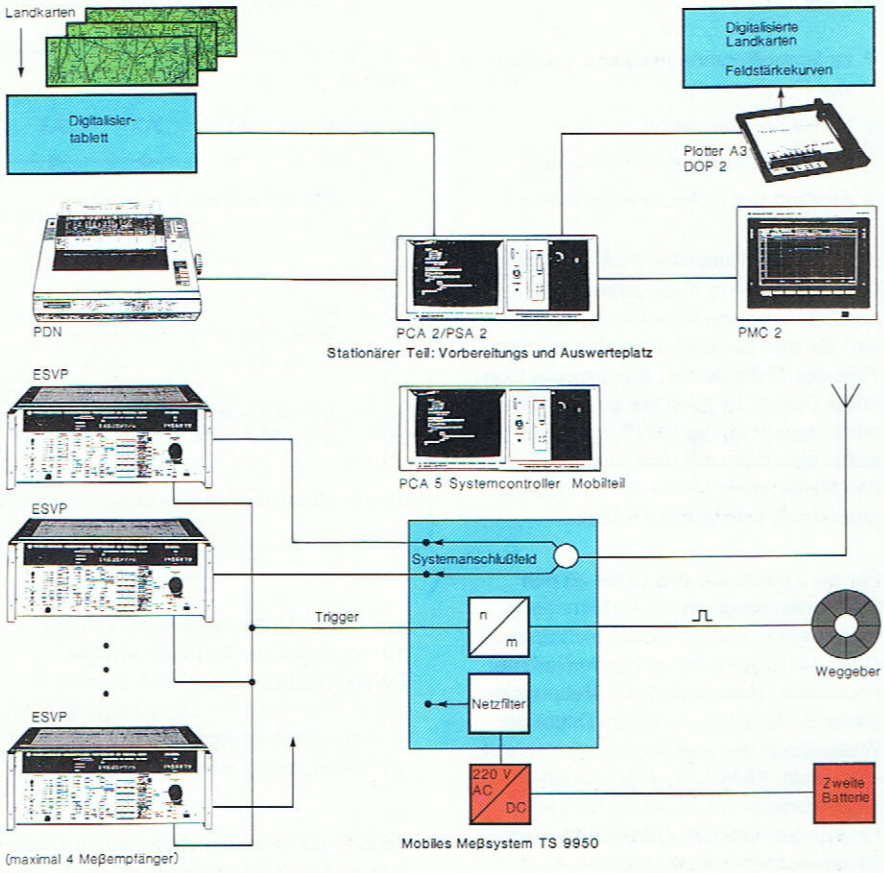


BILD 1 Meßsystem TS 9950 für mobile Feldstärkeregistrierung.

BILD 2 Stationärer Teil des automatischen Meßplatzes zur Feldstärkeregistrierung.

- hohe Meßdynamik bei guter Genauigkeit,
- Meßpunkte bei ca. je ⅓ Wellenlänge des zu kontrollierenden Funknetzes (Datenfunk!),
- eindeutige Ortszuweisung, auch in Tunnels und U-Bahnschächten,
- einfache Bedienbarkeit während der Testfahrt.

Um diese Anforderungen mit einer **kompakten Meßeinrichtung** zu erfüllen, kommt es zu einer Aufteilung in ein mobiles Meßsystem und in einen stationären Vorbereitungs- und Auswerteplatz. Das Meßsystem TS 9950 (BILD 1) von Rohde & Schwarz ist nach diesen Vorgaben konzipiert und eröffnet daneben noch weitere Einsatzmöglichkeiten.

Während der Vorbereitungsphase werden anhand von Landkarten beliebigen Maßstabes interessierende Zonen ausge-

sucht, Meßfahrten zu Meßtouren zusammengelegt und die Meßfahrten auf einem großformatigen Digitalisiertablett definiert (BILD 2). Neben den kartografischen Daten werden weitere Informationen wie

- zu kontrollierende Frequenz (bis zu vier Frequenzen),
- Name der Feststation,
- Länge der Auswerteintervalle und
- Abstand der Meßpunkte ($\leq \lambda/3$)

dem Process Controller PCA 2 im menügeführten Dialog eingegeben. Das Ergebnis sind sogenannte „Fahrtdisketten" für den Steuerrechner des mobilen Teils des Meßsystems, den Process Controller PCA 5. Er kann bis zu vier Meßempfänger vom Typ ESVP verwalten, wobei sich dann mit dem mobilen Teil des Meßsystems bis zu vier Frequenzen gleichzeitig kontrollieren lassen.

Für die Zuordnung des Ortes zu den Meßwerten sorgt ein im Meßfahrzeug eingebauter hochpräziser, eichbarer Drehimpulsgeber mit programmierbarer Impulsrate. Hiermit wird der Meßpunkteabstand, der bei etwa einem Drittel der Wellenlänge der Meßfrequenz liegen soll, eingestellt. Elektronik, Antennenanschlußverteiler (serienmäßig für zwei Empfänger) und der Anschluß für den Sinuswechselspannungsrichter sind in einem 19''-Gestell eingebaut, das vibrationsarm im Meßfahrzeug montiert ist.

Als Meßantenne dient vorzugsweise diejenige Antenne, die auch im zu kontrollierenden Mobilfunknetz verwendet wird. Mit einem zudem praxisnah gewählten Montageort lassen sich realitätsnahe Empfangsverhältnisse bereits von der Antennenseite her gewährleisten.

Der Meßablauf

Zu Beginn der Testfahrt wird das Meßfahrzeug an den Startpunkt gebracht und die „Fahrtdiskette" eingelesen. Die angewandte Meßmethode beruht nicht darauf, daß einzelne Meßwerte pro Meßpunkt in den Rechner eingelesen werden, sondern es startet im Meßempfänger ESVP eine automatische Meßroutine, die pro Auswertestrecke nur ein Datenpaket als Ergebnis liefert.

Dieses Datenpaket beschreibt die Pegelüberschreitungs-Wahrscheinlichkeiten für gemessene Feldstärkepegelwerte in Form von Prozentzahlen, z.B. 1 %, 50 % oder 99 % für eine gegebene Wegstrecke von 50, 100 oder 200 m. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß selbst bei Fahrgeschwindigkeiten von 120 km/h und einem Meßpunktabstand von nur 10 cm durch die im ESVP erfolgte Datenreduktion immer noch eine Meßdynamik von 60 dB zur Verfügung steht und der Rechner nicht mit einer Vielzahl von Daten belegt wird.

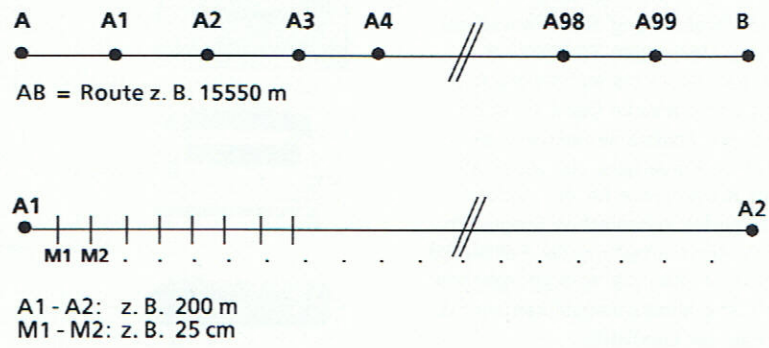


BILD 3 Zusammenhang zwischen Wegstrecke, Abstand der Meßpunkte und Auswerteintervalle.

Jede Einzelmessung startet durch einen Impuls des Drehimpulsgebers direkt am Triggereingang des oder der Meßempfänger ESVP. Somit entspricht das Meßergebnis von beispielsweise vier parallel arbeitenden Meßempfängern exakt den Feldstärkeverhältnissen am Ort der Aufnahme. Den Zusammenhang zwischen Wegstrecke, Abstand der Meßpunkte und Auswerteintervalle verdeutlicht BILD 3.

Nach Beendigung der Meßfahrt wird die „Fahrtdiskette" zur Aufzeichnung der Ergebnisdaten wieder in den Prozesscontroller eingeführt. Der Process Controller PCA 5 verfügt über einen RAM-Speicher von rund 1 MByte, von dem sich ein Großteil als RAM-Disk konfigurieren läßt. Damit vermeidet man, die Diskette während der Fahrt beschreiben zu müssen, was sonst wegen möglicher Vibrationen und Stöße nicht unproblematisch wäre.

Neben der Methode der reinen Streckendistanzzuordnung zu digitalisierten Landkarten wurden auch andere Ortungsverfahren untersucht, die beispielsweise auf der Nutzung des Erdmagnetfeldes oder des Global Positioning Systems (GPS) beruhen. Wegen mangelnder weltweiter Einführung oder der Probleme in Tunnels, U-Bahnschächten oder in der Nähe von großen Metallkonstruktionen mußten diese Verfahren unberücksichtigt bleiben. Trägheitsnavigationssysteme könnten Verwendung finden, allerdings zu einem sehr hohen Preis.

Die Auswertung

Nach den Meßfahrten sind alle Ergebnisse auf den entsprechenden „Fahrtdisketten" abgelegt; die Auswertung erfolgt nun nach beliebigen Vorgaben am Vorbereitungs- und Auswerteplatz.

In der Auswertephase werden die Meßwerte statistisch verarbeitet und über einen Plotter entlang der digitalisierten Routen eingetragen (BILD 4). Dabei erfolgt nur an den Teilen einer Route ein Eintrag, an denen ein bestimmter Feldstärkepegel erreicht oder überschritten wird. Bei ausreichender Anzahl an vermessenen Routen sind die Feldstärkeverläufe deutlich zu erkennen. Im Falle einer farbigen Abstufung unterschiedlicher Sollpegelwerte der Feldstärke lassen sich Pegelübergänge von Versorgungsinseln hin zu Störfeldzonen gut verfolgen.

Neben einer kartografischen Auswertung liefert das System auch kartesische Diagramme: Feldstärke über der Strecke – wobei drei Medianwerte vorgewählt werden können, z.B. 1 %, 50 %, 99 % (BILD 5). Derartige Meßkurven lassen sich auch von zuvor nicht digitalisierten Strecken erzeugen. Dies ist beispiels-

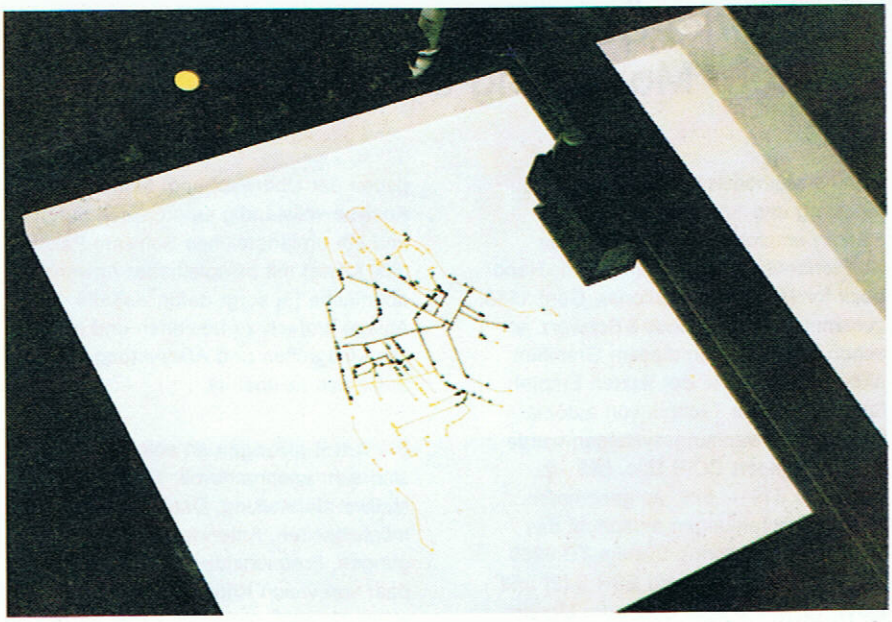


BILD 4 Vom Plotter aufgezeichnete Feldstärkeverläufe entlang der vermessenen Straßenzüge. Fotos: Röhrich

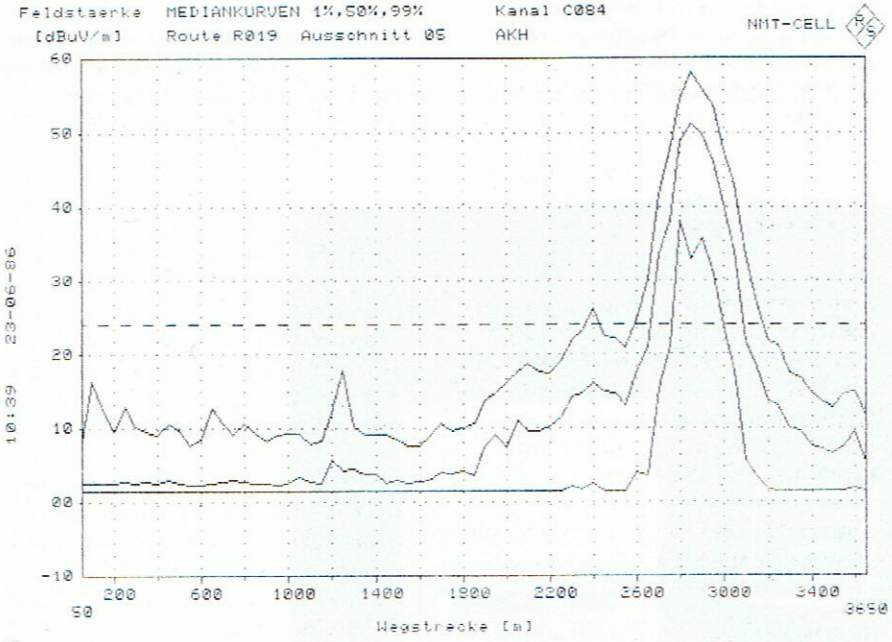


BILD 5 Feldstärkediagramm entlang einer Wegstrecke. Die obere Pegelkurve entspricht dem 1 %-Wert (d.h., 1 % aller Feldstärkemeßwerte war größer oder gleich dem eingezeichneten Pegelwert). Die mittlere Kurve entspricht dem 50 %-Wert, die untere dem 90 %-Wert. Damit lagen 98 % aller Feldstärkemeßwerte im Bereich zwischen oberer und unterer Kurve.

weise dann von Vorteil, wenn sich während einer Meßfahrt herausstellt, daß Zusatzmessungen notwendig sind oder eine geplante Strecke nicht befahrbar ist. Man erhält somit einen Anhaltspunkt über die an der Wegstrecke herrschenden Feldstärkeverhältnisse. Diese Methode wird allgemein bei Messungen von schienengebundenen Fahrzeugen (Zugbahnfunk) aus angewandt, da hier die Streckenführung durch das Schienennetz eindeutig festgelegt ist.

Das Auswerteprogramm erlaubt – wie schon erwähnt – die Darstellung des Felstärkepegels entlang der digitalisierten und gemessenen Straßenstücke. In diese Darstellung werden von Hand Versorgungsgebiete eingezeichnet, die mehrere Straßenstücke überspannen. Solche Versorgungsgebiete lassen sich wieder digitalisieren und vom Plotter ausgeben, wobei eine Umrechnung von Maßstäben möglich ist. Am Ende entstehen Karten mit eingezeichneten Gesamtversorgungsgebieten der Sender.

Außer den hier gezeigten Anwendungen für die Feldstärkeermittlung in Mobilfunknetzen, Zugbahnfunknetzen und U-Bahnen kommt das Meßsystem TS 9950 auch für **Feldstärkemessungen in AM/FM-Rundfunknetzen** in Betracht. In diesem Fall wird der Meßsender ESH 3 (9 kHz bis 30 MHz) für die Erfassung von Feldstärken in Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich eingesetzt.

Hans-Joachim Jonas

Feldstärke-Überwachung mit dem Monitoring-System TS 9960

Welche Methoden zur Überwachung, Messung und Analyse von Nutzfeldstärken empfohlen werden, hat das XI. Plenar-Gremium des CCIR im »Handbook for Monitoring Stations«, Genf 1968, zusammengefaßt. Rohde & Schwarz ist schon Jahrzehnte in diesem Gremium aktiv tätig [1]. Eine der letzten Empfehlungen über die Technik von automatischen Überwachungssystemen wurde im CCIR-Report CCIR Rec. 668 – 2, 1986, pp. 519 – 529, aufgenommen. Diesen Empfehlungen entspricht das Feldstärke-Monitoring-System TS 9960 mit den Meßempfängern ESH 3 [2] und ESVP [3] sowie dem Spectrum Monitor EZM [4]. Außerdem lassen sich als Empfänger auch die Geräte ESM 500, ESM 1000 sowie der Communications & Spectrum Analyzer FSAC (100 kHz bis 2 GHz) einsetzen.

Das Meßsystem (BILD 1) führt die Aufgaben der Überwachung, Messung und Analyse vollständig automatisch durch, und ein umfangreiches Software-Paket (600 kByte) mit beispielhafter Anwenderoberfläche [5] sorgt dafür, daß die Anlage einfach zu bedienen und bezüglich Meßgrößen und Auswertung außerordentlich flexibel ist.

Die **Anforderungen** an solche Systeme sind sehr anspruchsvoll: Meßbetriebsart, Meßwertdarstellung, Datenbank, Analysemöglichkeiten, Antennenwahl, Zeitbedingungen, Frequenztabellen sind nur ein paar von vielen Kriterien, die zu berücksichtigen sind, ohne daß dabei die Bedienung zu kompliziert wird.

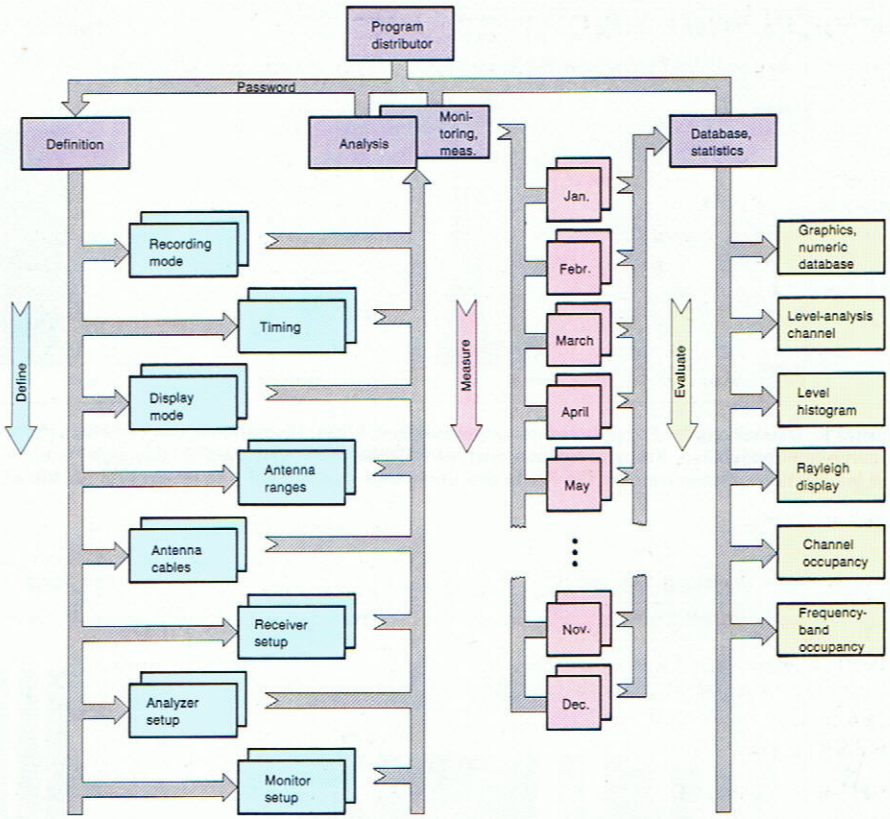
Die **Software-Struktur** des Feldstärke-Monitoring-Systems TS 9960 garantiert eine verständliche Bedieneroberfläche (BILD 2). Deutlich erkennbar ist die horizontale Struktur der Betriebsphasen Definieren, Messen, Auswerten.

Die **Definition** wird über „Editor-Tableaus" durchgeführt, die Systemparameter in passende Gruppen zusammenfassen. Der zuletzt eingestellte Betriebszustand des Systems (etwa 200 Parameter) wird immer gesichert und bei Inbetriebnahme automatisch geladen. Das TS 9960 hat zwölf Editor-Tableaus (z. B. Display Mode, Timing, Recording Mode, Antenna Types, Monitor Setup), mit deren Hilfe sich eine umfangreiche Betriebsdatenbank erstellen läßt. BILD 3 zeigt als Beispiel zwei Editor-Tableaus für „Timing & Recording" und „Antennas & Range".

Das **Meß- und Überwachungsprogramm** speichert die Meßdaten (Zweifach-Datenreduktion) in der Meßdatenbank. Befindet sich diese auf einem Host-Rechner

BILD 1 Feldstärke-Überwachungs-System TS 9960 für den Frequenzbereich 9 kHz bis 1300 MHz.

BILD 2
Software-Struktur des Feldstärke-Überwachungs-Systems TS 9960.
Blau: Betriebsdatenbank.
Rot: Meßdatenbank.
Gelb: Auswerteprogramme.



(z. B. PCA), kann die Auswertung der Meßdaten ohne Unterbrechung des Meßbetriebs durchgeführt werden.

Über das Auswerteprogramm können die Meßdaten beliebig aufbereitet und dargestellt werden. Die Möglichkeiten des Systems TS 9960 umfassen hier

- grafische und numerische Datenbank,
- Pegelschwankungsanalyse für beliebige Kanäle (grafisch),
- Histogramm für Pegelüberschreitungshäufigkeiten,
- Rayleigh-Funktion, Aussendungs-Qualität (grafisch),
- Kanalbelegung monatlich/jährlich (grafisch),
- Frequenzbandbelegung (grafisch).

SETUP	TIMING & RECORDING	File : TEST
TYPE	INPUT DATA	Help and input data range
Start Time	09:30:00	hh:mm:ss,immediately
Stop Time	16:00:00	hh:mm:ss,indefinite
Repetition	continous	hh:mm:ss,continous, or single shot
Autostart	On	On,Off
Data reduce	15 dBuV/m	exceeding Level, Off
PCA screen	GPH-3D	GPH-2D,GPH-3D [GRAPHICS]
Mass storage	On	On,Off
Printer	Off	Graphics,Numerics,Off
Plotter	Off	On,Off [EZM control]

SETUP	ANTENNAS & RANGE	File : TEST1
TYPE	INPUT DATA	Help and input data range
1.range	20-60,HUF-Z1	Frq1-Frq2,Antenna_type (*)
2.range	60-120,HE115v	MHz -MHz (see below)
3.range	120-180,HE115h	enter END [if ready]
4.range	200-500,HW005	
5.range	500-850,HL023	You may enter any comment
6.range	950-1250,HL023	after Antenna_type :
7.range		
8.range		i.g. :
9.range		20-80,HUF-Z1,Dipole
10.range		^comment

(*)-------->ANTENNA TYPES<----------(*)

HUF-Z1	20.. 80 MHz	HL023	80..1300 MHz
HE115v	20.. 200 MHz	HE115h	20.. 200 MHz
HW005	180..1000 MHz		

BILD 3 Editor-Tableaus. Links: Einstellung von Überwachungszeit und Aufzeichnungsmodus. Die Zeitangabe kann in h, min, s oder bezogen auf den Inbetriebnahme-Zeitpunkt erfolgen. Die Darstellung ist zwei- und dreidimensional (Wasserfall-Darstellung) möglich (mehrfarbig). Rechts: Einstellung der Antennen. Fünf beliebige Antennen können in zehn Bereichen wahlfrei eingesetzt werden. Frequenzgang der Kabel und Antennenfaktoren werden automatisch berücksichtigt.

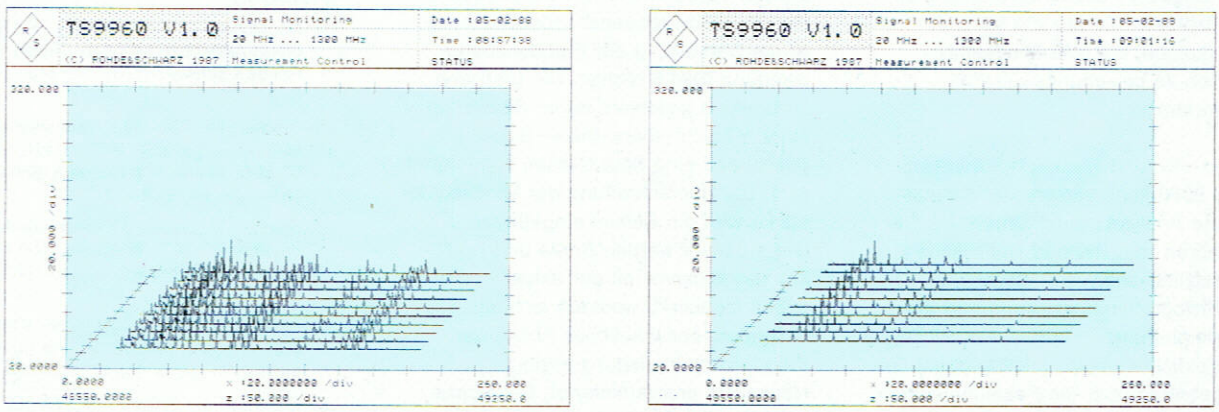


BILD 4 Dreidimensionale Feldstärkedarstellung. Links Aussendungen mit einer Mindestfeldstärke von 25 dBµV/m, rechts von 35 dBµV/m.

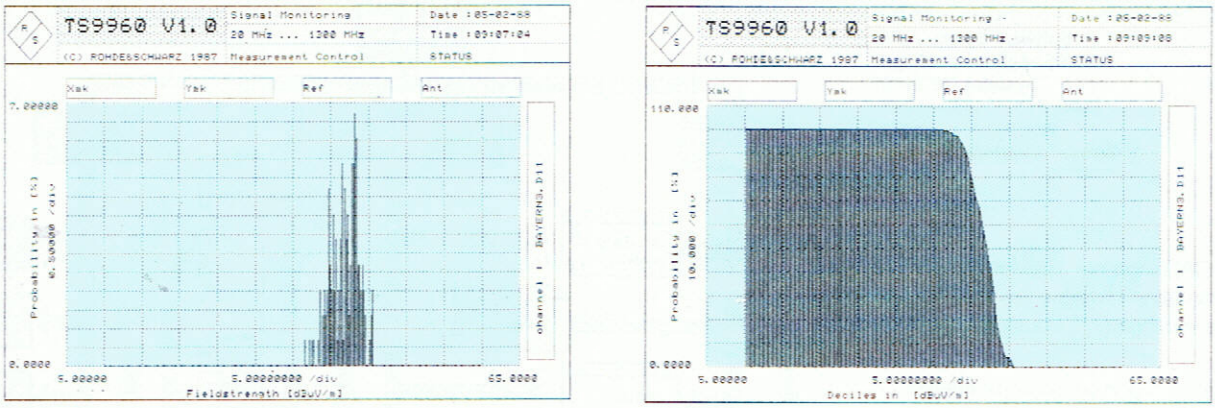


BILD 5 Darstellung der Pegelüberschreitungshäufigkeit. Links: Histogramm; die Verteilungsform erlaubt Rückschlüsse auf mögliche Störbeeinflussung durch Intermodulation, Kreuzmodulation oder statistische Störungen. Rechts: Rayleigh-Funktion; über grafische Cursor können alle Decile-Werte von 0 bis 100% abgelesen werden. Die Breite des Übergangs von 100 auf 0 % ist ein Maß für Störabstand und Qualität der Aussendung.

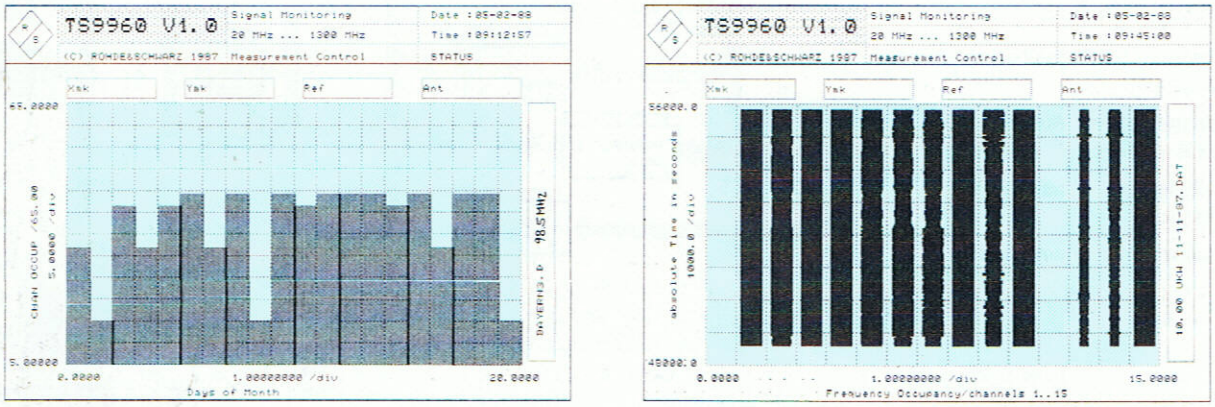


BILD 6 Links: Histogramm-Darstellung der Kanalbelegung für beliebige Kanäle. Als vorherrschende Feldstärke wird der statistische Wert der Pegelüberschreitungswahrscheinlichkeit (0 bis 100 %) herangezogen. Die zeitliche Auswertung kann sich über zwölf Monate erstrecken. Rechts: Frequenzbandbelegung durch Simulation eines YT-Schreibers. In vertikaler Richtung ist die Zeit aufgetragen, in horizontaler sind bis zu 15 Frequenzbänder darstellbar.

Die Darstellung der Analyseergebnisse mit Farbgrafik macht deren Interpretation besonders einfach. Einige Beispiele mögen die Vielseitigkeit der Auswertung des Systems TS 9960 demonstrieren.

Grafische Datenbank: Die Meßdaten des Überwachungsprogramms können unter verschiedenen Kriterien dargestellt werden (z. B. Zeitausschnitt, Pegelschwelle). BILD 4 zeigt die Feldstärkeverteilung im Frequenzbereich 20 bis 200 MHz für Aussendungen, die eine Mindestfeldstärke von 25 beziehungsweise 35 dBµV/m hatten.

Histogramm- und Rayleigh-Funktion: Das TS 9960 kann verschiedene kanalbezogene Analysen durchführen. Zu diesen gehören zeitliche und statistische Pegelstabilitätsanalysen. Letztere werden durch Histogramm-Darstellung und durch die Rayleigh-Funktion unterstützt (BILD 5). Die Pegeldichtefunktion (Histogramm) liefert Ergebnisse über die Pegelüberschreitungshäufigkeit, die Rayleigh-Funktion über Pegelüberschreitungswahrscheinlichkeit. Die Qualität der Aussendung (Kanal) ist so außerordentlich einfach zu analysieren.

Kanal- und Frequenzbandbelegung: Jeder beliebige Kanal kann statistisch tageweise, monatsweise oder jahreweise hinsichtlich seiner Kanalbelegung untersucht werden. BILD 6 links zeigt zum Beispiel die Kanalbelegung eines Senders bei 98,5 MHz während eines Monats. Ein wertvolles Instrument zur Frequenzplanung und Frequenzbandoptimierung ist die Darstellung der Frequenzbandbelegung (Bild 6 rechts). Die grafische Darstellung geschieht durch Simulation eines YT-Schreibers, indem jedem Frequenzband eine Spur (Nadel) zugeordnet wird. Bei Überschreitung der Mindestfeldstärke wird ein Balken eingetragen. Als Besonderheit werden Breite und Helligkeit des Balkens mit der aktuellen Feldstärke moduliert, wodurch sich ein besonders anschauliches Abbild der Frequenzbandbelegung ergibt.
Neben der programmierten Betriebsart des TS 9960 mit automatischem Ablauf ist auch eine quasimanuelle Betriebsart über die Bedieneroberfläche am Process Controller möglich, was für Einzeluntersuchungen sehr nützlich ist. Ein weiterer rein manueller Empfänger wie der ESM 500 kann – parallel zum programmierten Ablauf – zum Mithören, also zur akustischen Kontrolle, dienen.

Franz Dosch

LITERATUR

[1] Nedelchev, V.; Dabrowski, G.: R&S-Funkdienst-Aktivitäten im CCIR. Neues von Rohde & Schwarz (1986) Nr. 113, S. 34 – 35.

[2] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESH 3 für 10 kHz bis 30 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1980) Nr. 89, S. 8 – 12.

[3] Stecher, M.; Wolle, J.: Automatischer Meßempfänger ESVP für 20 bis 1300 MHz. Neues von Rohde & Schwarz (1983) Nr. 102, S. 4 – 8.

[4] Stecher, M.: Spectrum Monitor EZM für Funkkontrolle, Feldstärke- und Störmeßtechnik. In dieser Schrift S. 29 – 34.

[5] Dosch, F. A.: Softwaretools für IEC-Bus-Systeme. elektronikpraxis 23 (1988) Nr. 3, S. 30 – 38.

interviews

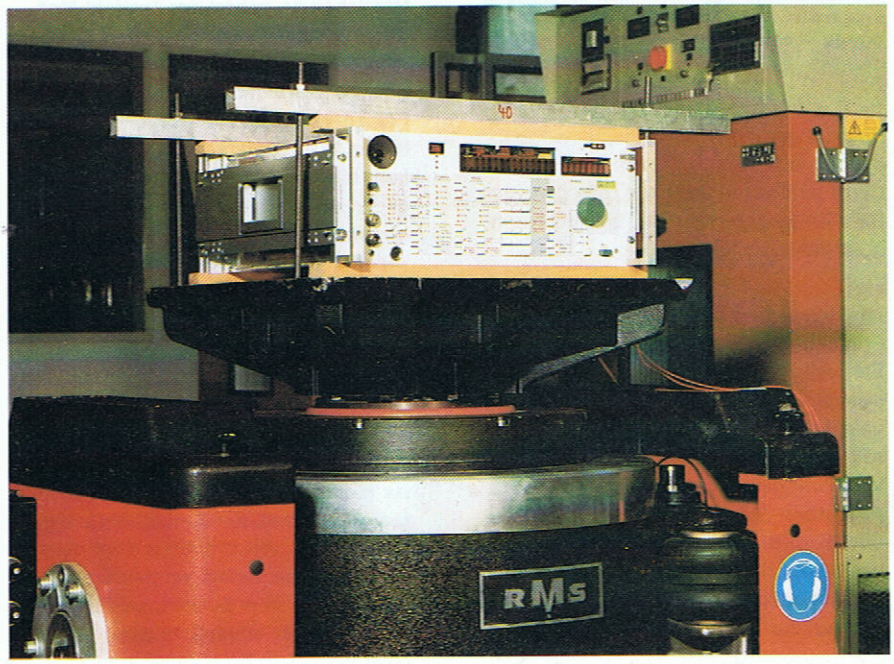
Nutz- und Störsignal-Meßgeräte von Rohde & Schwarz im praktischen Einsatz und im Urteil der Anwender – das ist der Inhalt der Interviews auf den folgenden Seiten. Doch zuvor noch ein Blick in das Münchner R&S-Umweltlabor, in dem alle Produkte von Rohde & Schwarz – natürlich auch Meßempfänger – harten Tests zur Sicherung der Qualität und Zuverlässigkeit unterzogen werden.

Das R&S-Umweltlabor
Ein harter Test für Meßempfänger

Produkteigenschaften wie **Qualität und Zuverlässigkeit** werden entscheidend von einem Entwicklungsprozeß festgelegt, der durch wachsende Komplexität der Produkte, Integration neuer Technologien und rapides Anwachsen des Softwareanteils gekennzeichnet ist. **Geplante Entwicklungsqualität** ist deshalb bei Rohde & Schwarz **Schwerpunkt der Qualitätssicherung.**

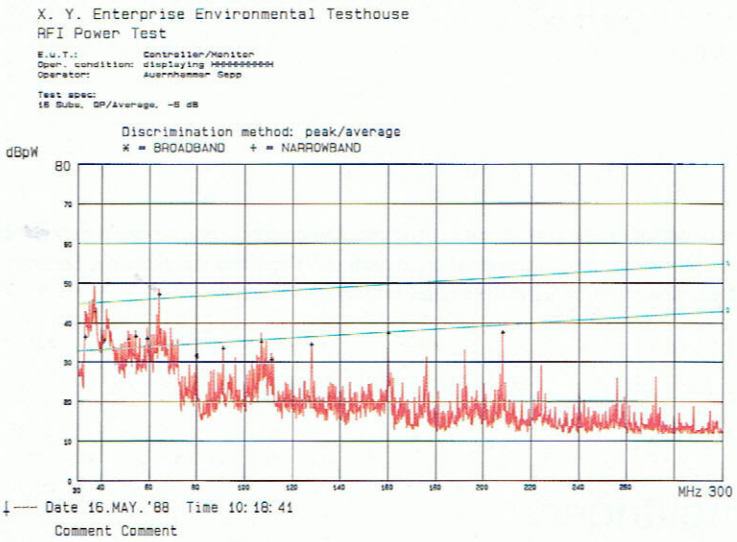
Alle Neuentwicklungen durchlaufen eine Standardfolge harter Umwelttests: Sie beinhalten hohe und tiefe Grenztemperaturen, Feuchte und Betauung, Vibration und Schockbelastung, Thermografie an Baugruppen und Geräten, und vor allem die **Elektromagnetische Verträglichkeit.** Zur Simulation dieser Belastung und der Durchführung entsprechender Analysen steht der Qualitätssicherung ein mit modernsten Anlagen ausgerüstetes **Prüflabor** zur Verfügung. Dipl.-Ing. Reinhard Klier, Spezialist im Qualitätssicherungsbereich EMV: „Der Ablauf ist hier folgendermaßen organisiert: Am Ende der Entwicklungsphase wird das Enwicklungsmuster eines neuen Gerätetyps einer sogenannten **Typprüfung 1** unterworfen. Hier muß der Nachweis erbracht werden, daß der für die Fertigungsfreigabe erforderliche Qualitätsstand erreicht ist. An einem ersten Gerät aus der sich anschließenden Fertigung werden in der sogenannten **Typprüfung II** nochmals alle Qualitätskriterien überprüft. Erst dann beginnt die Auslieferung des Produkts.

Dipl.-Ing. Reinhard Klier zeichnet im Bereich Qualitätssicherung für dem Komplex EMV verantwortlich.



Hier demonstriert ein auf dem Schüttler montierter Meßempfänger ESVP, daß solide Mechanik kein leeres Schlagwort ist für Rohde & Schwarz.

Weitere **Stichproben aus der Serienfertigung** gewährleisten die Einhaltung unserer Standards. Wir haben für unsere Geräte Hausvorschriften erarbeitet – zumeist aus internationalen Normen umgesetzte Vorschriften, nach denen wir Klima-, EMV- und andere Umweltprüfungen sowie auch Prüfungen zur mechanischen Stabilität durchführen. Mit diesen Maßnahmen sichern wir die Qualität unserer Produkte. Bei kundenspezifischen Entwicklungen prüfen wir darüber

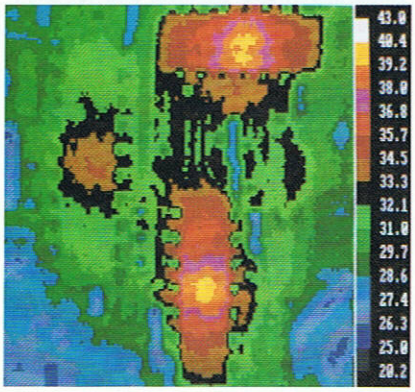


Das Spektrum der gemessenen Störemissionen wird mit einem Drucker oder Plotter dokumentiert.

hinaus nach den **vom Auftraggeber festgelegten Spezifikationen.**"

Was das Klima betrifft, so reicht der Spielraum bei Klimaschränken von – 75 °C bis 160 °C, bei Plusgraden auch in Kombination mit Feuchtigkeit. Für große Systeme oder komplette Gerätechargen steht ein **50-m³-Klimaraum** zur Verfügung. Und die Mechanik? Hier müssen die Prüflinge auf dem Schüttler – Frequenzbereich 5 Hz bis 2 kHz – Farbe bekennen. „Damit können wir unser gesamtes Gerätespektrum testen, vor allem auch solche Geräte, an die **im Einsatz auf Fahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen besondere Anforderungen gestellt werden.** Durch Rechnersteuerung können wir beliebige Belastungsprofile erzeugen und nach allen gängigen Normen wie **MIL, VG, DIN-IEC,** oder auch nach kundenspezifischen Wünschen prüfen. Aus den Reaktionen des Prüflings – die wir mit einem FFT-Analysator überwachen – ergibt sich dann, ob und wo er weiter optimiert werden kann."

Für EMV-Messungen stehen zwei Doppelkabinen von 4 m × 5 m × 3,5 m bzw. 4 m × 4 m × 2,5 m zur Verfügung; die größere ist mit 50-cm-Absorbern ausgestattet und mit Geräten für die **Emmissionsmessung von 20 Hz bis 18 GHz** bestückt. „Störfestigkeitsmessungen können wir derzeit im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 8 GHz durchführen und Feldstärken von bis zu 150 V/m in der Kabine erzeugen. Außerdem ist die entsprechende Ausrüstung vorhanden, um die Reaktion bei elektrostatischen



Der Infrarot-Meßkamera bleiben unerwünschte Wärmequellen – hier am Beispiel integrierter Schaltkreise auf einer Geräteplatine – nicht verborgen.

Entladungen oder bei Stoßspannungen, die aus dem Netz kommen, zu prüfen. Damit sind wir in der Lage, alle gängigen EMV-Prüfungen nach MIL und VG-Norm durchzuführen."

Im Gegensatz zum MIL-Bereich sind für Produkte des zivilen Marktes zur Zeit Störfestigkeitsanforderungen nur für wenige Gerätekategorien verbindlich festgelegt. Rohde & Schwarz hat daher schon seit Jahren eine hausinterne verbindliche Vorschrift geschaffen, nach der **an allen Produkten Störfestigkeitsprüfungen durchzuführen** sind. Diese Vorschrift basiert auf den MIL-Forderungen und berücksichtigt auch die neuen VDE-Normen zur Störfestigkeit.

Durch die beiden EMV-Kabinen wird alles „durchgeschleust", was R&S produziert. Da wird z. B. ein URV 5 samt Meßkopf einem Störfeld ausgesetzt, und man beobachtet – in einem möglichst empfindlichen Meßbereich – ob die Funktion durch das Störfeld beeinflußt wird. Bei Steuerrechnern ist die Gewährleistung der Störfestigkeit beispielsweise auch gegen elektrostatische Entladungen sehr wichtig. Die **hervorragende Störfestigkeit der R&S-Rechner** liegt u. a. auch daran, daß Rohde & Schwarz trotz höherem Fertigungsaufwand **Metallgehäuse** verwendet.

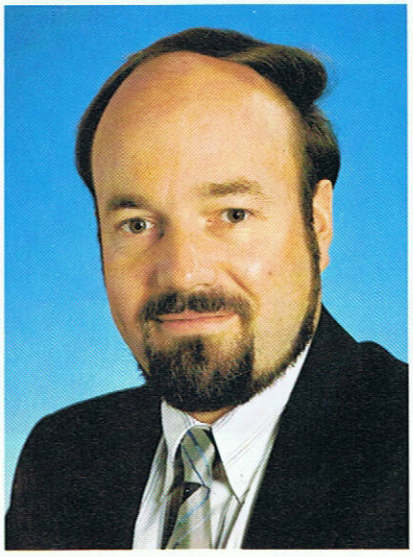
In der Entwicklungsphase eines Gerätes sind Messungen zur Optimierung von EMV-Maßnahmen notwendig, die sich in den oft elektromagnetisch „verseuchten" Entwicklungslabors nicht erfolgreich durchführen lassen. „Wir stellen dem Entwickler dann eine der beiden geschirmten Kabinen zur Verfügung und unterstützen ihn bei der Meßtechnik und mit unserer Erfahrung. Im Dialog mit dem Entwickler wird erreicht, daß das Gerät bei optimiertem EMV-Aufwand den Vorgaben entspricht. Unser Ziel ist es, **möglichst viel EMV-Wissen in die Entwicklung zu übertragen,** damit eine EMV-gerechte Konstruktion schon in einer frühen Phase der Geräteentwicklung realisiert wird." Denn Fehler hinterher zu beseitigen ist nicht nur schwierig, sondern geht vor allem in die Kosten. In diesem Sinne ist es eine wichtige Aufgabe, Entwickler zu schulen und Wissen weiterzugeben.

Mit zum Verantwortungsbereich Qualitätssicherung gehört der **Freifeld-Meßplatz in Memmingen,** wo die Funkstöreigenschaften der Geräte nach VDE gemessen werden. „Bisher ist der Freifeld-Meßplatz als **Standard-Meßplatz** in den VDE-Bestimmungen festgeschrieben, alle Messungen werden immer gegen einen Standard-Freifeld-Meßplatz gewertet. Bei Messungen in der Schirmkabine muß nachgewiesen werden, daß die Meßergebnisse korrelierbar sind mit Ergebnissen, die auf dem Freifeld-Meßplatz erreicht werden, was wegen der Reflexionen in der Kabine problematisch ist. Deshalb haben wir einen Freifeld-Meßplatz eingerichtet, der **vom ZZF abgenommen worden ist als anerkannter Meßplatz für Messungen an Empfängern gemäß der Amtsblattverfügung 527 (1979).** „Wir können unsere neuen Meßempfänger selbst vermessen und diesen dann eine Bundespost-Zulassungsnummer erteilen, müssen also nicht mit jedem Empfänger zum ZZF." Und dies ist nicht nur ein zeitlicher Vorteil für Rohde & Schwarz.

Das Forschungszentrum der Asea Brown Boveri AG
in Baden-Dättwil, eine gute EMV-Adresse

Groß in der Energietechnik, groß in der EMV

Unter den vielseitigen Aktivitäten des schweizerischen ABB-Konzern-Forschungszentrums wie Halbleiter- und Materialforschung, Studien im Bereich Computer und Kommunikation, Entwicklung neuer Siliziumtechnologien und vielem anderen kommt der EMV besonders große Bedeutung zu. Im **ABB EMI Control Center** wird konzernweit die EMV koordiniert. In diesem Bereich – er trägt die betriebsinterne Bezeichnung CRBE.4 – beschäftigen sich **Dr. Diethard Hansen** und seine Mitarbeiter sehr eingehend mit dem Komplex Elektromagnetische Verträglichkeit. Diese Arbeit gliedert sich im wesentlichen in die Bereiche **Theorieanalyse, Testhausbetrieb für interne und externe Aktivitäten, EMC-Seminare für ABB-Ingenieure und Externe,** sowie den **Bau von EMC-Testprodukten** (Prototypen). Dazu kommt noch die Tätigkeit in internationalen Normengremien.



Dr. Diethard Hansen ist Manager of ABB EMI Control Center (CRBE. 4) in Baden-Dättwil (Bild unten).

Gemäß dem umfangreichen ABB-Produktsortiment, das sich sehr stark mit der elektrischen Energietechnik beschäftigt, sieht sich Dr. Hansen oft im wahrsten Sinne des Wortes vor große Aufgaben gestellt: „Lokomotiven und Kraftwerke kommen nun mal nicht ins Labor, also müssen wir mit unseren Meßgeräten dorthin fahren." Mobilität ist auch im EMV-Bereich unabdingbar, und von den eingesetzten Meßgeräten wird entsprechende Robustheit erwartet.

Künftige EMV-Probleme im großen lassen sich aber zumeist vermeiden, wenn schon in der Entwicklungsabteilung und im Labor auf **EMV-gerechtes Design** geachtet wird; eine Aufgabe, der sich Dr. Hansen seit über 10 Jahren intensiv widmet. Eine besondere Vorliebe hegt er für breitbandige **TEM-Zellen** (Transversal Electro Magnetic) und vor allem für die von ihm und seinem Team entwickelte und patentierte **GTEM-Zelle** (Gigahertz-TEM). „Man trägt anfangs die Geräte aufs Freifeld und hat dann Schwierigkeiten, den Backgroundnoise nicht unterdrücken zu können; vom Wetter ganz abgesehen. In der GTEM-Zelle läßt sich dagegen wesentlich weiter herunter messen, zum Teil sind wir da **50 dB unter dem Noisefloor des Freifeldes,** was extrem empfindliche Tempest-Messungen erlaubt." Die GTEM-Zelle hat von der Bauart her – es gibt da eine ganze Familie – den Vorteil, daß man für jedes Meßobjekt die passende Größe finden kann. „Messe ich typisches Testequipment, wie es z. B. auch R&S benützt, dann nehme ich eine GTEM-1500. Viele Messungen haben wir damit schon gemacht, so auch am von uns eingesetzten R&S-PC, der ja ein Funkschutzzeichen trägt. Wir sind in der Lage zu beweisen, daß er es zu Recht trägt."

Bei ABB ist man aber **nicht nur im Frequenzbereich von 0 bis 18 GHz zu Hause, sondern auch im Zeitbereich.** „Bei Zeitbereichsmessungen an Equipment, das im Zeitbereich arbeitet wie beispielsweise ein Computer, sehen wir den Takt direkt in der GTEM-Zelle wie ein „Footprint", den das Meßobjekt im Sinne von elektromagnetischer Umweltverschmutzung in der Landschaft hinterläßt." Die GTEM-Zelle kann natürlich auch zur Einstrahlung benützt werden; gegenüber Feldvariationen von bis zu 54 dB in Schirmkabinen ohne Absorber (IEC 801-3) garantiert Dr. Hansen für seine TEM-Zellen nur ±3 bis maximal ±5 dB. „Damit können wir **Pulseinstrahlung mit EMP** machen. Da die Zelle im Zeitbereich und von der Frequenz Null an funktioniert, ist es ohne weiteres möglich, **pulsgetreu bis hin zum Picosekunden-Bereich** zu arbeiten. Die GTEM-1500 kann **bis 100 kV Eingangsspannung** vertragen, und wir haben Generatoren, die erzeugen dann **50 kV/m im Feldvolumen."** Daneben eignet sich die Zelle auch für Blitzschutzuntersuchungen, wenn die Auswirkungen der Felder interessieren. „IEC fordert seit neuestem eine

In TEM-Zellen – hier eine besonders eindrucksvolle GTEM-1500 – lassen sich auf wirtschaftliche, präzise Weise Einstrahlungs- und Abstrahlungstests sowie Messungen im Frequenz- und Zeitbereich nach allen gebräuchlichen Standards durchführen. Foto: ABB

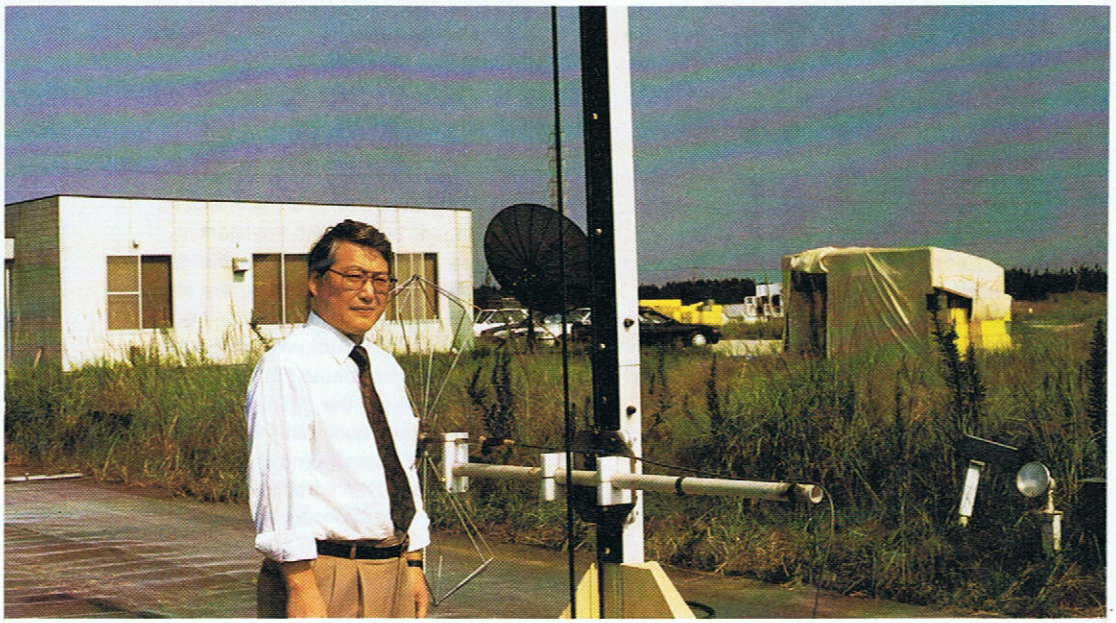
Auf EMV-gerechtes Design wird bei ABB schon im frühesten Entwicklungsstadium geachtet. Hier gibt es viel zu tun für Meßempfänger, Signalgeneratoren, Verstärker und GTEM-Zellen. Foto: ABB

Anstiegszeit von 0,7 ns für ESD, was für die GTEM-Zelle kein Thema ist, für Antennen aber ein erhebliches Problem darstellt, einen derartig steilen Feldimpuls in ein Volumen hineinzustrahlen."

Die GTEM-Zelle stellt ein sehr effizientes Mittel im Labor dar (Meßzeit- und Investitionskostenersparnis) und wird zunehmend **von mehreren Standards anerkannt.** „Man kann nun ein Freifeld lieben oder nicht; wir jedenfalls können zu diesem Freifeld korrelieren. Ein **Härtetest gemäß FCC § 15** wurde blendend bestanden, und wir haben auch schon zu **VDE** korreliert. Wir können überhaupt jeden zivilen Standard aus dem Computer abrufen und legen die Daten an 50 Ω als Spannung an der Zelle ab. Dort werden sie dann den Meßempfängern – ESVP von Rohde & Schwarz – zugeführt und im Rechner verarbeitet." Bei der Einstrahlung lassen sich Feldstärken in der GTEM-Zelle sehr effizient erzeugen. Sie hat ja eine hornförmige Gestalt, und je weiter das Meßobjekt zum spitzen Teil hin verschoben wird, desto höher wird die Feldstärke. „Wir können hier **Bereiche von 500 V/m simulieren,** was sonst sehr schwierig ist. Wir können also ohne weiteres den „magischen" Wert von 200 V/m, gegeben durch **MIL-Standards,** überschreiten. Wir erfüllen aber auch die **VG-Norm,** wo wir schon Feldstärken von **600 V/m** gesehen haben."
Im übrigen wird die von ABB entwickelte GTEM-Zelle von zwei spezialisierten Firmen, EMCO (USA) und Belling & Lee

(U.K.), in Lizenz gebaut und vertrieben. Für seine Laborarbeit verwendet Dr. Hansen außerordentlich viele R&S-Geräte, speziell für die HF-Meßtechnik. „In der Entwicklungsphase, wir mußten beispielsweise **Absorberforschung bis 2 GHz** betreiben, benutzten wir den ZPV sehr viel. Als Meßempfänger verwenden wir das Störmeßsystem EP-6; dieser „Turm" wird als der Meßturm hier verwendet. Wir haben auch verschiedene andere Türme getestet. Mit dem EP-6 konnten wir den Frequenzbereich ausweiten, was für viele MIL- und VG-Messungen wichtig für uns ist."
Eine besondere Erwähnung wert ist Dr. Hansen der umfassende Service, den R&S bietet: „Uns wurde bei einem Problem während einer ganz wichtigen Meßreihe innerhalb von 24 h geholfen, und das zählt. Denn die Downtime in einem Labor wie unserem bei Projekten, die zeitkritisch sind, ist außerordentlich schwerwiegend. In dieser Beziehung haben wir mit Rohde & Schwarz sehr gute Erfahrungen gemacht."

EMV als Dienstleistung und wissenschaftliche Aufgabe



Sumio Kaifuchi leitet das EMV-Testhaus von Akzo in Kashima, unweit von Tokio.

Zu den ganz großen japanischen Testhäusern zählt **Akzo,** eine Tochterfirma des Chemiekonzerns Stauffer. Stauffer stellt neben vielen anderen Dingen auch Absorbermaterial für elektromagnetische Wellen her, und auf diese Weise kam man mit dem Thema EMV in Berührung. Im Jahre 1981 begannen die Aktivitäten in diesem Bereich; heute beschäftigt Akzo **130 Mitarbeiter** und betreibt an vier verschiedenen Orten in Japan **16 EMI-Freifeldmeßplätze.** Außerdem verfügt Akzo über 16 Schirmkammern und zwei Absorberhallen mit allen zugehörigen Meßgeräten.

Rohde & Schwarz ist in diesem Meßgerätepark vor allem mit den Meßempfängern ESH 2 und ESV sowie mit Netznachbildungen und Meßantennen gut vertreten. Akzo bietet als Dienstleistung aber nicht nur **EMV-Messungen nach japanischen und allen internationalen Vorschriften,** sondern liefert auch **schlüsselfertige EMV-Meßsysteme,** die sich durch Perfektion bis ins Detail auszeichnen. So werden beispielsweise Antennenmaste mit Hubeinrichtungen geliefert, deren Geschwindigkeit einstellbar ist. Die Antriebe lassen sich auf Wunsch mit Druckluftmotoren ausrüsten, damit jede unerwünschte Funkstörung durch die Meßanordnung ausgeschlossen wird.

Sumio Kaifuchi, ein international bekannter EMV-Fachmann, **leitet das 1983 eröffnete Testhaus in Kashima,** einige Kilometer nördlich von Tokio gelegen. Hier befinden sich **sieben Freifeldmeßplätze und sieben Schirmräume.** Dem Besucher fällt sofort auf, daß hier nicht nur EMV-Messungen als Dienstleistung geboten, sondern auch bisher **ungelöste Fragen der EMV-Meßtechnik wissenschaftlich untersucht** werden, worüber Kaifuchi dann vor internationalen Gremien referiert.

„Ein Problem für uns bei den Messungen nach deutschen Vorschriften sind einige Unklarheiten in den Normen", meint Kaifuchi. „Besonders die verschiedenen vorgeschriebenen Schutzleitererdungen führen immer wieder zu Diskussionen mit unseren Kunden." Er hat damit leider recht und hofft, wie viele andere EMV-Spezialisten auch, auf **eindeutige Festlegungen bei den neuen europäischen Normen.**

BMW gibt der EMV den richtigen Rang

Der Komplex Elektromagnetische Verträglichkeit ist natürlich kein reines BMW-Thema, sondern betrifft die ganze Automobilindustrie. Er gewinnt in Zukunft immer größere Bedeutung, wenn die einzelnen Komponenten und Steuersysteme eines Autos noch stärker vernetzt werden. Während man noch bis Ende der 70er Jahre einfach von Störspannungen sprach und das „einfache" Thema eine schnelle Abklärung von Ursache und Wirkung erlaubte, ist dieser Bereich mittlerweile derart komplex geworden, daß mit der Zunahme der Elektronik im Auto auch ein höheres Maß an Betreuung der Gesamtverträglichkeit erforderlich wurde. 1985 begann man also bei **BMW** in **München** mit dem Aufbau der Gruppe Elektrische Systemverträglichkeit. Ihre erste Aufgabe war, die Markteinführung der neuen 7er-Baureihe zu betreuen; dort wurden zum ersten Mal in geballter Form elektronische Komponenten eingebaut, es gab eine Menge zu tun.

Dipl.-Ing. Rainer Birk leitet bei BMW den Bereich Elektrische Systemverträglichkeit. „Es finden durch die Zunahme elektronischer Steuergeräte und Informationselektronik ungewollte Verknüpfungen und Verflechtungen statt, die zu Funktionsstörungen führen können. Damit dies nicht passiert, gibt es unsere Gruppe von derzeit neun Mitarbeitern. Wir müssen meßtechnisch beschreiben, was auf dem Fahrzeug-Bordnetz von Elektrik und Elektronik her gesehen „los" ist, also welche Spannungen, Ströme und Feldstärken existieren. Und **wir müssen die elektromagnetische Umwelt kennen, der ein Fahrzeug später ausgesetzt ist** – Stichpunkte dazu sind Rundfunk- und Fernsehsender sowie eingebaute Funkgeräte oder Funktelefone –, in der die eingebauten Steuergeräte funktionieren müssen. Dieser Komplex ist derart groß und wichtig, daß man nicht daran vorbeikommt, auch **mit eigenen Investitionen Know-how aufzubauen.** Nur so wird man auf dem

Dipl.-Ing. Rainer Birk leitet den Bereich Elektrische Systemverträglichkeit der BMW AG in München.

Ein BMW der 7er-Reihe wird im simulierten Fahrbetrieb auf seine Einstrahlfestigkeit hin getestet. **Fotos: BMW (3)**

Einstrahltest an einem BMW der 7er-Reihe.

Markt bestehen können." Bisher war man Kunde bei verschiedenen Hallenbetreibern, und glücklicherweise gibt es einige davon im Münchener Raum.

Die an die Steuergeräte gestellten Anforderungen finden ihren Niederschlag in einer **werkseigenen, ständig aktualisierten EMV-Qualitätsnorm.** „Naturgemäß hängt die Normungsarbeit immer etwas hinter der Entwicklungsarbeit zurück, so daß wir bei der Bewältigung der aktuellen Probleme Neuland beschreiten mußten. Es gab aber bestimmte **VDE-Normen, VG-Normen und MIL-Standards, auf denen man aufbauen konnte.** Im heutigen Stadium wird nur wenig auf diese Anregungen zurückgegriffen, weil die Kfz-Elektronik sehr viel spezifisches Know-how und sehr spezifische Problemlösungen verlangt. Ein großes Problem sind die Kosten, weil sich die Summe für die Bauteile pro Entstörmaßnahme gleich verhunderttausendfacht."

Der Gedanke an eine eigene **EMV-Halle** entstand etwa 1987, und bis die Planungen standen, war es Mitte 1988. „Um dem Themenkomplex EMV den richtigen Rang zu geben, stand es BMW gut an, eine eigene Halle zu bauen. Sie paßt gut zu uns bei der Menge Elektronik im Auto. Die übrige Automobilindustrie befindet sich ja auf ähnlichem Wege."

Blick in die Meß- und Steuerwarte der EMV-Halle. Von links: Empfangsmeßplatz, diverse Monitore, Meßplatz zur Ansteuerung der Leistungsverstärker, Steuerung des Rollenprüfstandes.

Rohde & Schwarz hat Ende 1988 den Auftrag bekommen, die Meßtechnik der EMV-Halle zu installieren. „Was wir **als wesentlichen Bestandteil des Vertrages gekauft haben, ist das System an sich.** Wir kaufen also keine Geräte von der Stange, sondern ein verknüpftes, funktionierendes System, die zugehörige Software und Automatisierungstechnik. Die Hardware dazu ist auch ein Teil, aber der Systemgeist, der darin steckt, ist mindestens genauso wichtig und wertvoll für uns, weil sich alle heute durchzuführenden Messungen nur mit einer gewissen **Meßökonomie** durchführen lassen."
Nach der Schlüsselübergabe Ende 1990 sind dann von R&S neben Leistungsmeßgeräten, Digitalvoltmetern und vielen Scannern zur Ansteuerung mehrerer Meßstellen ein Störmeßsystem EP-6 installiert worden und: „Als besonders wichtiges Gerät haben wir den neuesten EMI-Meßempfänger ESAI. Wir sind der Meinung, damit eine gute Wahl getroffen zu haben."

Das EMV-Prüfzentrum in Seibersdorf versteht sich als Mittler zwischen Universität und Wirtschaft

Elektromagnetische Verträglichkeit und Auftragsforschung

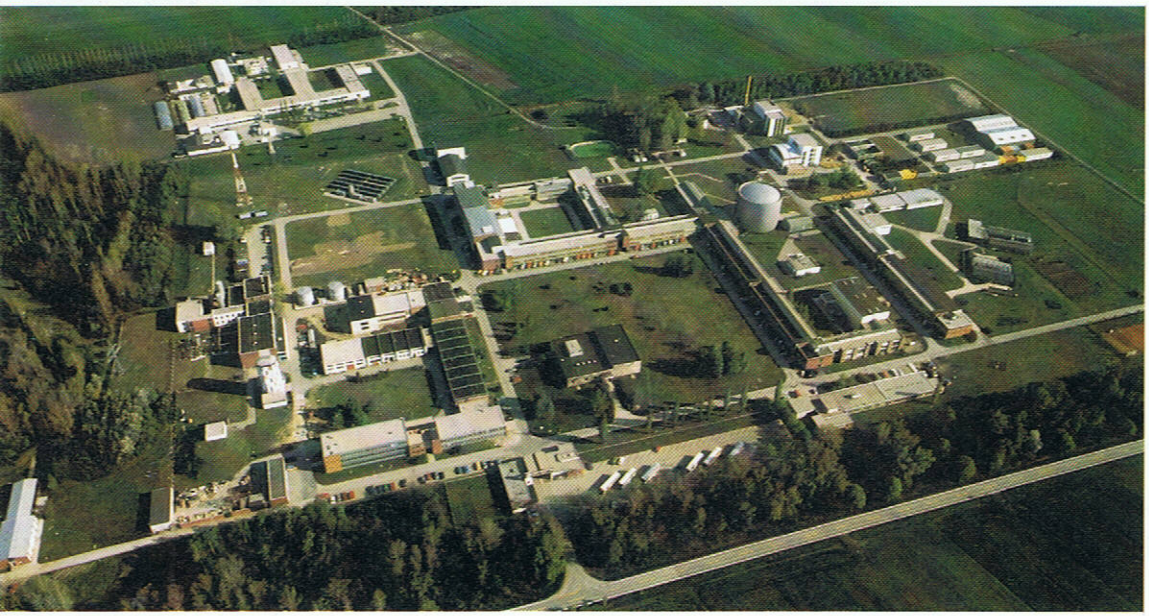
Das **Forschungszentrum Seibersdorf,** gegründet 1956, ist mit über 530 Mitarbeitern die größte außeruniversitäre, betrieblich organisierte Forschungseinrichtung Österreichs. Das Spektrum der Arbeiten reicht von Kleinaufträgen über spezielle Einzelentwicklungen von Geräten und Verfahren bis zu komplexen Großprojekten. Etwa **60 % der Personalkapazität werden für die Auftragsforschung** eingesetzt. Das gesamte Arbeitsprogramm ist in sechs Schwerpunkte mit jeweils mehreren Arbeitsgebieten gegliedert.

Ein Schwerpunkt ist das Gebiet **Umwelt und Biotechnologie,** dem das EMV-Prüfzentrum Seibersdorf zugeordnet ist. Im Jahre 1984 – mit dem Bau einer großen Absorberhalle – entstand es in Kooperation mit der österreichischen Industrie und nimmt EMV-Prüfungen nach den geltenden elektrotechnischen Vorschriften und Normen wie **ÖVE, ÖVE/EN, VDE, IEC-CISPR, VG, MIL-STD, ESA-STD** u. a. und nach den Zulassungsbedingungen von FZA und FTZ vor.

Leiter dieses EMV-Prüfzentrums ist **Dipl.-Ing. Heinrich Garn.** Seine Zielsetzungen umreißt er so: „Zum einen Teil leisten wir hier **wissenschaftliche Arbeit** und untersuchen die Theorie der Meßverfahren mit dem Ziel, daß unsere Messungen für den Kunden die höchstmögliche Genauigkeit bieten. Der andere Teil unserer Arbeit ist kommerzieller Natur – EMV-Prüfungen und alle Klassen von EMV-Messungen nach solchen Standards, die gefragt sind." **Störfeldstärke- und Störstrahlungsmessungen werden im Frequenzbereich von 0 bis 40 GHz, Störfestigkeitsprüfungen** mit elektromagnetischen Feldern und leitungsgeführten Störgrößen **im Frequenzbereich von 0 bis 20 GHz bei Feldstärken bis 200 V/m durchgeführt.** Dazu kommen noch weitere Serviceleistungen wie **Störspannungs- und Störleistungsmessungen, Nutzfeldstärkemessungen, Schirmdämpfungsmessungen, Feldberechnungen** und vieles mehr.

Dipl.-Ing. Heinrich Garn, Leiter des EMV-Prüfzentrums.

gen mit Bodenreflexion angegeben werden kann. Es bringt große Vorteile, ohne Bodenreflexion zu messen und diese dann rechnerisch zu berücksichtigen. In Seibersdorf werden in der **8,5 m × 4,3 m × 4,3 m großen, geschirmten Absorberhalle** 1-m-Absorber verwendet. Neben dieser Absorberhalle gibt es ein geschirmtes Meßlabor mit den Abmessungen 8 m × 5 m × 2,6 m, ein **Freifeld nach VDE 0877 Teil 2** für Meßentfernungen von 3 m, 10 m und 30 m sowie einige **TEM-Zellen.** „Wir haben alle unsere Meßeinrichtungen und -räume selbst entwickelt und auch bei den Schirmbauelementen den Weg über Versuch und Irrtum zu eigenem Know-how beschritten. Man kann zwar alles fertig kaufen; wenn man's selbst macht, kostet es genauso viel wegen des Zeitaufwandes, aber man hat erhebliches Know-how gewonnen. Auch TEM-Zellen gehören dazu. Wir haben eine nach dem Vorbild des National Institute of Standards in Technology gebaut, und zur Zeit befinden sich zwei weitere im Bau – darunter eine große, **3 m hoch und 6 m lang.**" Darüber hinaus gibt es auch Dinge wie beispielsweise eine Parallelplattenleitung, die ja auch für einige Messungen genormt ist.

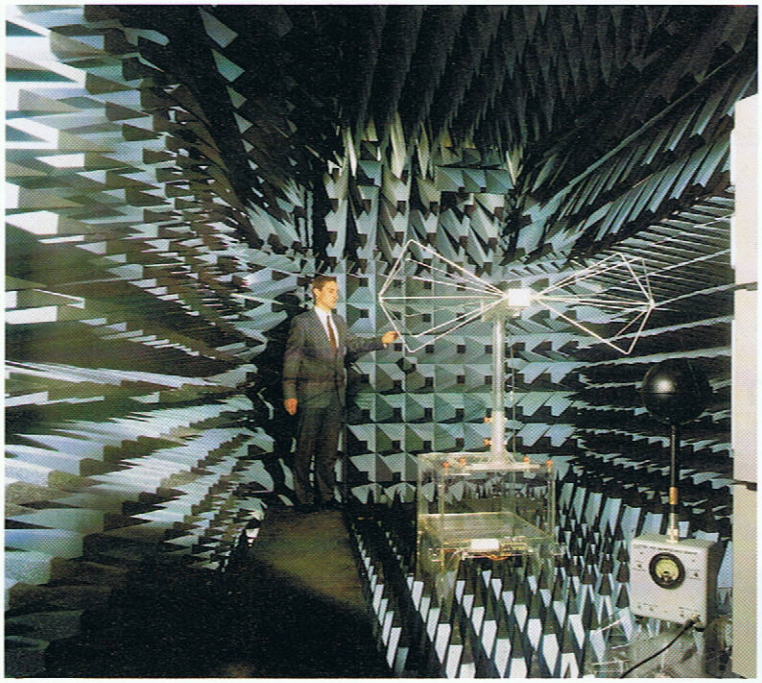


Das Forschungszentrum Seibersdorf versteht sich als Zulieferer der Industrie und betreibt keineswegs isolierte Grundlagenforschung. Luftbild, freigegeben vom Bundesministerium für Landesverteidigung mit Zahl 13.088/555 – 1.6/87. Fotos: Forschungszentrum Seibersdorf (4)

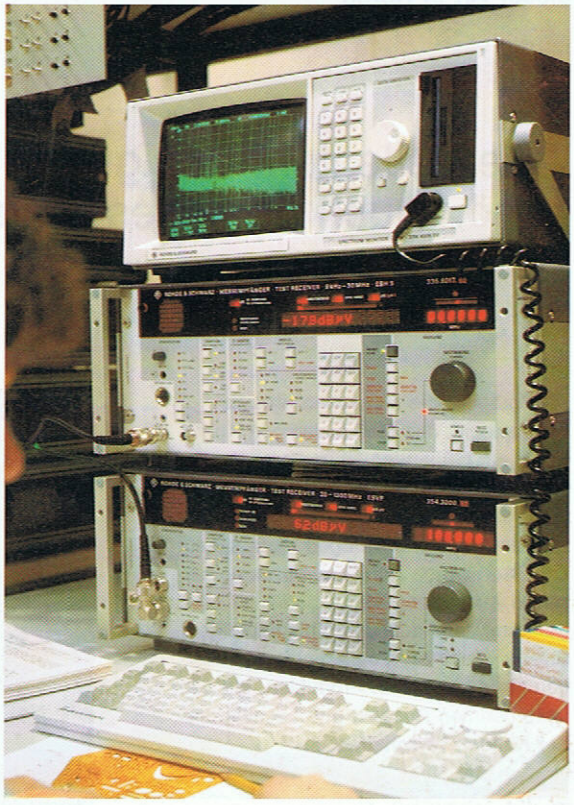
Der Bedarf der österreichischen Industrie an EMV-Forschung war also die Basis für den Start des EMV-Prüfzentrums. „Unsere wissenschaftliche Arbeit kam eigentlich aus der Not heraus. Als Hochfrequenztechniker und Neulinge auf dem EMV-Gebiet mußten wir uns sehr eingehend mit den Meßverfahren beschäftigen, sind dann gleich sehr tief gegangen und haben versucht, Korrelation zu anderen Prüfstellen und besonders mit dem Freifeld vorzunehmen. Als Ergebnis kam heraus, daß hier vieles nicht übereinstimmte. Darauf folgte eine zweijährige Phase von wissenschaftlichen Untersuchungen, die wir gemeinsam mit dem **Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik der Technischen Universität Wien** durchführten. Sie bezogen sich vor allem auf die Verwendbarkeit von Absorberhallen für Feldstärkemessungen, und zwar sowohl für Abstrahlung als auch Einstrahlung."

Eingehend wurde vor allem der Unterschied zwischen einer Absorberhalle mit reflektierendem Boden und einer mit absorbierendem Boden untersucht und herausgefunden, daß für Tischgeräte eine präzise Korrelation zu Meßbedingungen mit Bodenreflexion angegeben werden kann. Es bringt große Vorteile, ohne Bodenreflexion zu messen und diese dann rechnerisch zu berücksichtigen. In Seibersdorf werden in der **8,5 m × 4,3 m × 4,3 m großen, geschirmten Absorberhalle** 1-m-Absorber verwendet. Neben dieser Absorberhalle gibt es ein geschirmtes Meßlabor mit den Abmessungen 8 m × 5 m × 2,6 m, ein **Freifeld nach VDE 0877 Teil 2** für Meßentfernungen von 3 m, 10 m und 30 m sowie einige **TEM-Zellen.** „Wir haben alle unsere Meßeinrichtungen und -räume selbst entwickelt und auch bei den Schirmbauelementen den Weg über Versuch und Irrtum zu eigenem Know-how beschritten. Man kann zwar alles fertig kaufen; wenn man's selbst macht, kostet es genauso viel wegen des Zeitaufwandes, aber man hat erhebliches Know-how gewonnen. Auch TEM-Zellen gehören dazu. Wir haben eine nach dem Vorbild des National Institute of Standards in Technology gebaut, und zur Zeit befinden sich zwei weitere im Bau – darunter eine große, **3 m hoch und 6 m lang.**" Darüber hinaus gibt es auch Dinge wie beispielsweise eine Parallelplattenleitung, die ja auch für einige Messungen genormt ist.

Viel Raum nehmen gerätetechnische Entwicklungen ein, zum Beispiel ein **Störsimulator.** Das ist ein Sender, der in Kombination mit diversen Sendeantennen die Störeigenschaften realer Prüflinge simuliert. „Wir strahlen also nicht nur mit einem Dipol eine Welle ab. Denn

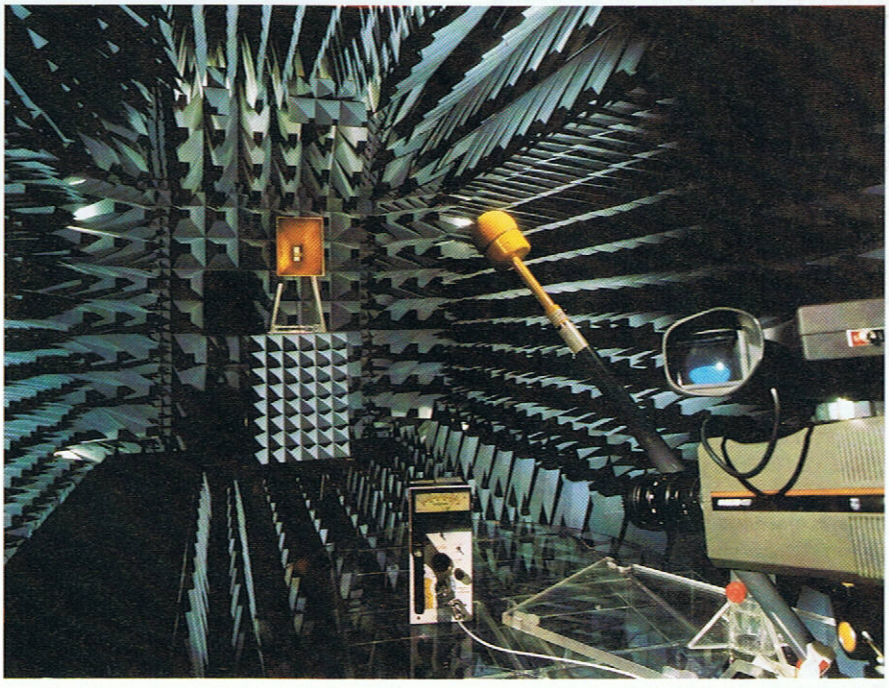


Störfestigkeitsprüfung im Frequenzbereich von 30 bis 200 MHz.



Spectrum Monitor EZM, Meßempfänger ESH 3 und Meßempfänger ESVP in einem vollautomatischen EMV-Meßplatz.

Kalibrierung einer Feldsonde in der Absorberhalle.



reale Prüflinge sind kein Dipol, sondern erzeugen Kombinationen von Wanderwellen, die im Inneren laufen, geschlossene Schleifen, stehende Wellen auf Leitungen usw. Und das erzeugt ein signifikant anderes Feldbild als ein einfacher Dipol. Wir machen **echte Kombinationen strahlender Leiter,** die wir mit unserem **Programm zur numerischen Simulation von Störfeldstärkemessungen** berechnen und dann meßtechnisch verifizieren."

Seit Beginn der EMV-Aktivitäten in Seibersdorf sind die Meßempfänger ESH 3 und ESVP dabei und täglich im Einsatz: „Wir schwören darauf, da gibt es keine Frage. Und wir schätzen natürlich sehr den Service von Rohde & Schwarz, denn wenn irgendetwas sein sollte, werden wir sehr schnell unterstützt, beispielsweise mit einem Leihgerät. Dies ist für uns von unschätzbarem Wert und steht für mich an zweiter Stelle nach der Qualität des Meßgerätes." Des weiteren befinden sich Leistungsmeßgeräte vom Typ NAP, Signalgeneratoren wie SMG, Meßantennen, Meßwandler und eine Netznachbildung im Einsatz sowie neuerdings auch ein Audio Analyzer UPA, mit dem beispielsweise bei Störfestigkeitsmessungen das **S/N-Verhältnis von analogen Signalen des Prüflings** gemessen wird.

Das Spektrum der Prüflinge ist sehr breit gestreut im Seibersdorfer EMV-Prüfzentrum; es reicht vom kleinen Handfunkgerät über den großen Elektronikschrank bis in den postalischen Bereich. „Der Bedarf ist in Österreich steigend, die **EMV wird zunehmend ernster genommen,** was wir sehr befürworten – nicht weil wir ein Geschäft machen, sondern die Produktqualität heben helfen wollen. Das Forschungszentrum selbst ist eine Non-Profit-Organisation; es ist nicht primäres Unternehmensziel, Einnahmen zu machen."

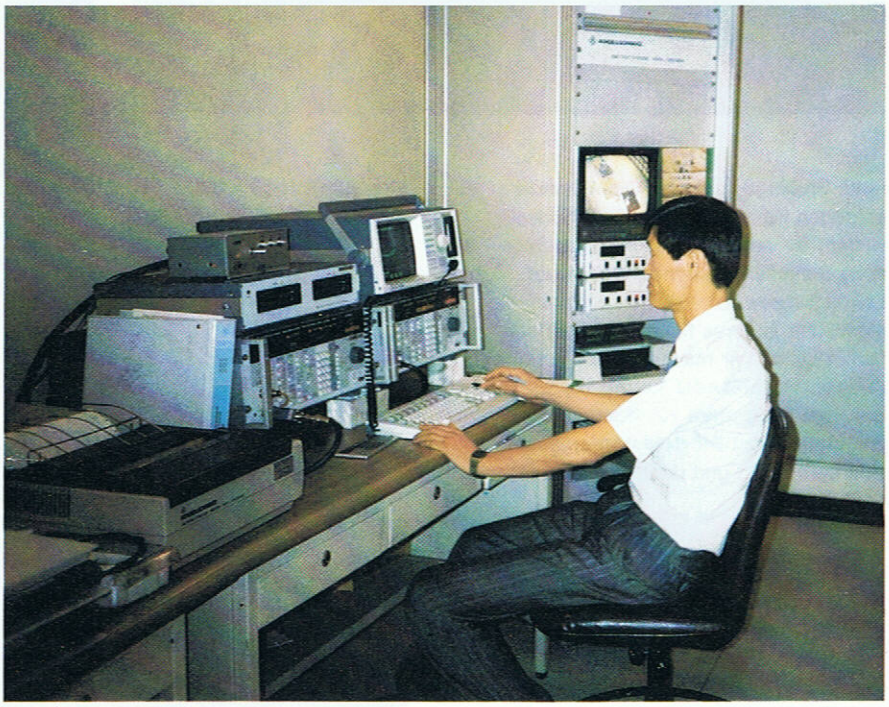
Goldstars EMI/EMS-Testlabor in Seoul gehört zu den führenden Einrichtungen dieser Art in Korea

Zu exzellentem Design gehört auch perfektes Testen

„Technopia", die Menschen und die Technologie, das sind diejenigen Kräfte, die in ein blühendes einundzwanzigstes Jahrhundert führen. Als ein Unternehmen, das fest auf seine Menschen und technischen Entwicklungen baut, scheut Goldstar keinen Aufwand, durch umfassende Ausbildung höchstqualifiziertes Personal heranzubilden. Das ständige Streben nach der Technologie von morgen steht hinter den Produkten, die dem Unternehmen Respekt und Loyalität seiner Kunden verschaffen.

Die Geschichte Goldstars ist gleichzeitig auch die Geschichte der technologischen Entwicklung Koreas. Seit der Gründung im Jahre 1958 hat der Konzern, der mittlerweile 72 000 Mitarbeiter beschäftigt, Meilensteine auf dem Weg zur hochentwickelten Industrienation gesetzt. Das Unternehmen gliedert sich in die Bereiche Halbleitertechnik, Computer und Kommunikation, Konsumerelektronik, industrielle Systeme und elektronische Komponenten, wobei einschließlich der Unterbereiche praktisch das gesamte Spektrum der Elektronik abgedeckt wird.

Entsprechend den hohen Unternehmenszielen ist Goldstar in Korea auch ein Pionier auf dem Gebiet der EMV. 1984 begann die Arbeit der EMV-Ingenieure, und in der Abteilung Qualitätssicherung in Seoul entstand eines der ersten EMI-Labors des Landes. Inzwischen gehört dieses EMI/EMS-Testlabor zu den führenden Einrichtungen dieses Gebiets in Korea und wird von EMV-Fachleuten als Musteranlage betrachtet. Fast alle Produkte müssen hier Tests durchlaufen, bevor sie auf den einheimischen Markt gelangen oder für den Export freigegeben werden.



Soung-Dae Park ist wissenschaftlicher Leiter der EMV-Gruppe in der Qualitätssicherungsabteilung bei Goldstar.

Da „Technopia" den wissenden Menschen in den Vordergrund stellt, geben die EMV-Ingenieure ihre Erfahrung ständig an die Entwicklungslabors und Fertigungsstätten weiter. „Wir wollen nicht abwarten, bis die Probleme entstehen. Wir wollen sie vorher entdecken und lösen", erklärt Soung-Dae Park, wissenschaftlicher Leiter der EMV-Gruppe in der Qualitätssicherungsabteilung. Er ist unter anderem Mitglied der EMV-Gesellschaft Koreas sowie des koreanischen CISPR-Komitees und gibt sein Wissen auch bereitwillig an mittlere und kleinere Industriebetriebe im Land weiter, die die führende Rolle des Goldstar-Test-Labors gerne nutzen.

„Wir wollen keine Kompromisse machen und nur perfekte Produkte herstellen. Natürlich gehört dazu neben exzellentem Design auch das perfekte Testen." So werden Störmeßsysteme EP-6 von Rohde & Schwarz eingesetzt, um EMI-Tests schnell und zuverlässig durchführen zu können. Auch in der Störbeeinflussung testet man mit R&S-Geräten, wobei man künftig auf die vollautomatischen Meßsysteme TS-9980 übergehen will. „Technopia" – der Mensch verbessert die Technologie, die Technologie hilft dem Menschen. Dieser einstige Traum ist heute bei Goldstar Wirklichkeit geworden.

Im JMI-Institut sind alle Normen zu Hause

Das **JMI-Institut** wurde im Jahre 1957 unter dem Namen „Machinery and Metals Inspection Institute" als nichtkommerzielle, öffentliche Prüfeinrichtung gegründet. Um der aufstrebenden Industrie Japans Weltruf zu verschaffen, hat das JMI-Institut die Aufgabe übernommen, die Qualität der fürs Ausland bestimmten Erzeugnisse nach den obligatorischen strengen Exportprüfgesetzen zu testen. Im Laufe der Jahre wurden die Tests und Prüfungen beträchtlich ausgedehnt, so daß mittlerweile **der Schwerpunkt auf der kommerziellen Seite** liegt.

Das Angebotsspektrum reicht von **Sicherheitsprüfungen und EMV-Tests nach internationalen Normen** über die Kalibrierung von Meßgeräten und Meßeinrichtungen bis zur Überprüfung von Maschinenparks und Fabrikanlagen. Dabei werden sowohl Funktions- als auch Material- und Umwelttests durchgeführt.

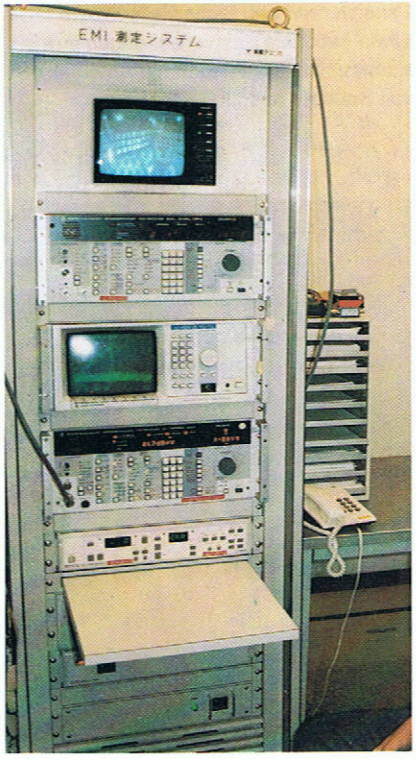
Traditionell besteht eine enge Beziehung zum MITI (Ministery of International Trade and Industry), und so werden die Leistungen von JMI nicht nur von japanischen Kunden, sondern **vermehrt auch von ausländischen Firmen** in Anspruch genommen. In letzter Zeit gewinnt die **Beratungstätigkeit** immer mehr an Bedeutung, und die Schulungen und Seminare sind sehr begehrt. Es ist selbstverständlich, daß Mitarbeiter von JMI auf wichtigen internationalen Symposien vertreten sind. Mit einem **Expertenteam von 570 Mitarbeitern und 15 Niederlassungen,** verteilt über die Industriezonen Japans, liegt JMI für die Kunden quasi um die Ecke. Die erste Auslandsniederlassung wurde in Seoul, Südkorea, gegründet.

Tedsuo Katoh, Manager Test and Evaluation Sec. des JMI-EMV-Testlabors in Tokio.

Getestet wird in Zusammenarbeit oder in enger Abstimmung mit fast allen Prüfinstitutionen der Welt wie **CSA, UL, SAA, BSI, TÜV, VDE** usw. In den EMV-Labors wird hauptsächlich nach den **japanischen VCCI- und den amerikanischen FCC-Normen** gemessen, aber auch VDE-Tests nehmen einen breiten Raum ein. JMI stehen für diese Tests mehrere Anlagen zur Verfügung: drei Freifeldmeßplätze in **Tokyo,** zwei in **Osaka** und einer in **Hamamatsu;** drei geschirmte Absorberräume in Tokyo sowie je einer in Osaka und in **Nagoya.** Für die Endtests und die Erstellung von Zertifikaten verwendet JMI Meßempfänger von Rohde & Schwarz.

Die zunehmende Digitalisierung der elektronischen Umwelt ist nach Meinung von **Tedsuo Katoh, Leiter des EMV-Labors in Tokyo,** der Grund für die Einführung der VCCI-Normen gewesen. Vor allem in Japan sind Computer und Datenverarbeitung in allen Bereichen des Lebens zu finden. In den großen Ballungsräumen gab es ein lawinenartiges Ansteigen von Geräteausfällen in Folge von Störbeeinflussungen. So verwundert es nicht, daß VCCI insbesondere den Computern und ihrer Peripherie die elektromagnetische Verträglichkeit vorschreibt. Nach nur vier Jahren ist das VCCI-Zeichen in Japan zum Qualitätsmerkmal elektronischer Geräte geworden, und Meßempfänger von Rohde & Schwarz haben dazu mit beigetragen.

JMI setzt EMI-Testsysteme EP-4 von Rohde & Schwarz in den Endtests und bei der Erstellung von Zertifikaten ein.



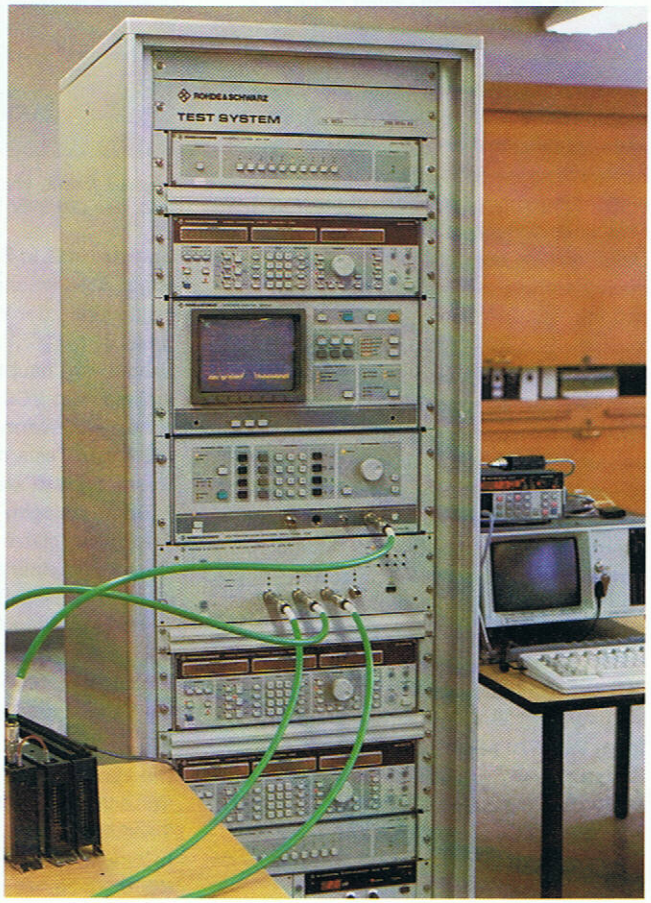
Störfestigkeitsmessungen sichern gutes Bild und klaren Ton

Das neue Montage-Hochhaus im oberbayerischen Rosenheim, eingeweiht anläßlich des 70jährigen Firmenjubiläums 1989. Foto: Kathrein

Seit der Einführung des Hörrundfunks in Deutschland befaßt sich Kathrein im oberbayerischen Rosenheim mit der Antennentechnik. Inzwischen rüsten Luftfahrt, Verkehrsbetriebe, EVU-Unternehmen, Feuerwehren und Sicherheitsdienste sowie nationale Postverwaltungen ihre Kommunikationsanlagen mit Antennen von Kathrein aus, und sogar der ICE – einer der schnellsten Züge der Welt – fährt mit einer Kathrein-Antenne. Daneben befaßt sich die Firma intensiv mit der Glasfasertechnik für die analoge Breitbandkommunikation. Mit dem Thema Satellitenempfang beschäftigte man sich als erster in Europa und hat hier über viele Jahre hinweg Entwicklungsarbeit geleistet. Beim Ausbau der Kabelfernsehnetze ist Kathrein ein bedeutender Partner der Deutschen Bundespost.

Gleichzeitig mit der Feier des 70jährigen Firmenjubiläums 1989 weihte Kathrein sein neues Rosenheimer Montage-Hochhaus ein. Dort bearbeitet in der Abteilung Fertigung und Abgleich Dipl.-Ing. Christian Röhrl an drei Meßplätzen die Gebiete Störfestigkeitsmessungen, Intermodulationsmessungen und Gruppenlaufzeitmessungen. Der Meßplatz für Störfestigkeitsmessungen, ein Test

Dipl.-Ing. Christian Röhrl bearbeitet bei Kathrein in Rosenheim die Bereiche Störfestigkeits-, Gruppenlaufzeit- und Intermodulationsmessungen.



Mit dem Test System TS 9820 von Rohde & Schwarz werden Störfestigkeitsmessungen an Mehrbereichsverstärkern und Umsetzern durchgeführt.

System TS 9820 von Rohde & Schwarz, wurde im Oktober '88 installiert und ist seither ständig im Einsatz. „Das System hat schon von Anfang an weniger Kinderkrankheiten gehabt, als aus der Erfahrung mit anderen Systemen zu erwarten war. Den Meßplatz haben wir vor allem deshalb angeschafft, weil die **von der Post geforderten Messungen in den letzten Jahren immer umfangreicher wurden.**"

Während unseres Besuchs sind es gerade Mehrbereichsverstärker, die eine Prüfung auf Herz und Nieren durchlaufen: „Die Eingänge dieser Mehrbereichsverstärker, Bereich III, Bereiche IV/V und FM, werden verstärkt und einem einzigen Ausgang zugeführt. Das Meßsystem mißt nun die Störfestigkeit, es ist **quasi eine Selektionsmessung.** Es werden hier aber nicht nur Bereichsverstärker, sondern auch **Kanalverstärker** und **Umsetzer** gemessen. Schließlich ist ja auf unseren Wunsch hin die Möglichkeit, Umsetzer messen zu können, in das Test System TS 9820 mit aufgenommen worden." Alles, was auf Störfestigkeit untersucht werden soll, gelangt also zu diesem Meßplatz. Bei einem „normalen" Umsetzer dauert die Messung etwa vier Minuten, während es bei einem Mehrbereichsverstärker mit etwa 1000 Messungen eine gute Stunde sein kann.

Das KEC Test Center in Ikoma, Japan

R&S-Meßempfänger sind rund um die Uhr im Einsatz

Malerisch in eine Parklandschaft eingebettet liegt bei **Ikoma** – Bezirk Nara – hinter Reisterrassen das **Kansai Electronic Industry Development Center** (KEC), eines der bedeutenden EMV-Testhäuser Japans. Es wurde 1961 mit staatlicher Unterstützung zur Verbesserung der industriellen Infrastruktur Westjapans in Osaka gegründet. Bereits 1964 richtete man in Habikino ein EMV-Testhaus ein, das dann 1969 nach Ikoma verlegt wurde. Heute befinden sich hier mehrere Absorberhallen – davon eine zur Vermessung von Satellitenempfangsantennen – sowie **sechs Störfeldstärke-Meßplätze,** die mit manuellen und programmierbaren Meßempfängern von Rohde & Schwarz ausgestattet sind.

Fumitoshi Nagaoka, Leiter der EMV-Meßtechnik bei KEC, weist darauf hin, daß die Meßplätze „rund um die Uhr" benützt werden. Dem europäischen Besucher der Anlage fällt nämlich auf, daß die Anlieferung von Meßobjekten auch am späten Abend nicht nachläßt. Nagaoka erläutert dazu eine Besonderheit: „Bei KEC werden **EMI-Messungen zu 70 % von den Kunden selbst durchgeführt.** Dazu mieten sie einen Meßplatz samt aller zugehörigen Geräte, installieren ihr Meßobjekt und führen dann die Messungen durch. Treten Schwierigkeiten auf, so hilft ihnen ein Meßingenieur von KEC. Diese Verfahrensweise hat Vorteile für beide Seiten: **Die Kosten bleiben niedrig,** und der Kunde kann sein Gerät testen, ohne es aus der Hand geben zu müssen."

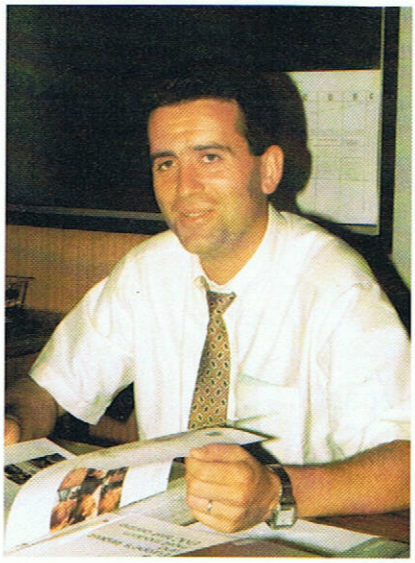
Fumitoshi Nagaoka, Leiter der EMV-Meßtechnik bei KEC in Ikoma.

Die Messungen werden auf den meisten Freimeßplätzen manuell durchgeführt. Zunächst ermittelt man mit einem Spektrumanalysator eventuelle störende Frequenzen, um dann deren Intensität mit einem R&S-Meßempfänger vom Typ ESV normgerecht zu messen. Die häufigsten Meßobjekte sind – wie könnte es anders sein – Personalcomputer samt zugehöriger Peripherie.

Für die auffälligen, spätabendlichen Aktivitäten hat Nagaoka eine einleuchtende Erklärung: „Der Kunde bezahlt die Miet-gebühren für 24 Stunden. Somit steht er nicht unter Zeitdruck und kann bis spät in die Nacht hinein testen (messen)."

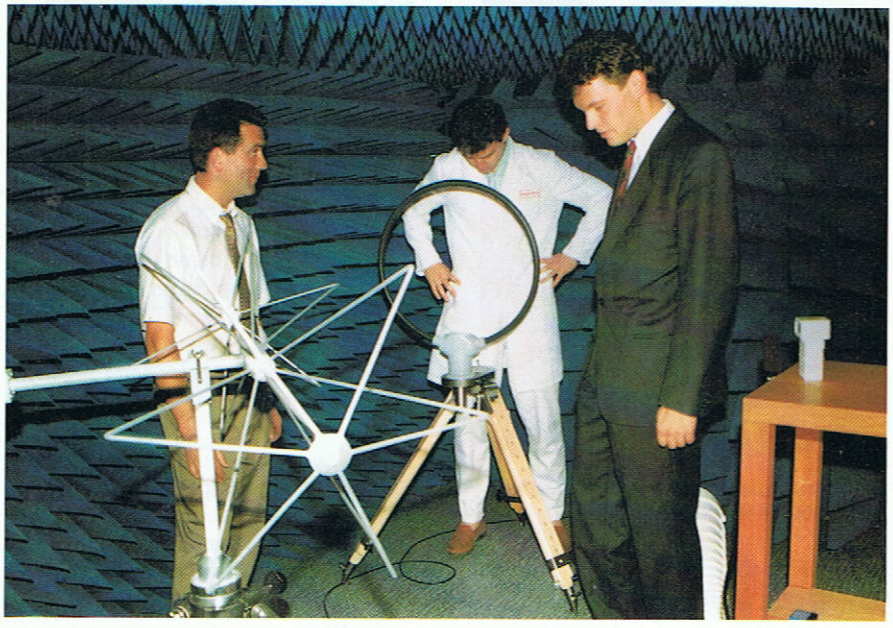
Die Gruppe Legrand baut auf Qualität

Das international tätige Unternehmen **Legrand** mit Sitz in **Limoges** entwickelt und produziert neben vielen anderen Dingen elektrische Überwachungsanlagen, Gas-, Feuer-, Wassermelde- und Alarmsysteme, elektrische Unterbrechungsschaltungen, Rufanlagen sowie programmierbare Steuer- und Sicherungsanlagen. Die zunehmende Integration von elektrischen und elektronischen Komponenten in häuslichen Einrichtungen erfordert eine **strenge Qualitätsüberwachung und Prüfung** dieser Produkte auf ihre Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).



Jacques Barbanceys, verantwortlich für das Labor für Studien- und Versuchszwecke bei Legrand in Limoges.

Bei Legrand beschäftigt man sich seit 1986 mit dem Themenkomplex EMV, wobei notwendig gewordene Blitzschutzmessungen zunächst im Vordergrund standen. Bereits ein Jahr später wurden eine Schirmkabine und ein EMI-Testsystem EP-6 von Rohde & Schwarz installiert. Bei der Auswahl dieses Testsystems waren neben der **technischen Qualität und Zuverlässigkeit** die **nationale Referenz LCIE** (Laboratoire Central des Industries Electriques) maßgebend. Sie verwendet ebenfalls ein R&S-EMI-Testsystem, bestehend aus den Meßempfängern ESH 3 und ESVP, dem Spectrum Monitor EZM sowie einer Netznachbildung und dem entsprechenden Antennenzubehör.



Meßantennen HFH 2-Z2 (9 kHz bis 30 MHz) und HUF-Z2 (20 bis 200 MHz) von R&S in der mit Absorbern ausgekleideten Schirmkabine. Das zugehörige EMI-Testsystem EP-6 befindet sich außerhalb der Kabine.

Jacques Barbanceys, verantwortlich für das **Labor für Studien- und Versuchszwecke** bei Legrand, stellt entsprechend dem auferlegten hohen Qualitäts- und Sicherheitsstandard der Produkte **besondere und genau definierte Anforderungen an die eingesetzten Meß- und Testmittel.** Denn alle Entwicklungen und Produkte von Legrand müssen in seinem Labor die sogenannte **Qualifikationsprüfung** bestehen, bevor eine Serienproduktion starten kann. Zur Qualifikationsprüfung gehören Materialtests, Schalt- und Steckvorgänge, Temperatur-, Stoß- und Vibrationsprüfungen, und vor allem EMV-Tests. Barbanceys erläutert an einem drastischen Beispiel, wie wichtig seine Arbeit ist: „Man denke nur daran, was passieren kann, wenn in einer Intensivstation eines Krankenhauses keine hundertprozentige Funktionssicherheit lebenswichtiger Apparate gewährleistet werden kann. Dinge wie Zuschaltung von Notstromaggregaten bei Netzausfall oder Blitzschlag dürfen da bis hin zum Einzelgerät keine Probleme bereiten".

Oder Alarmsysteme: bei ihnen hat die Betriebssicherheit einen besonderen Stellenwert, die auch in Gegenwart hoher elektromagnetischer Felder – beispielsweise bei einem Gewitter – nicht beeinträchtigt werden darf. So wird bereits in den einzelnen Entwicklungsphasen **konsequent auf EMV-gerechte Konstruktion geachtet:** „Damit lassen sich die späteren, nicht unerheblichen Folgekosten einer nicht EMV-gerechten Entwicklung einsparen. **Die zunächst hohen Investitionen,** die mit der Anschaffung zuverlässiger Meß- und Testmittel verbunden sind, **zahlen sich später mehrfach aus".**

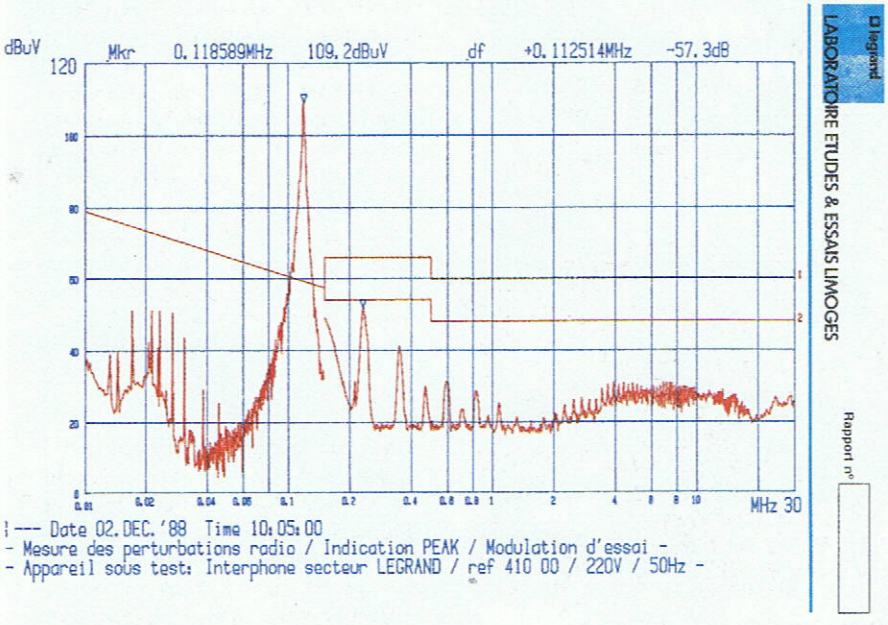
Nach den Störemissionsmessungen folgte als nächster Schritt die Einrichtung eines Testsystems zur Feststellung der Störbeeinflussung. Hier wird nach **CEI IEC 801 Teil 3** mit 10 V/m im Frequenzbereich von 20 bis 150 MHz und mit 5 V/m im Frequenzbereich von 150 bis 500 MHz gemessen. Das verwendete R&S-Testsystem besteht aus einem

Signalgenerator SMG und einem Process Controller PCA 5 samt zugehöriger Software. Ein nachgeschalteter Verstärker bringt die Signale auf die erforderlichen Pegel, die dann über geschirmte Kabel und Entstörfilter der Antenne – beispielsweise einer konisch-logarithmischen Spiralantenne HUF-Z4 – im Inneren der Schirmkabine zugeleitet werden. Und dort muß nun das Testobjekt seine Einstrahlfestigkeit beweisen. Bei Infrarotgeräten und Trägerstrom-Sende-Empfangsanlagen gibt es zwischen Legrand und der Deutschen Bundespost eine **Kooperation** bei der Überprüfung von Entwicklungsmustern.

Testsystem zur Erzeugung von Feldstärken gemäß IEC CEI 801/3 mit Signalgenerator SMG und Process Controller PCA 5 von R&S.

Unterbrechungsschaltungen gehören auch zur Entwicklungsarbeit bei Legrand, und so werden Entladungsmessungen bei der Unterbrechung elektrischer Kontakte und statische Entladungsmessungen durchgeführt. Beispielsweise können an elektrisch gesicherten Zugängen oder Türen, die zusätzlich zum Schließmechanismus einen Eingangscode auswerten, statische Spannungen bis zu einigen kV auftreten. Diese Spannungen werden z.B. bei der elektrostatischen Aufladung von Personen durch Teppichböden erzeugt. Mit Spannungen von 8 bis 10 kV testet man nach **CEI IEC 801 Teil 2** die Schaltungen und Gehäuse auf ihre uneingeschränkte Funktionstüchtigkeit.

Bei der zukünftigen Auslegung häuslicher Installationen muß mit dem vermehrten Netzanschluß elektrischer und elektronischer Geräte gerechnet werden, die sich über Infrarot- oder Hyperfrequenzsensoren fernsteuern lassen. Über den Freiraum, Koaxialleitungen und das Fernmeldenetz werden zusätzliche Signale gesendet und empfangen, so daß sich **in verstärktem Maße auch häusliche Einrichtungen EMV-gerecht verhalten müssen.** Daher arbeitete Legrand, zusammen mit anderen Herstellern, schon frühzeitig an dem **Projekt ESPRIT 2 HS,** das die künftigen Anforderungen an elektrischen und elektronischen Komfort, Kommunikationssysteme, Sicherheitssysteme und Energieverteilung berücksichtigt. **Eine weitere Herausforderung an eine definierte, präzise und zuverlässige Meßtechnik!**



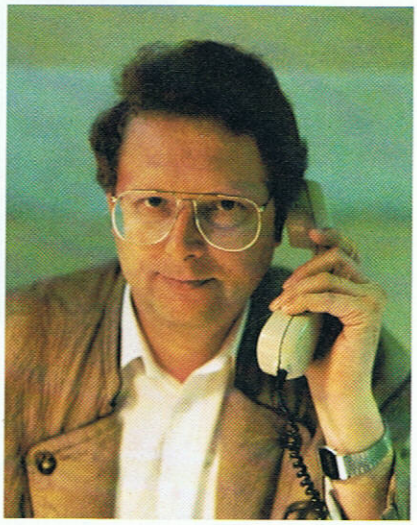
Beispiel einer Störspannungsmessung nach VDE 0871, gemessen mit dem R&S-EMI-Testsystem EP-6 und der Netznachbildung ESH 2-Z5.

In Ottobrunn bei München befaßte sich MBB schon frühzeitig und systematisch mit der EMV-Meßtechnik

Die erste Europa-Rakete gab den Anstoß

Seit etwa Mitte der 60er Jahre besteht die **Abteilung Elektromagnetische Beeinflußung** (EMB) bei **Messerschmitt-Bölkow-Blohm** in **Ottobrunn.** Aktueller Anlaß für die intensive und systematische Auseinandersetzung mit der EMV waren Entwicklungsarbeiten für die erste Europa-Rakete; hier wurde erstmals das Einhalten von EMV-Vorschriften verlangt. Seit dieser Zeit wurden die Aktivitäten von EMB kontinuierlich ausgebaut. Es kamen im Zusammenhang mit Luft- und Raumfahrtprojekten **Untersuchungen über NEMP** als Teil des Nuklearschutzes, elektrostatische Entladungen und Blitzschutz hinzu. Inzwischen macht man erste Ansätze, in **Tempest-Messungen** Fuß zu fassen.

Seit 1987 ist EMB in einem neuen Gebäude untergebracht, auf dessen Herzstück – eine 8,5 m hohe und mit 1-m-Absorbern ausgestattete **EMV-Kammer mit den Abmessungen 16 m × 11 m – Dipl.-Ing. Karl Rippl** besonders stolz ist. Seit über 16 Jahren beschäftigt er sich bei MBB mit der Elektromagnetischen Verträglichkeit: „Es gehören ja nicht nur die reine Meßtechnik, sondern auch die Beratung der Entwickler, und schließlich auch **Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit** dazu. Wenn man „es" gleich richtig macht, kann man eine Menge Geld sparen im Gegensatz dazu, wenn man erst bei der Qualifikationsmessung feststellt, daß man etwas nicht beachtet hat. Dann wird es teuer, dann werden Termine überzogen, es drohen Vertragsstrafen. Ich kann nur empfehlen, **so früh wie möglich in die EMV einzusteigen,** sich mit uns in Verbindung zu setzen und beraten zu lassen".



Dipl.-Ing. Karl Rippl ist in der Abteilung EMB bei MBB kompetenter Gesprächspartner des Entwicklers, wenn es um den Problemkreis EMV geht.

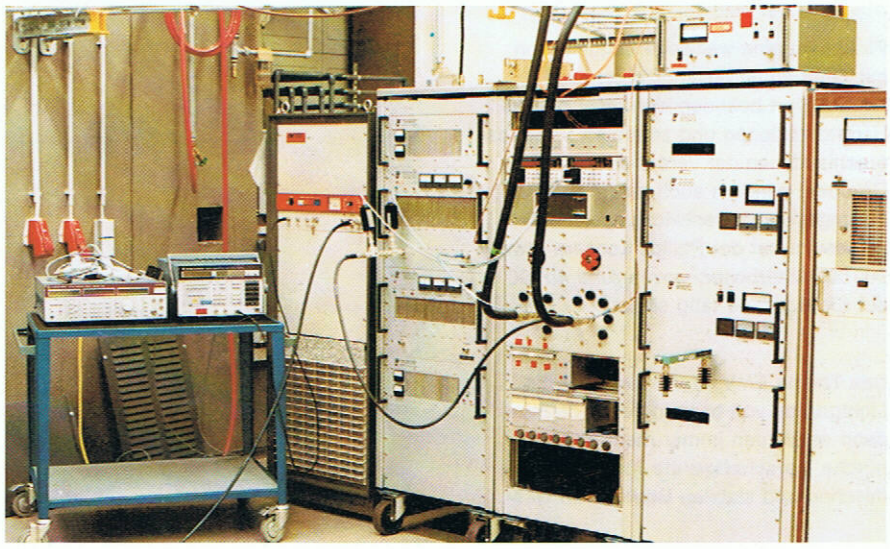
Alle hausinternen Projekte durchlaufen das EMV-Labor. Meistens sind es Produkte, die zum Beispiel im Hubschrauber

In der großen EMV-Kammer läßt sich sogar ein ausgewachsener Hubschrauber hinsichtlich seiner EMV-Qualitäten testen. Foto: MBB

oder in Flugzeugen eingebaut werden – Dinge also, die zusammen mit vielen anderen elektronischen Geräten funktionieren müssen. Auch komplette Systeme werden hier geprüft. Daneben verkauft man als unabhängiger Unternehmensbereich im Unternehmen auch Dienstleistung nach außen an alle Industriekunden, weil dafür beliebiger Bedarf vorhanden ist. An Räumlichkeiten mangelt es jedenfalls nicht; neben der großen EMV-Kammer gibt es noch zwei kleinere geschirmte Doppelkammern für Gerätemessungen, einen **EMP-Simulator** sowie einen großen Vorraum für die Einrüstung von Systemmessungen.

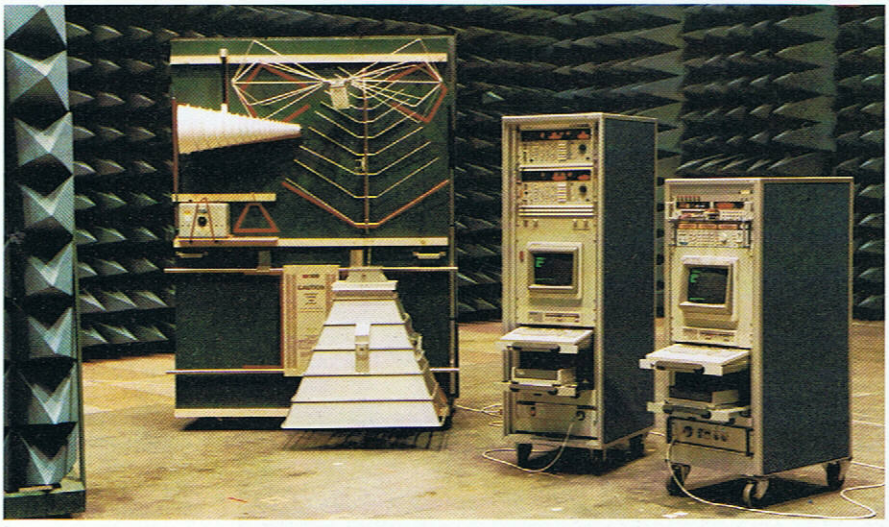
Für Karl Rippl, der sich im Auftrag seiner Firma auch als Obmann eines VG-Normenkreises für Meßverfahren und Grenzwerte engagiert, ist die EMV als ein über alle Elektronikspezialitäten hinweg integrierendes Fachgebiet eine gute Einstiegsmöglichkeit für den Ingenieur. „In der EMV spielt **nicht nur HF** eine Rolle, es ist **auch viel NF** dabei. Im Prinzip sind es immer die gleichen Probleme, natürlich angewandt auf den Spezialfall. Wir benützen ganz normale physikalische Kenntnisse, um EMV zu berechnen und durchzusetzen. Man muß das alles nur richtig anwenden und systematisch anpacken, dann verliert die EMV viel von ihrem vermeintlichen Mythos." Und schließlich zählt auch Erfahrung sehr viel in diesem Bereich: „Wir haben unter unseren Mitarbeitern, von denen einige in der Normung tätig sind, einen Stamm mit langjähriger Erfahrung. Ein Jungingenieur benötigt einige Jahre, bis er weiß, was in der EMV-Technik sinnvollerweise zu tun ist."

An Meßmitteln nutzt die EMV-Abteilung von MBB die gesamte Technik, die auf dem Markt ist. Für Empfangsmessungen setzt sie zwei Empfangsmeßplätze von Rohde & Schwarz ein: „Ein Meßplatz mit ESH 3 und ESVP zusammen deckt den Frequenzbereich von 9 kHz bis 1,3 GHz ab. Wir benutzen ihn von 20 kHz bis 1 GHz entsprechend den **MIL-Standards.** Der andere Meßplatz mit ESH 3 und EZM läuft vor allem für **RE-01- und CE-01-Messungen** im unteren Frequenzbereich von 20 Hz bis 50 kHz. Hier wenden wir die HF-ZF-Analyse an, um den Frequenzbereich nach unten abzudecken." In Störfestigkeitsmeßplätzen – sowohl leitungsgebunden als auch für die Felderzeugung – sind bei MBB viele R&S-Geräte im Einsatz, vor allem Signalgeneratoren wie SMPC, SMG, SMK. „Den SMPC verwenden wir in einem Störfestigkeitsmeßplatz für Felder und den SMG in einem **CS-Meßplatz,** also für leitungsgebundene Störfestigkeitsprüfungen. Schon früher hatten wir an dieser Stelle R&S-Geräte wie SLRC und SLRD in Gebrauch und sehr lange eingesetzt, weil sie robust und zuverlässig im Laborbetrieb waren.



Teilansicht des Verstärkerraums.

Sowohl der Meßplatz für Störaussendungen als auch der Störfestigkeitsmeßplatz sind mit R&S-Geräten bestückt.

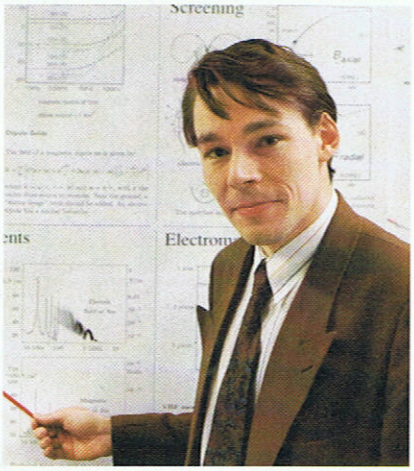


Störfestigkeits-Messungen machen wir **von einigen Hz ab bis momentan 18 GHz,** demnächst aber bis **40 GHz.** Damit decken wir das komplette Spektrum mit hohen **Leistungen von maximal 2 kW, bis 18 GHz effektiv 250 W,** ab und somit auch die meisten Standards wie MIL oder auch Forderungen der Kfz-Industrie." Zu dem Bestand an Meßempfängern und Signalgeneratoren von R&S gehören natürlich auch die entsprechenden Antennen und Stromzangen – eben alles, was man so in der üblichen Laborarbeit braucht.

Mit der Large-Loop-Antenne auf Störfeldsuche

Philips ist eine weltweite Organisation mit Zentrum im holländischen **Eindhoven.** Dort befinden sich nicht nur die Hauptdirektionen und zentralen Vertriebsorganisationen der verschiedenen Gruppen, sondern auch zahlreiche Forschungs- und Vorentwicklungslabors. Insgesamt hat der Philips-Konzern etwa 300 000 Mitarbeiter, wovon rund 40 000 in der **Lichtgruppe** tätig sind.

Das Thema EMV ist vor allem für die Lichtgruppe von besonderer Bedeutung, denn es werden immer mehr **elektronische Vorschaltgeräte** für den ökonomischen und stabilen Betrieb von **Gasentladungslampen** eingesetzt. Diese hochfrequenten Wandler müssen so konstruiert werden, daß sie sich in bezug auf EMV einwandfrei verhalten. Dies erfordert **zuverlässige und gut zu handhabende Meßverfahren** besonders im Frequenzbereich **bis 30 MHz,** wie er mit den Meßempfängern ESH 3 oder ESH 2 von Rohde & Schwarz erfaßt wird.



In der Lichtgruppe beschäftigt sich unter anderen **Dr. Jos R. Bergervoet** mit den Problemen der EMV in bezug auf elektronische Vorschaltgeräte. Seine besondere Vorliebe galt der Suche nach einer alternativen Meßmöglichkeit zu Freifeld und Schirmkabine, die nicht mit deren Nachteilen behaftet ist. „Wenn man in einer nicht sehr gut gedämpften Schirmkabine arbeitet, haben die Reflexionen einen sehr großen Einfluß auf das Meßergebnis. Zuerst versuchte ich, den Einfluß von Reflexionen in einem Raum zu berechnen und vorhersagen zu können, doch ist das Ergebnis stark abhängig von

Dr. Jos Bergervoet beschäftigt sich in der Philips Lighting speziell mit der EMV elektronischer Vorschaltgeräte und entwickelte zusammen mit Henk van Veen die Large-Loop-Antenne.

Eindhoven ist das Zentrum des weltweit operierenden Philips-Konzerns. Hier befindet sich die Vorentwicklung vieler Philips-Produkte. In der Lichtgruppe – hier deren Hauptgebäude – ist man intensiv mit EMV und deren Meßmöglichkeiten befaßt.

Der erweiterte Meßaufbau mit dem Störmeßsystem EP-6 erlaubt Funkstörmessungen im Bereich von 20 Hz bis 1,3 GHz u.a. nach CISPR, VDE, FCC und anderen Störmeßvorschriften.

Meßaufbau mit der Large-Loop-Antenne, Meßobjekt Gasentladungslampe und R&S-Meßempfänger ESH 3 für Störstrahlungsmessungen von 9 kHz bis 30 MHz.

den Raumabmessungen und der genauen Lage, in der man sich im Raum befindet.

Es ist zwar schön, daß man diese Reflexionen berechnen kann, aber für die Praxis ist dies unbrauchbar. Daher mußte nach einer anderen Meßmethode gesucht werden."

Nach einigen Arbeiten kam man auf die Idee, **mit einer großen Ringantenne eine Messung um das Objekt herum zu machen.** Für erste Experimente verwendete man eine Schleife aus geschirmtem Koaxialkabel, aufgespannt auf einem Holzrahmen. Der Außenleiter wurde am oberen Teil der Schleife aufgetrennt, und am unteren Teil befand sich ein Stromtransformator zur Messung des Innenleiterstroms. Aus vielen Messungen mit dem ESH 3 ließen sich Empfindlichkeit und Frequenzcharakteristik dieses Gebildes bestimmen, natürlich auch die Empfindlichkeit für Störquellen aus der Umgebung. Als problematisch erwies es sich, den Frequenzbereich dieser Schleife bis auf die geforderten 30 MHz auszudehnen. „Wir haben dann einen anderen Aufbau entwickelt, nämlich zwei halbe statt einer Windung. Hier ist die Induktanz kleiner und der Frequenzbereich um den Faktor zwei größer. Das genügte dann schon fast für unsere Zwecke. Aber: Auch wenn die Resonanz der Schleife oberhalb des gewünschten Frequenzbereichs liegt, so nimmt doch in ihrer Nähe die Empfindlichkeit ab. Diesen Effekt konnten wir schließlich durch eine **spezielle Widerstandskonstruktion** beseitigen, die an den Kabelmantel-Schnitten angebracht ist. Mit dieser Konstruktion, einer 2-m-Schleife, ergab sich dann eine **gute Frequenzcharakteristik bis 60 MHz.**"

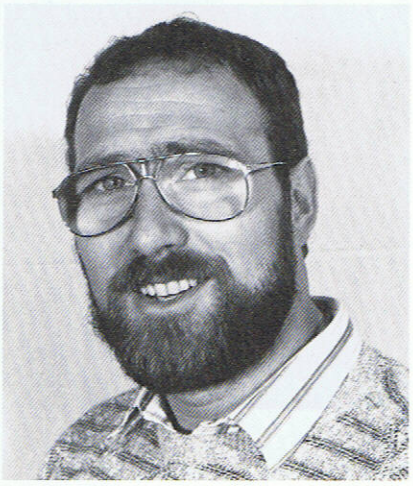
Um nun alle drei Feldkomponenten des Meßobjektes empfangen zu können, müßte man entweder das Meßobjekt oder die Antennenschleife entsprechend drehen. Bequemer läßt es sich allerdings mit **drei Antennenschleifen** messen, die entsprechend der drei Feldkomponenten angeordnet und mit einem Umschalter versehen sind. Dabei wird allerdings nicht bei jeder gemessenen Frequenz dreimal umgeschaltet, denn das wären beispielsweise bei 5000 Messungen 15000 Umschaltungen und damit eine enorme Belastung für die Schalterlebensdauer. In **CISPR** ist festgelegt, daß in jeder Ebene gemessen werden muß, und der jeweils höchste gemessene Wert wird als Ergebnis verwendet.

Bei der Vorstellung dieser „Large-Loop-Antenne" gab es viel Begeisterung über deren Zuverlässigkeit vor allem hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse. „Wir sind zu vielen Leuten damit gegangen, und CISPR hat dann vorgeschlagen, einen **Round Robin Test** damit zu machen. Eine der Large-Loop-Antennen wurde zerlegt, in einen Koffer gepackt und zusammen mit zwei Meßobjekten um die Welt geschickt. Die Leute aus dem EMV-Business haben dann mit ihren eigenen Meßempfängern Messungen durchgeführt und die Meßwerte an CISPR weitergeleitet. Dort wurden die Werte miteinander verglichen. Auf diese Weise wurde bestätigt, daß es sich bei unserer Antenne um ein ausgezeichnetes Meßgerät – es fällt damit unter CISPR A – handelt." Im übrigen werden mit der Large-Loop-Antenne nicht nur Gasentladungslampen und ihre Wandler nach CISPR F, sondern auch größere Geräte wie Monitore oder Fernsehgeräte getestet.

Die Sektion Empfang und Informatik der PTT in Bern ist für EMV- und Versorgungsmessungen zuständig

Störstrahlungsmessungen als Teil der Typenprüfung

Neben der Durchführung grundsätzlicher Studien über Konzeption und Aufbau radioelektrischer Fernmeldesysteme befaßt sich **Peter Hofer** in der **Sektion „Empfang und Informatik" der PTT in Bern** überwiegend mit EMV-Problemen, und hier speziell der **Messung von leitungsgebundener Störstrahlung.** Zu den weiteren Aufgaben dieser Sektion gehört die Bearbeitung von Problemen im Empfangsbereich bei Rundfunk und Fernsehen, teilweise auch bei Mobilfunkdiensten. Da gibt es diverse Arbeitsgebiete wie beispielsweise Versorgungsmessungen, also **Feldstärkemessungen von TV- und UKW-Sendestationen,** sowie die Ermittlung von Reichweite und Empfangsbedingungen von Sendeanlagen öffentlicher Funkdienste.
Bis jetzt ist es in der Schweiz nicht so, daß vor dem Betrieb eines Gerätes eine Bewilligung vorliegen muß. „In der Schweiz bedürfen Geräte für den allgemeinen Gebrauch einer **Typenprüfung durch den SEV,** um das **Sicherheitszeichen** zu erhalten. In dieser Typenprüfung sind auch **Messungen des Störvermögens** enthalten, und ein Teil davon gehört zu meiner Arbeit. Seit etwa 1971 beschäftige ich mich mit diesem Themenkreis. In der momentanen Situation kommen wir nur auf Grund einer Störung zum Einsatz. Ich messe also im Störungsfall das Störvermögen der in Frage kommenden Geräte und Anlagen nach. Hauptsächlich befasse ich mich dabei mit Einzelanlagen, beispielsweise großen Industrieanlagen, und das bedingt natürlich auch **Messungen vor Ort."**



Peter Hofer bearbeitet seit 1974 in der Sektion RT3 der Generaldirektion PTT in Bern die Bereiche Feldstärke- und Versorgungsmessungen sowie die Messung leitungsgebundener Störstrahlung.

Mit diesem Meßwagen, in den ein fernbedient ausfahr- und drehbarer Teleskopmast eingebaut ist, werden Feldstärke- und Versorgungsmessungen mit ESH 3 und EZM durchgeführt. Die Meßergebnisse protokolliert ein Drucker PUD 2.

Für die Bewältigung der vielfältigen Aufgaben im Bereich Feldstärke- und Versorgungsmessungen ist ein entsprechender Meßgerätepark unabdingbar. „Zur Zeit verwende ich ein **Störmeßsystem EP-6** von Rohde & Schwarz, und vom Meßempfänger ESVP sind hier in der Gruppe für Versorgungsmessungen gleich vier Stück in Betrieb. Außerdem verwenden wir als mobile Meßempfänger den ESH 2, und vom ESV sind etwa 20 Stück in Betrieb." Das Gebiet der Schweiz ist in **17 Direktionen** aufgeteilt; jeder Direktion stehen mindestens ein ESV und ein MINIPORT-Empfänger EB 100 zur Verfügung.

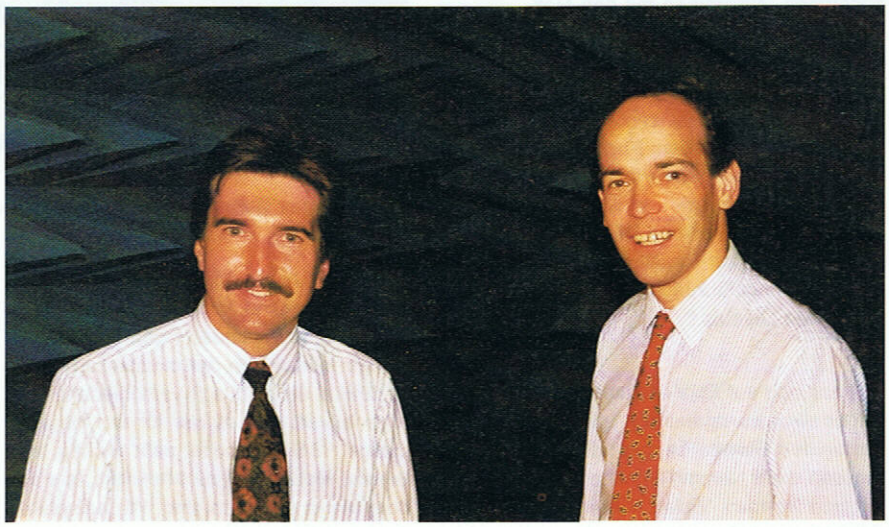
Vor allem bei Störspannungsmessungen, bei Störstrahlungsmessungen von beispielsweise ISM-Geräten sowie auch bei allgemeinen Versorgungsmessungen werden die Gerätesteuerung und der Meßablauf von der **R&S-Universalsoftware EZM-K1** durchgeführt. „Es ist zwar möglich, daß wir später einmal selbst eine Software entwickeln; auf jeden Fall sind wir sowohl mit den R&S-Geräten als auch der mitgelieferten Software sehr zufrieden."

Im mobilen Bereich kommen **nur professionelle Empfangsantennen** zum Einsatz. „Ich verwende zum Beispiel die Antennen von R&S im **Frequenzbereich von 9 kHz bis 1000 MHz.** Sie werden an einem aus Vierkantrohr selbst gebauten, fernbedient ausfahr- und drehbaren Teleskopmast befestigt, der in dem Meßwagen – einem VW-Bus – eingebaut ist."

Jungunternehmer spezialisieren sich erfolgreich in Englands EMV-Business

In Qualität und Service den höchsten Standard bieten

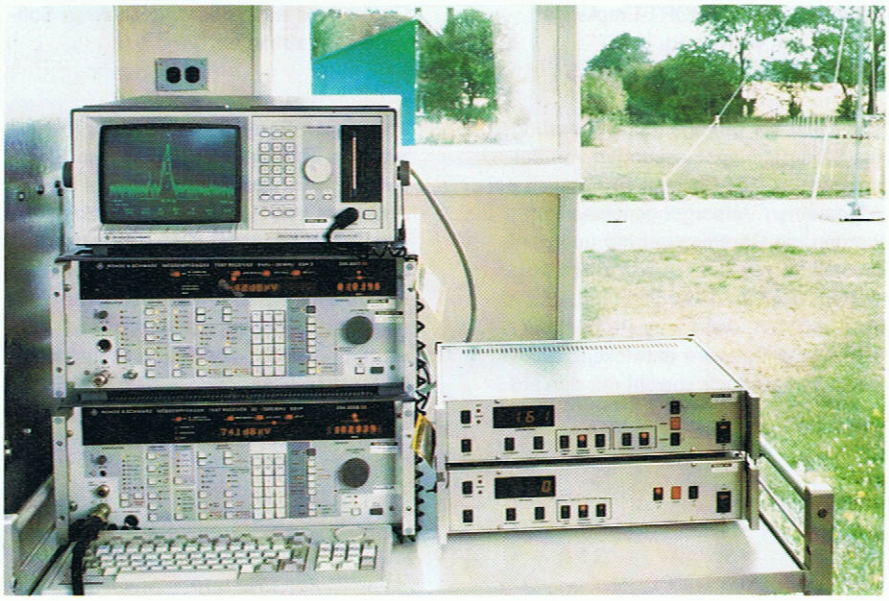
Das **unabhängige EMI-Testhaus RFI Ltd.** (Radio Frequency Investigation) wurde 1987 von **Stephen Kirk** und **Bryan Watson** in **Basingstoke** gegründet. „Während einer Diskussion anläßlich einer Party im Jahre 1986 stellten wir beide fest, die gleiche Idee zu haben, jedoch ohne konkrete Maßnahmen ergriffen zu haben. Uns beiden war klar, daß es eine **starke Nachfrage bezüglich erstklassiger und unabhängiger EMC-Testanlagen** im nichtmilitärischen Bereich gibt. Wir entschieden uns für einen Standort in einer ländlichen Region im Südosten Englands; einerseits **weit genug entfernt von eventuellen Störungen,** andererseits noch nahe genug an wichtigen Kunden."



Bryan Watson (links) und Stephen Kirk, die beiden Gründer und Direktoren von RFI in Basingstoke.

Im Sommer 1987 wurde mit den ersten Umbauarbeiten an einem Bauernhof und der Errichtung eines **30-m-Freifeldmeßplatzes** begonnen. Heute besteht der ehemalige Bauernhof aus mehreren Komplexen. So stehen **für EMI-Messungen zwei Schirmkabinen** samt einem kleineren geschirmten Raum für die Meßgeräte zur Verfügung. Neben dem 30-m-Freifeld gibt es noch einen **3-m-Freifeldmeßplatz.** Gestrahlte EMS-Prüfungen werden in einer mit Absorbern ausgestatteten Schirmkabine durchgeführt; Meßgeräte und Verstärker sind dabei in getrennten Schirmkabinen untergebracht. Für **geleitete Suszeptibilitätstests und ESD-Messungen** wurde ein **Meßlabor** eingerichtet. In einem weiteren Labor werden an zwei Meßplätzen **Typprüfungen an Funkgeräten** durchgeführt.

Von Anfang an hatten sich die beiden Gründer vorgenommen, **in punkto Qualität den höchsten Standard zu bieten.** Nicht allein die Qualität der Meßergeb-



EMI-Meßsystem EP-6 von Rohde & Schwarz, wie es RFI für Freifeldmessungen einsetzt.

Emco-Antennenmast und Drehtisch eingesetzt.

Ein zusätzlich gebotener Service umfaßt die **Modifikation** bereits fertiger Geräte, die bestimmten EMV-Normen genügen müssen. Wenn der Hersteller für dieses Produkt keine Reserven an Designingenieuren hat, erstellt RFI einen Plan, wie sich das Produkt EMV-gerecht modifizieren läßt und stellt einen Kostenvoranschlag für notwendige Änderungen auf.

Zu 75% seiner Kapazität ist das Testhaus mit der EMV-gerechten Geräteentwicklung ausgelastet, während die restlichen 25% reine **Abnahmemessungen** sind. Bei den Geräten handelt es sich zumeist um informationstechnische Einrichtungen (ITEs), und zwar von PCs und Peripheriegeräten bis hin zu Großrechenanlagen und Telekom-Einrichtungen.

nisse betreffend, sondern vor allem auch die Qualität hinsichtlich des **Service;** es sollte ein anwenderfreundlicherer Service geboten werden als bisher. Im Entwicklungsstadium der Geräte sind eine Reihe von Tests notwendig, und es ist sehr wichtig, **daß der Kunde bei den Messungen dabei ist** und so die Möglichkeit hat, eventuell notwendige Designänderungen sofort an Ort und Stelle vorzunehmen. Zusammen mit den Meßtechnikern werden die Ursachen von Problemen untersucht und mögliche Lösungen erarbeitet. „Wir können so ein Produkt bereits im Konzeptstadium betrachten und mit dem Kunden zusammenarbeiten. Wir geben ihm von Anfang an durch alle Design- und Entwicklungsstufen **die erforderliche Beratung,** beispielsweise zur Erstellung einer optimalen Leitungsführung oder des bestmöglichen Layouts."

Automatischer Meßplatz für Messungen an Funkgeräten.

RFI hat sich auf **EMV-Messungen nach nationalen, europäischen und internationalen Standards** spezialisiert. „Wir messen nach nichtmilitärischen Vorschriften und Normen. Viele unserer Kunden möchten nach Deutschland oder den USA exportieren, so daß wir nach **VDE,** nach **FCC-Norm Teil 15 und 18,** nach den **Euronormen der CENELEC** wie **EN 55022** (ITE) und natürlich den **BSI-Standards** messen. RFI ist bei **NAMAS** (National Measurement Accreditation Services) akkreditiert, so daß sichergestellt ist, daß RFI die nationalen Qualitätsanforderungen erfüllt. Daneben haben unsere Kunden weitere Exportländer ins Auge gefaßt wie Japan oder Canada, wo es wiederum eigene Normen gibt. Für die Störaussendungsmessungen untersuchten wir hinsichtlich der einzusetzenden Meßmittel sehr kritisch verschiedene Alternativen, und es war für uns als ehemalige R&S-Mitarbeiter sehr wichtig, **die besten Meßgeräte zu erwerben,** die auf dem Markt erhältlich sind. Wir entschieden uns deshalb für das **Störmeßsystem EP-6** von Rohde & Schwarz, weil wir der Meinung sind, daß es am leistungsfähigsten ist. Unsere beiden Meßplätze sind daher mit dieser optimalen Kombination von Meßeigenschaften und -geräten – den zwei Meßempfängern ESH 3 und ESVP mit dem Spectrum Monitor EZM – ausgestattet." Für Freifeldmessungen wird die **Störmeßsoftware EZM-K1** in Verbindung mit einem automatischen

Mit der Veröffentlichung der **EMV-Richtlinie Nr. 89/336/EEC** des Europäischen Rates sind die Hersteller nicht nur an EMI-Messungen, sondern auch an **EMS-Messungen** interessiert. Deshalb hat RFI die für Messungen nach den **IEC-801-Standards** benötigten Meßgeräte beschafft. So wurden Meßgeräte von Rohde & Schwarz mit Verstärkern und einer automatischen Steuerung zu einem **EMS-System** „verheiratet". „Da unsere Kunden zunehmend an der ganzen Palette von EMV-Tests interessiert sind, haben wir uns zusätzlich die Möglichkeiten zur **Durchführung von ESD- und Transiententests** geschaffen."

Um die stetig ansteigende Anzahl von Messungen zu bewältigen, und auch im Hinblick auf zukünftige neue Tests, werden weitere Baumaßnahmen durchgeführt. In Planung ist dabei **ein weiterer 30-m-Freifeldmeßplatz.** Für die Zukunft sieht RFI die Möglichkeit, in UK weitere Testhäuser aufzubauen und vor allem die Marketing- und Sales-Aktivitäten auch außerhalb des Landes auszuweiten. „Wir haben uns bezüglich der Qualität und des Service einen Namen gemacht und möchten unseren Mitbewerbern **immer einen Schritt voraus** sein."

Technologie für das menschliche Leben, so lautet das Leitmotiv von Samsung Electronics

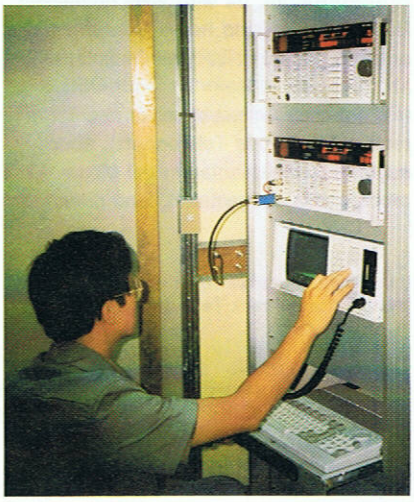
„Human Tech" erfordert rigorose Qualitätstests

In unserer heutigen Informationsgesellschaft ist es die Elektroindustrie, die führende Technologien entwickelt, um unser Leben sicherer und angenehmer zu machen. Seit der Gründung im Jahre 1969 ist **Samsung Electronics** von diesem Gedanken erfüllt, und so ist „Human Tech" oder „Technologie für das menschliche Leben" auch das Leitmotiv. Mit **39 000 Mitarbeitern** und einer starken weltweiten Präsenz gehört Samsung **zu den größten multinationalen Elektronikkonzernen.**

Die Firma ist in so unterschiedlichen Feldern wie Halbleitertechnologie, Fiberoptik-Kommunikationssystemen, Schaltnetzwerken, Telekommunikation, Computer und Büroautomatisierung, Industrieelektronik, Video- und Audioelektronik sowie der Haushaltselektronik vertreten.

Um den Kunden stets optimal zu bedienen, werden die ohnehin schon hoch angesiedelten Qualitätsstandards ständig verbessert. Alle entwickelten Produkte werden in der **Quality Management Division in Suwon,** Südkorea, einem **rigorosen Qualitätstest** unterworfen. Die Labors dieser Abteilung arbeiten mit den modernsten Test- und Meßsystemen. Es werden Funktions- und Belastungstests, seit 1987 **EMI-Tests** und neuerdings auch **EMS-Tests** durchgeführt.

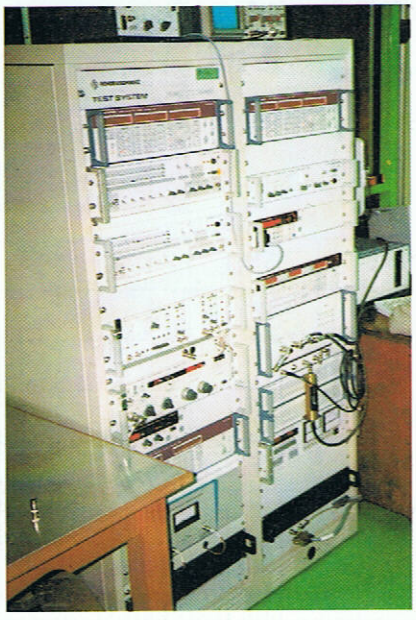
Von Anfang an war es für die Testingenieure in Suwon klar, daß für die EMI-Tests nur Meßgeräte von Rohde & Schwarz in Frage kommen. Auch die Entscheidung, ob manuell oder automatisch gemessen werden soll, war einfach zu treffen. Man wählte die Störmeßsysteme EP-6 und konnte somit **schnell und zuverlässig nach den weltweit gültigen Standards messen.** Da aber auch in Korea die EMV-Diskussion voll im Gange ist, werden viele **unkonventionelle Untersuchungen manuell durchgeführt.** Daß diese Möglichkeit der manuellen Messung besteht, wird an den EP-6-Systemen sehr geschätzt.



Won-Ki Choi – hier an einem Störmeßsystem EP-6 – leitet den Bereich Qualitätssicherung bei Samsung in Suwon.

Der Schwerpunkt der Tests liegt momentan noch in der Unterhaltungselektronik, wobei neuerdings Tests für Geräte der Datenverarbeitung zunehmen. Die guten Erfahrungen, die Samsung auf dem EMI-Sektor mit Rohde & Schwarz gemacht hat, führte zur Beschaffung von zwei vollautomatischen EMS-Testsystemen TS 9980 für Störbeeinflussungstests an Audio- und Videogeräten nach EN 55 020 (VDE 0872). Somit deckt nun Samsung **beide Teilbereiche der EMV-Tests vollautomatisch** ab.

Won-Ki Choi, General Manager des Quality Assurance Department, und seine EMV-Testingenieure sind von der Zuverlässigkeit und Genauigkeit ihrer R&S-Testanlagen überzeugt. Laut Choi garantiert Samsung, daß jedes Produkt, das den Namen Samsung Electronics trägt, allen internationalen Qualitätsstandards – insbesondere auch die EMV betreffend – gerecht wird.

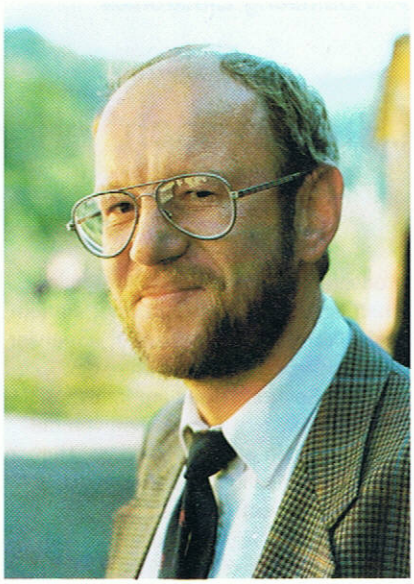


EMS-Testsystem TS 9980 von Rohde & Schwarz, bei Samsung im Einsatz für Tests an TV- und Radiogeräten.

EMV als Werkzeug der Qualitätssicherung

Im Bereich der High-Tech-Produktion ist die **Schrack-Elektronik AG** eines der führenden privaten Unternehmen Österreichs. Der Hauptsitz des Unternehmens ist **Wien;** inländische Produktionsstätten befinden sich in **Waidhofen an der Thaya** und in **Kindberg.** Im Ausland wird im Rahmen von Joint-Ventures in Mexico und Brasilien gefertigt. Das Unternehmen ist in den Produktionsbereichen Telekommunikation, Datenübertragung, Funk- und Übertragungstechnik einschließlich Glasfasertechnik, Sicherheitstechnik, Stromversorgung, Relais, Anlagenbau und Weltraumtechnik tätig.

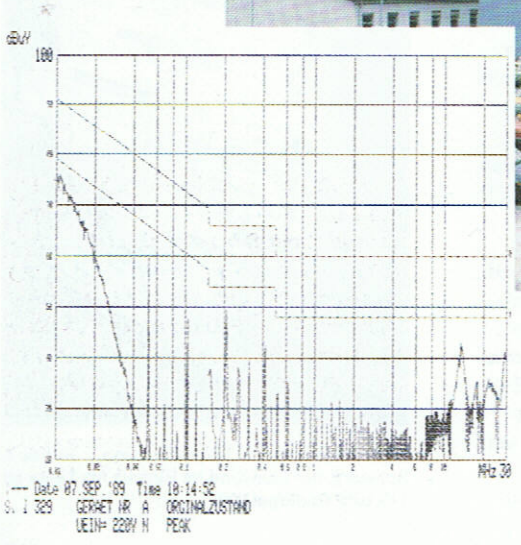
Das Qualitätswesen hat bei Schrack einen besonderen Rang im Unternehmen. Es untersteht daher direkt dem Vorstand, ist dem jeweiligen Produkt-Anwendungsbereich angepaßt und in die Entwicklungsphase jedes Produkts integriert. Für EMV-Messungen sind in Wien und im Werk Kindberg **EMV-Kammern** eingerichtet worden. **Ing. Walter Pezenka,** Leiter des Bereichs Prüftechnik bei Schrack Telecom in Wien, erläutert die unterschiedlichen Aufgabenstellungen dieser beiden EMV-Kammern: „Grundsätzlich durchlaufen in Wien zunächst **alle Geräte-Prototypen** und später auch die **Vorserie** ein **umfassendes EMV-Prüfprogramm,** da wird alles gemessen. Beispielsweise sind heute Telefonanlagen, digitale Nebenstellenanlagen, Modems, die **Amtstechnik für OES-D** (ein digitales Amtssystem für das österreichische digitale Telefonnetz), aber auch Feuermeldeanlagen mit Mikroprozessoren ausgestattet. Und diese

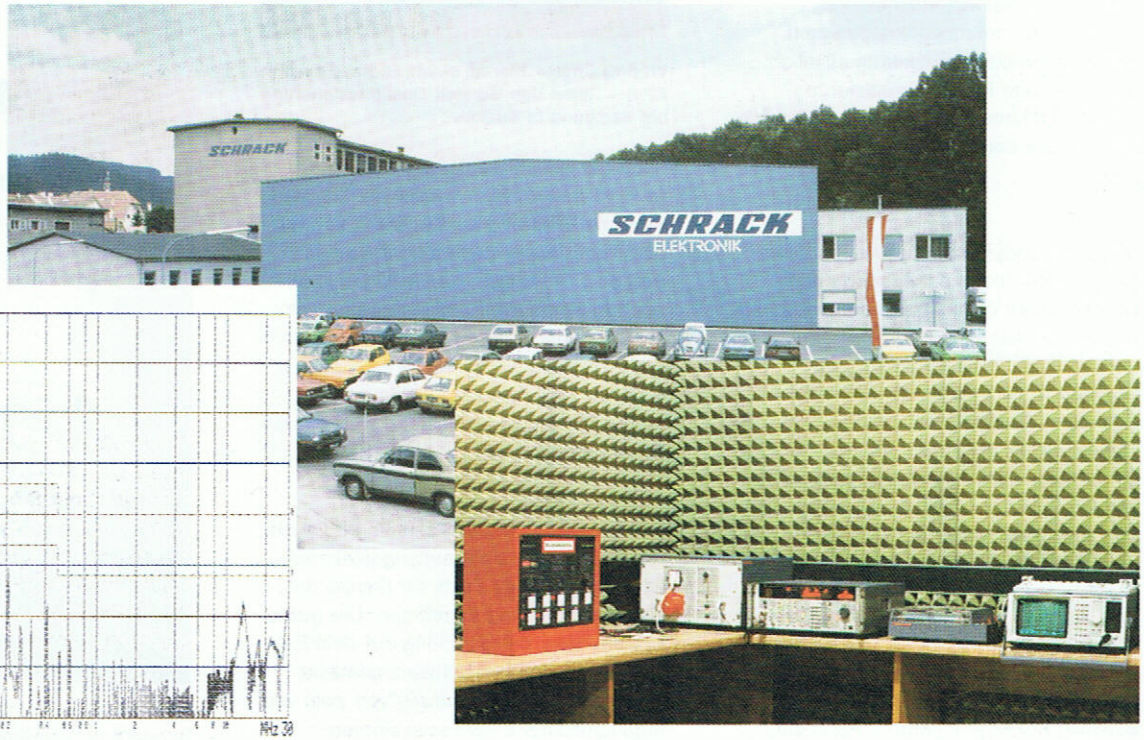


Ing. Walter Pezenka leitet den Bereich Prüftechnik der Schrack Telecom in Wien.

Im Werk Kindberg in der Steiermark werden unter anderem Schaltnetzteile in großer Stückzahl gefertigt und in einer EMV-Kammer auf Störemissionen untersucht. **Foto: Schrack Telecom**

Leitungsgebundene Störungen eines Schaltnetzteils der 130-W-Klasse, aufgenommen mit ESH 3, ESH 2-Z5 und EZM.



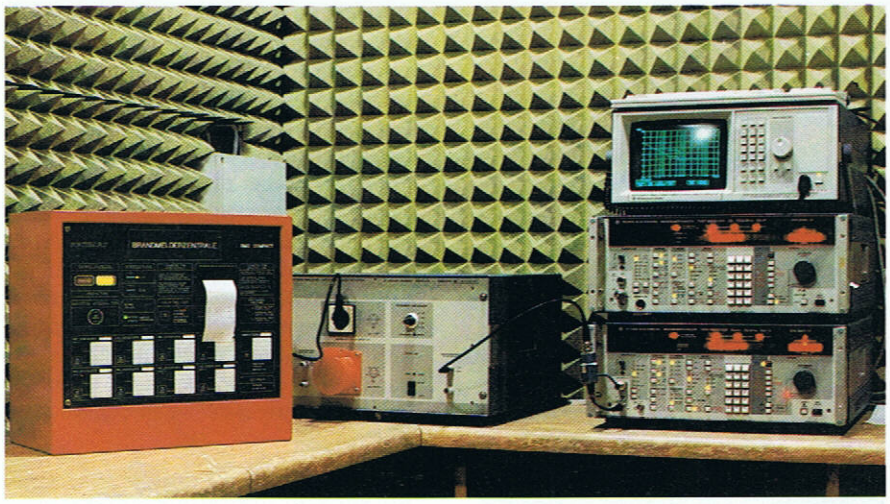


Blick in die EMV-Kammer des Werks Kindberg.

Mikroprozessoren haben nun mal die Eigenschaft, gewisse Störungen zu verursachen, und somit werden diese Geräte auf Störemissionen untersucht. In der EMV-Kammer des Werkes Kindberg werden vor allem die dort für europäische und amerikanische Hersteller in großen Stückzahlen produzierten **Schaltnetzteile** – sie machen EMV-mäßig die meiste „Musik" – untersucht."

Und gerade Schaltnetzteile sind in bezug auf Störemissionen eine sehr komplexe Materie. „Bei Filteraufbauten oder den Wickelgütern gibt es immer wieder Rationalisierungsmaßnahmen. Damit ergibt sich ein **geändertes Störverhalten des Prüflings,** und dies wird anhand von Prototypen in Wien auf **leitungsgebundene Störungen und Störstrahlung** untersucht. In Kindberg werden dann Vorserien von 50 bis 100 Stück vermessen, und zwar auf leitungsgebundene Störungen im Bereich bis momentan **30 MHz.** Dabei **streben wir immer an, 6 dB unter dem Limit zu bleiben."**

„Die Geräte sind für den internationalen Markt bestimmt mit Schwerpunkt Europa und USA. Das ist der Grund, warum unsere Geräte allen in diesen Ländern



Detailansicht der EMV-Kammer von Schrack Telecom in Wien. Hier untersuchen gerade ESH 3, ESVP und EZM eine Brandmeldezentrale des Typs BMZ-Compact auf leitungsgebundene Störungen.

gültigen Vorschriften entsprechen müssen. Bezüglich der Sicherheitsbestimmungen haben die skandinavischen Länder die strengsten Auflagen."

EMV-Prüfungen werden in Wien seit etwa 1984 und in Kindberg seit der Erweiterung des Werkes 1986 vorgenommen, und von Anfang an sind Meßempfänger von Rohde & Schwarz dabei. „Für die EMV-Kammer in Wien haben wir schrittweise einen ESH 3, einen ESVP und einen Spectrum Monitor EZM gekauft, gewissermaßen ein Störmeßsystem EP-6 auf Raten. In Kindberg sind es ein ESH 3 und ebenfalls ein EZM. Dazu kommen noch solche Dinge wie eine Netznachbildung ESH 2-Z5 oder eine T-Netznachbildung ESH 3-Z4 für nachrichtentechnische Produkte."

In 30 Ländern steht VDE als Warenzeichen oder Dienstleistungsmarke für anerkannten Sicherheitsstandard

Funkstörungs-Messungen für mehr Sicherheit und Qualität

Jährlich etwa 16000 Prüfungen führt die **VDE-Prüfstelle** in **Offenbach** für 2100 inländische und 1400 ausländische Hersteller durch. Über 350 Mitarbeiter, darunter 70 Ingenieure und 190 Techniker, sind in dieser neutralen und unabhängigen Institution beschäftigt; die Laboratorien allein weisen eine Nutzfläche von 17000 m² auf. Die mittlerweile erworbene Prüferfahrung ist enorm und gilt als die umfassendste in Europa, denn die VDE-Prüfstelle existiert seit 1920. Seither verkörpert sie das Prüf- und Zertifizierungssystem des VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.). Das **VDE-Zeichen** wird auf Grundlage von international aufeinander abgestimmten und vereinbarten VDE-Bestimmungen erteilt und ist in vielen Ländern bekannter als einheimische nationale Prüfzeichen. Rund 200000 Typen elektrotechnischer Erzeugnisse tragen mittlerweile ein VDE-Prüfzeichen und unterliegen damit der Fertigungsüberwachung.

Innerhalb der verschiedenen Bereiche bearbeitet die **Abteilung TF** das Aufgabengebiet der Störmessungen. Im **Laboratorium für Funkstörungs-Messungen** untersucht Dipl.-Ing. (FH) Lothar Ott seit 1981 das aktive Störvermögen von Elektrogeräten aller Art, wobei im Laufe der Jahre Funkstörungs-Messungen an Datenverarbeitungsprodukten immer mehr in den Vordergrund getreten sind. „Wir befassen uns in dieser Gruppe vor allem mit Messungen nach

Dipl.-Ing. (FH) Lothar Ott, Laboratorium für Funkstörungs-Messungen der VDE-Prüfstelle Offenbach.

DIN VDE 0871 – also an Geräten, die Hochfrequenzenergie mit Arbeitsfrequenzen oberhalb von 10 kHz enthalten – und DIN VDE 0878 Teil 1 und Teil 3. Das aktive Störvermögen messen wir in Schirmkabinen und auf einem unserer Freifelder, wobei zuerst in der Schirmkabine die Funkstörspannungen gemessen und verschiedene Vormessungen von E- und H-Feld durchgeführt werden. Somit verschaffen wir uns in den Schirmkabinen einen ersten Überblick, bevor es aufs Freifeld geht. Wegen der dort vorhandenen Fremdsignale dauert es sonst länger, die interessierenden Signale zu finden."

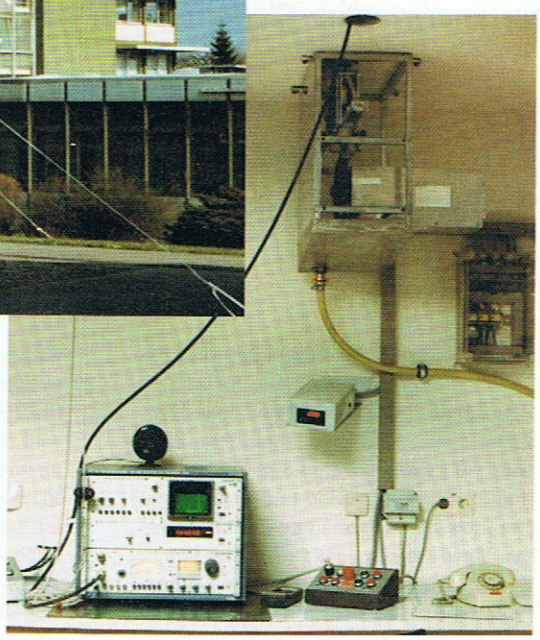
Die Ausstattung an Meßräumlichkeiten entspricht der umfangreichen Aufgabenstellung: so gibt es fünf Schirmkabinen ohne Absorber. An Freifeldern sind eine 10-/30-m-Meßstrecke, eine 10-m-Meßstrecke und eine gelegentlich benutzte 3-m-Strecke vorhanden. Für den Einsatz im Freien – für H-Feldmessungen – verwendet Ott einen mobilen Meßplatz. Er besteht aus einem R&S-Meßempfänger ESH 2, der zusammen mit einer Netznachbildung und einer Rahmenantenne HFH 2-Z2 auf einem Laborwagen installiert ist. „Es sind ja die Grenzwerte in verschiedenen Meßentfernungen definiert, und da kann es notwendig werden, den entsprechenden Abstand einzustellen.

Nach der schon erwähnten Übersichtsmessung in der Schirmkabine geht man auf 3 m Meßentfernung und, wenn notwendig, vergrößert man die Meßentfernung auf die jeweils in den Produktnormen geforderte Meßentfernung von 30 oder 100 m (DIN VDE 0871) bzw. 3, 10 oder 30 m (DIN VDE 0878 T30). Deshalb brauchen wir einen fahrbaren Meßaufbau."

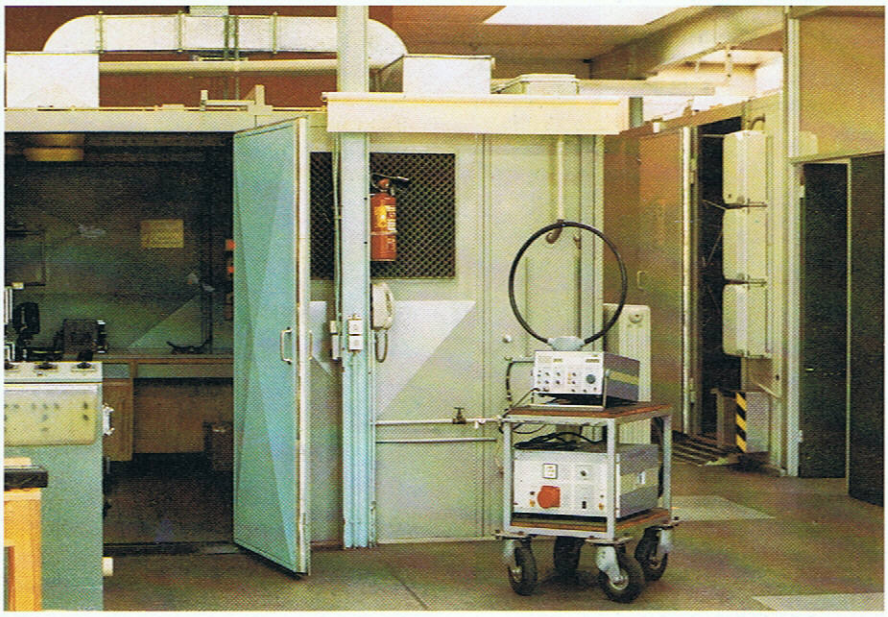
Zur E-Feldmessung werden zwei R&S-Meßplätze eingesetzt, eine VHF-UHF-Meßeinrichtung MSU sowie ein Meßempfänger ESVP mit Spectrum Monitor EZM

Blick über das 10-/30-m-Freifeld auf einen Teil der VDE-Laboratorien.

Für E-Feldmessungen sind unterhalb des 10-/30-m-Freifeldes ein ESVP mit EZM und EPM...



... und eine VHF-UHF-Meßeinrichtung MSU installiert.



und Panorama Monitor EPM. „Mit diesen Geräten führen wir nicht nur, aber überwiegend unsere DIN-VDE-0871- und DIN-VDE-0878-Messungen durch. Dazu verwenden wir auch die passenden Meßantennen von Rohde & Schwarz, und zwar einen Breitbanddipol und eine log.-per. Breitbandantenne. Daneben setzen wir noch andere R&S-Meßgeräte in unserer Abteilung ein wie Eichleitungen, Meßsender, Leistungsmeßsender, Psophometer, HF-Millivoltmeter und vieles mehr." Messen und Prüfen stehen eben für Sicherheit und Qualität.

Mobiler Kompakt-Meßplatz für H-Feldmessungen, bestehend aus einem Laborwagen, ESH 2 und HFH 2-Z2, vor der beeindruckenden Kulisse der vielen Schirmkabinen.

Schon heute von 20 Hz bis 40 GHz, und morgen bis 100 GHz

Europas größtes und modernstes EMV-Testzentrum steht in Greding

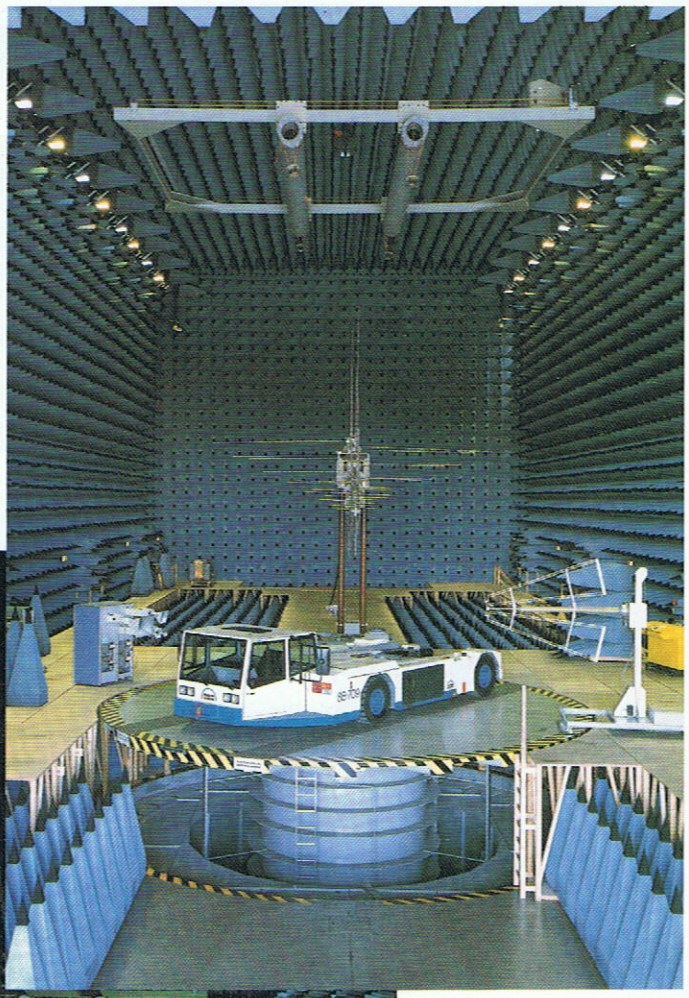
Bei der Entwicklung von Großprojekten, aber auch einzelnen Anlagen, Systemen und Geräten mit hohem Elektronikanteil müssen gezielte Untersuchungen der Elektromagnetischen Verträglichkeit erfolgen, damit die fertigen Systeme störungsfrei arbeiten. Die **Wehrtechnische Dienststelle 81 der Bundeswehr** (WTD 81) im mittelfränkischen **Greding** bearbeitet alle Prüfungen an Geräten und Systemen für Heer und Luftwaffe. Zur Bewältigung dieser anspruchsvollen Aufgabenstellung entstand dort 1989 nach dreijähriger Bauzeit – nach eigenen Angaben **richtungsweisend für das Jahr 2000** – Europas größtes und modernstes EMV-Testzentrum. Meßtechnische Ausstattung und Systemintegration lagen dabei in der Verantwortung von Rohde & Schwarz.

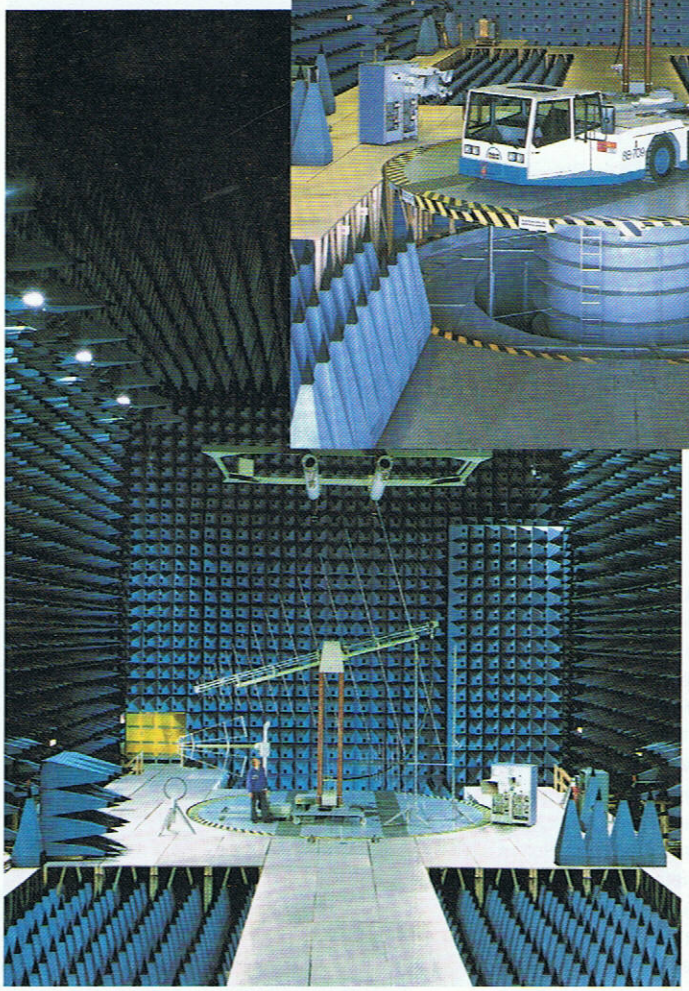
Im Dezernat 321 der WTD 81 ist **Baurat Klaus Ruffing** zuständig für den Bereich EMV: „Im Mai 1967 habe ich hier in Greding mit dem begonnen, was man heute EMV nennt; damals hieß es Funk-Entstörung. Die Planungen für das EMV-Test-

Blick auf das EMV-Testzentrum Greding mit der größten Absorberhalle Europas und einer Nutzfläche von rund 2000 m².

Baurat Klaus Ruffing ist zuständig für den Bereich EMV der WTD 81 in Greding.

Die Drehscheibe in der großen Absorberhalle stellt auch „größere Testobjekte" in die gewünschte Richtung.





Verschiedene Spezialantennen für Störfestigkeitsmessungen, E/H-Generator und Mikrowellensystem, zusammengestellt in der großen Absorberhalle.

zentrum, das hier nun steht, gehen zurück auf das Jahr 1972. Unsere Dienststelle insgesamt ist zuständig für die Erprobung von Fernmelde- und Elektronikgeräten, wobei mein EMV-Labor **Untersuchungen auf der Geräteebene und auf der Systemebene** durchführt." Als Fernmelde- und Elektronikdienststelle bearbeitet man den **Frequenzbereich von 20 Hz bis derzeit 40 GHz** – künftig auch bis **100 GHz** – und ermöglicht Untersuchungen nach **VDE, FCC, MIL-STD 461/462, VG 95370-379, 96901-908** und **STANAGs.**

Die technischen Einrichtungen dieses EMV-Testzentrums sind bereits von den Abmessungen her beeindruckend. Das Herz der Anlage ist die **geschirmte, geschweißte Absorberhalle** mit den Abmessungen **41 m × 16 m × 14 m** (Schirmhülle 45 m × 20 m × 18 m), die mit **8500 70"-Absorbern** bestückt ist. Zur Sicherstellung der Schirmdämpfung von **100 dB** mußte das **14 t** schwere, **10 m × 10 m große Hallentor** auf **1 mm** genau eingemessen werden. Eine Besonderheit stellt die Kombination Schirmtor plus Absorber dar, die ein zusätzliches Absorbertor überflüssig macht. Eine **Hubdrehscheibe mit 9 m Durchmesser** und einer **Traglast von 60 t** erlaubt das Anheben von Fahrzeugen bis auf 2 m Höhe. Sie kann beliebig oft 360° drehen und ist mit einer Abgasabsaugeinrichtung versehen, die Triebwerke bis zu 1000 kW beherrscht. Weiterhin sind fünf Kabinen in geschraubter Modultechnik vorhanden; zwei davon dienen zum Nachweis von Kennwerten an Geräten und sind ebenfalls mit Drehtischen ausgestattet, während in den drei anderen die meßtechnische Ausstattung installiert ist.

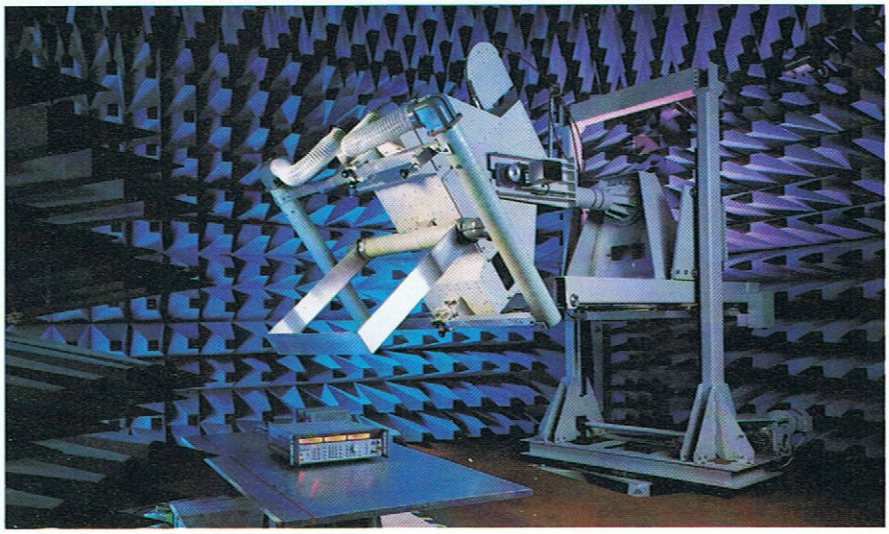
Was die Meßmittel betrifft, so hat Rohde & Schwarz 1987 den Auftrag für das gesamte Engineering und den gesamten Lieferumfang aller meßtechnischen Einrichtungen erhalten. Detaillierter: R&S ist verantwortlich für die gesamte Planung, gesamte HF-Verkabelung, Steuerungs- und Systemtechnik aller Sendeeinrichtungen – also Signalgeneratoren und Verstärker – und für die Empfangstechnik von 20 Hz bis 40 GHz. Dies schließt natürlich die Rechnersteuerung mit ein; die **gesamte Software zur Steuerung und Kontrolle dieser Anlage** wurde von

R&S erstellt. „Wir haben ganz klare Vorstellungen gehabt bei der Realisierung des Lastenheftes. Dort haben wir technische Forderungen präzisiert und sind **an die Grenzen der EMV-Meßtechnik herangegangen,** haben riesige Empfindlichkeiten und – ganz wichtig – Breitbandigkeit auf der Antennenseite gefordert. Ich möchte es so sagen: Die gesamte Meßtechnik, die im EMV-Testzentrum integriert ist und noch integriert wird, ist ein Neuanfang in diesem Geschäft, der **weltweit einzigartig ist.**"
Inzwischen sind schon ein Großteil der Systeme und Untersysteme geprüft und abgenommen: „Das phantastische daran ist die erfolgreiche Abnahme; die vor vier oder fünf Jahren erdachten spezifizierten Daten für die Lastenhefte wurden erfüllt und meistens sogar übertroffen."

Gab es Anlaufschwierigkeiten? „Eigentlich nicht. Wir haben als zukünftiger Nutzer während der gesamten Entwicklungs- und Bauphase immer Einfluß nehmen können. Das war ein Zusammenarbeiten nicht nach dem Motto, der eine paßt auf, was der andere tut, sondern: Rohde & Schwarz hat vorgestellt, und wir haben unsere betrieblichen Programme in den Ablauf eingebracht. Es war also ein **Miteinander und ein Zuarbeiten mit dem Ziel, eine technisch hervorragende Testanlage zu erhalten,** die ihre Aufgaben auch weit über das Jahr 2000 hinaus erfolgreich erfüllen kann."
Noch einige Eckdaten zum EMV-Testzentrum. Zur Zeit können dort sehr hohe Feldstärken über einen weiten Frequenzbereich erzeugt werden: **über 200 V/m bis 1 GHz,** darüber **100 V/m bis 18 GHz.** In Zukunft soll der Frequenzbereich bei Störfestigkeitsmessungen **auf 40 GHz erhöht** und noch später bis **auf 95 GHz erweitert** werden. Die Gebäude und technischen Einrichtungen sind bereits dafür ausgelegt, es bedarf also nur einer Ergänzung. „Auf der Empfangsseite, möchte ich behaupten, haben wir die **modernsten Meßplätze in Europa,** wenn nicht sogar weltweit. Mit unserer Meßausstattung sind wir den meisten Testhäusern der USA überlegen. Der Frequenzbereich erstreckt sich hier von 20 Hz bis 40 GHz. In Zukunft wollen wir natürlich **Tempest-Messungen** machen; dies ist ein Gebiet, das sich vom Gebäude und den Installationen her anbietet. Wir wollen uns zusammen mit Rohde & Schwarz gemeinsam in diese Richtung entwickeln, und dies ist eine neue Aufgabe, die wir uns für die 90er Jahre gestellt haben".

Bei einem Projekt dieser Größenordnung sind eine Menge von R&S-Geräten im Einsatz, deren einzelne Aufzählung müßig wäre. Im wesentlichen gibt es sechs Meßplätze: **vier Störaussendungsmeßplätze und zwei Störfestigkeitsmeßplätze.** Sie sind in einem **Steuer- und Kontrollraum** integriert, und von diesem Raum aus werden die gesamte Meßtechnik gesteuert und geführt, die Ergebnisse aufgezeichnet, ausgewertet und archiviert. „Das Zusammenspiel dieser Meßplätze untereinander und mit den geschirmten Räumen sowie die Verknüpfung kleiner Meßraum mit großer Absorberhalle war eine ganz entscheidende Systemaufgabe für R&S. Eine vom Ausland bewunderte Besonderheit ist, daß wir mit unseren **neu entwickelten Meßantennen große Abstände zwischen Antenne und Prüfling** – drei bis fünf Meter gegenüber bisher einem Meter – erreichen. Also: **trotz hoher Feldstärke auch große Entfernung.** Dies ist ein Novum in Deutschland, und im Ausland findet man das in dieser Form überhaupt nicht".

Kontroll- und Meßraum mit EMI- und EMS-Meßplätzen.



Antenne zur Erzeugung von magnetischen und elektrischen Feldern im Frequenzbereich 10 kHz bis 50 MHz; hier mit Testobjekt Signalgenerator SMG von Rohde & Schwarz.