

DIE GESCHICHTE DER STÖRMESSEMPFÄNGER BEI ROHDE & SCHWARZ

Eine lange Tradition

Matthias Keller, Jens Medler

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



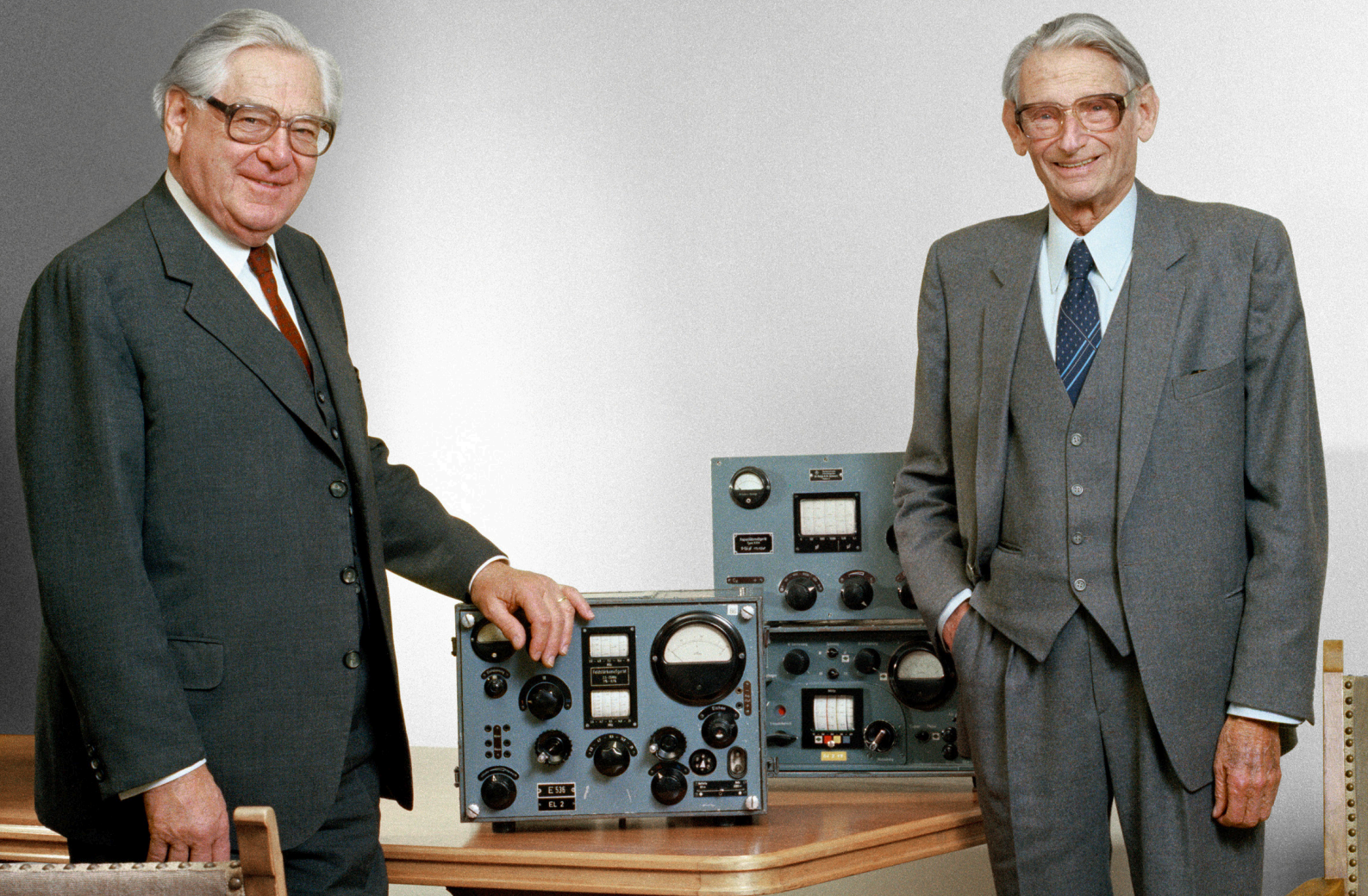


Bild 1: Dr. Lothar Rohde (rechts) und Dr. Hermann Schwarz vor Entwicklungen aus dem ersten Firmenjahrzehnt. Im Vordergrund der Fernfeldmesser HMF. Dieser entstand im Jahr 1937, quasi dem Geburtsjahr der Messempfänger bei Rohde & Schwarz.

DIE GESCHICHTE DER STÖRMESSEMPFÄNGER BEI ROHDE & SCHWARZ

Der Bau von Störmessempfängern hat bei Rohde & Schwarz eine lange Tradition. Bereits in den 1930er-Jahren wurden erste Feldstärkemessgeräte zur Erfassung elektromagnetischer Störaussendungen gebaut. Heute ist Rohde & Schwarz Weltmarktführer für diese Gerätegattung.

Der Bedarf für Funkstörmessgeräte ist mit der Einführung des AM-Rundfunks in den 1920er-Jahren entstanden. Die zahlreichen Störmeldungen von Rundfunkhörern machten erstmals eine Funkentstörung an den vorhandenen Elektrogeräten und -einrichtungen nötig. Messverfahren und Messgeräte waren jedoch noch nicht

entwickelt. Erst mit der Gründung des internationalen Sonderkomitees für Funkstörungen CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) im Jahr 1933 wurden systematische Untersuchungen gestartet, um einheitliche Messverfahren zum Schutz des Rundfunks zu definieren.

Dabei wurde früh erkannt, dass die Auswirkung auf den Rundfunk vom Typ der Störung (breitbandig oder schmalbandig) und dem jeweiligen Funkdienst abhängt. Insbesondere die Abhängigkeit von der Pulsfrequenz führte schließlich zur Definition und Einführung des bekannten Quasi-Peak-Detektors. Denn es galt, den Aufwand für die Funkentstörung aus Kostengründen gering zu halten, die Entstörung also nur so gut wie gerade nötig durchzuführen. Die Messtechnik sollte deshalb nur bei den Frequenzen Handlungsbedarf anzeigen, bei denen er subjektiv begründet war. Da niedrige Pulsfrequenzen deutlich weniger störend empfunden werden als höhere (so entspricht die Wirkung einer 100-Hz-Pulsstörung auf den Mittelwellenempfang der einer um 10 dB stärkeren 10-Hz-Störung), konnte man sie bei der Messung schwächer gewichten, und genau das leistet der Quasi-Peak-Detektor. Bei der Quasi-Peak-Bewertung spricht man daher auch von einer Nachbildung des AM-Radio-Empfängers einschließlich des subjektiven Störempfindens.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) veröffentlichte schließlich 1941 die Normenentwürfe VDE 0876 „Vorschriften für Störspannungsmessgeräte“ und VDE 0877 „Leitsätze für die Messung von Funkstörspannungen“.

Diese Nomenklatur ist heute noch gültig. So spiegelt die VDE 0876 die Basisnormenreihe CISPR 16-1-x (Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung) und die VDE 0877 die Basisnormenreihe CISPR 16-2-x (Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung).

Erste Epoche: Die frühen Anfänge

Bereits in den 1930er-Jahren begann Rohde&Schwarz mit der Entwicklung und dem Bau von Feldstärkemessgeräten. Den Anfang machten 1937 der Feldstärkemesser HHK und der Fernfeldmesser HHF (Bild 1). Der HHK war in zwei Varianten für die Frequenzbereiche 2,3 MHz bis 23 MHz und 23 MHz bis 107 MHz erhältlich. Der HHF deckte mit drei Gerätevarianten insgesamt den Frequenzbereich 100 kHz bis 100 MHz ab und ermöglichte Feldstärkemessungen von 1 $\mu\text{V/m}$ bis 0,1 V/m. 1938 folgte schließlich der Nahfeldmesser HHN, der ebenfalls in drei Gerätevarianten für den Frequenzbereich 100 kHz bis 100 MHz verfügbar war.

In der Nachkriegszeit sah sich Deutschland in Bezug auf den Rundfunk mit einer neuen Situation konfrontiert. Der 1948 in Kraft getretene Kopenhagener Wellenplan gestand den

Bild 2: Erst der aufkommende Rundfunk machte die Funkentstörung von Elektrogeräten nötig. Dieser bronzene Amerikaner lauscht einer Radioansprache seines Präsidenten Franklin D. Roosevelt in dessen Memorial in Washington, DC.



© NPS / Victoria Stauffenberg

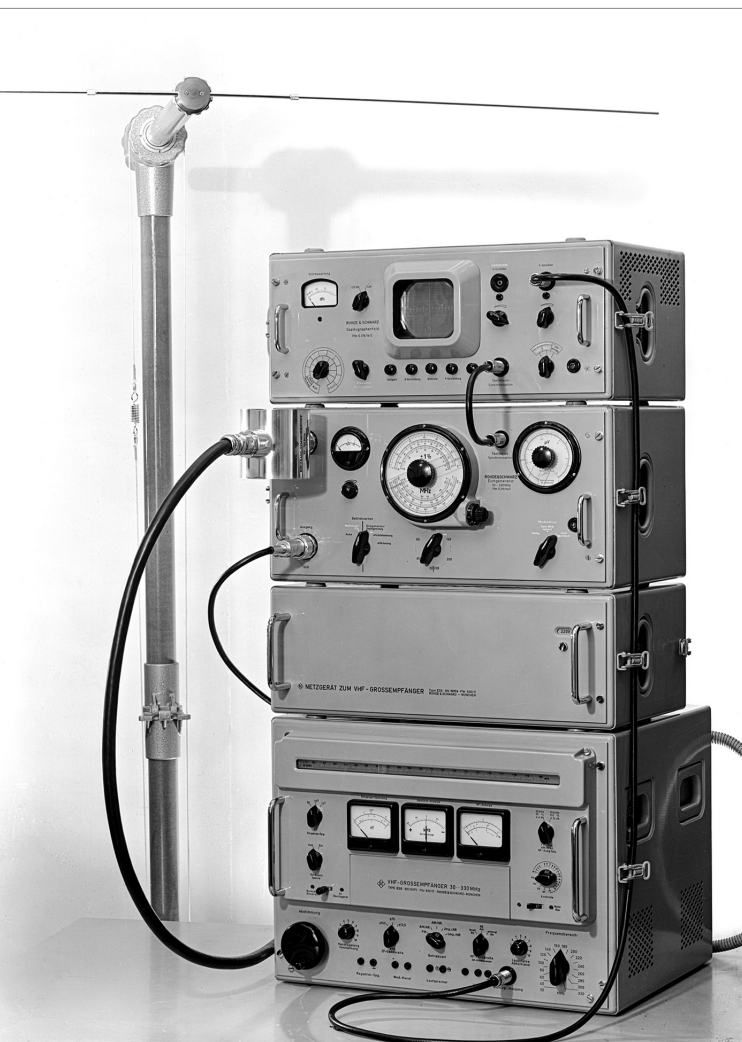
Verliererstaaten des Zweiten Weltkriegs nur sehr wenige und zudem ungünstige Frequenzen im Mittelwellenbereich zu. Dies hatte zur Folge, dass Deutschland die Erschließung des UKW- und VHF-Bereichs für den Rundfunk forcierte. Ein Meilenstein dieser Entwicklung war der von Rohde & Schwarz gebaute erste europäische UKW-Sender (90,1 MHz), der vom Bayerischen Rundfunk am 28. Februar 1949 in München-Freimann in Betrieb genommen wurde. Für die Planung der Senderstandorte und die Überwachung des Sendebetriebs brauchte es Feldstärkemesser. Daher war es nur folgerichtig, dass Rohde & Schwarz im Jahr 1949 das Feldstärkemessgerät HFD für den Frequenzbereich 87 bis 470 MHz als Anschlussgerät zum

HHF einführte. Kernstück des HFD war der Messempfänger ESD, ein Überlagerungsempfänger mit eingebautem 100-MHz-Eichgenerator. Die gute Reproduzierbarkeit der Spannungseichung ermöglichte eine sehr genaue Vergleichsmessung im linearen Messbereich auch bei kleinen Änderungen der Feldstärke, während die logarithmischen Messbereiche die Messung und Aufzeichnung stark schwankender Feldstärken gewährleistete. Zudem war der Empfang von frequenz- oder amplitudenmodulierten Sendern möglich.

Mit der Erschließung des VHF-Bereichs von 30 bis 300 MHz für den Hör- und Fernseh-Rundfunk entstanden neue Anforderungen an die Funkstörmesstechnik. Auch die Normen mussten weiterentwickelt werden, von der Störspannungsmessung bis 20 MHz hin zur Störfeldstärkemessung bis 300 MHz. Ferner verlangte CISPR die Messung der vom Prüfling am Netzanschluss abgegebenen Störspannung unterhalb von 30 MHz und der abgestrahlten Störfeldstärke oberhalb dieser Frequenz. Rohde & Schwarz begleitete diesen Prozess mit der Entwicklung eines UKW-Störmessplatzes, der vom Fernmeldetechnischen Zentralamt (FTZ) in Darmstadt und den Störmessstellen der Post eingesetzt wurde, um die Störwirkung auf die UKW-Rundfunkdienste zu untersuchen.

Die Geräuschwirkung elektrischer Störungen auf den AM-Hörrundfunk war durch ältere Untersuchungen bekannt. Dagegen war die Störwirkung auf das Fernsehen und den frequenzmodulierten FM-Hörrundfunk weitestgehend unerforscht. Man glaubte zunächst, dass man der Störwirkung am besten durch Erfassen des Spitzenwerts der Störimpulse gerecht wird. Es wurde daher eine reine von der Pulsfolgefrequenz unabhängige Spitzenwertanzeige ohne Bewertung gewählt. Für die qualitative Beurteilung der Störimpulse nach Form und Breite sowie zum Vergleich von Stör- und Messimpuls wurde ein Oszillograph, wie die Geräte damals noch hießen, als Anzeigegerät eingesetzt. Es zeigte sich, dass deutlich ausgeprägte Einzelimpulse recht selten auftreten. Meist sieht man Impulspakete mit mehr oder weniger Abstand zueinander, z. B. von prellenden Kontakten, Zündfunken von Verbrennungsmotoren, feuern den Kollektoren von Elektromotoren, aber auch Sprühererscheinungen an Hochspannungsleitungen. Die oszillographische Messmethode zur

Bild 3: UKW-Störmessplatz (neue Variante ab 1957) mit VHF-Messempfänger ESG (unten) und Störmesszusatz EZS (oben).



Erfassung und Bewertung von Impulspaketen erwies sich dabei als nachteilig. So schwankte der Ablesewert beträchtlich, je nachdem, ob man beim Impulsvergleich mit dem Messimpuls am Eichgenerator die seltenen ganz hohen Impulse der Störaussendung berücksichtigte oder einen häufig auftretenden mittleren Wert annahm. Zudem brauchte man ein Messverfahren, das die Störwirkung auf den Fernsehempfang direkt abbildet.

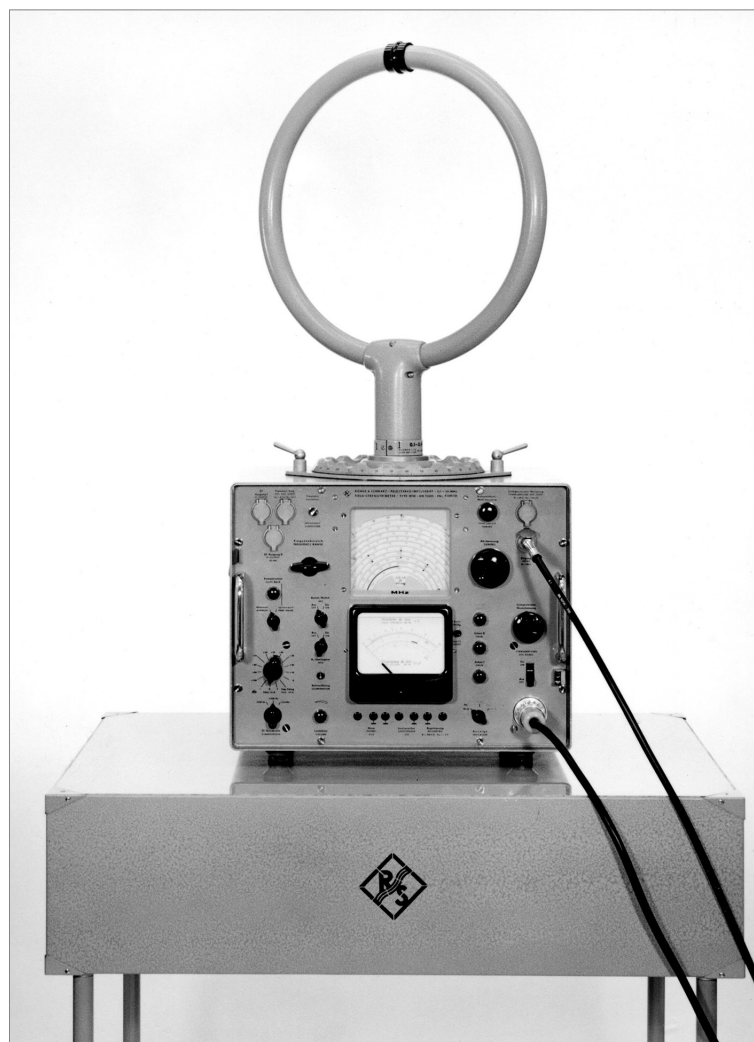
Man fand heraus, dass auch das subjektive Empfinden von Bildstörungen von der Pulsfolgefrequenz der Störimpulse abhängt – allerdings mit einem steileren Abfall gegenüber dem Störimpfinden des Ohrs beim Hörrundfunk [1]. Wollte man die Bewertung bis herunter zum Einzelimpuls vollständig abbilden, müssten Messempfänger in der Lage sein, Amplitudenunterschiede von mehr als 50 dB ohne Übersteuerung zu verarbeiten. Dies war seinerzeit nicht möglich und würde selbst heute eine außerordentlich hohe Anforderung an die Messgeräte bedeuten. Vom CISPR wurde daher eine abgeflachte Bewertungskurve für die Quasi-Peak-Anzeige im CISPR-Band C (30 bis 300 MHz) vorgeschlagen und umgesetzt, die noch heute Bestandteil der CISPR 16-1-1 ist [4]. Diese schreibt eine Abwertung von 43,5 dB für Einzelimpulse gegenüber dem Spitzenwert vor. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, definierte CISPR für die Gleichrichterschaltung eine Ladezeitkonstante von 1 ms sowie eine Entladezeitkonstante von 550 ms. Letztendlich musste auch die Messbandbreite an die neuen Rundfunkdienste angepasst werden. War diese im UKW-Störmessplatz zunächst auf 200 kHz festgelegt, folgte man später der CISPR-Empfehlung von 120 kHz. All dies wurde im Störmesszusatz EZS integriert und damit die oszillographische Messmethode durch eine Instrumentenanzeige abgelöst. In der Folge wurde das Messsystem ab 1957 als Standardmessplatz bei der Deutschen Bundespost und bei den zuständigen Verwaltungen anderer europäischer Länder eingeführt. Als Messempfänger dienten anfangs (ab 1953) die VHF-Geräte ESM 180 (30 bis 180 MHz) und ESM300 (85 bis 300 MHz), die ab 1955 vom VHF-Messempfänger ESG (Bild 3) (30 bis 330 MHz) abgelöst wurden.

In diese Zeit fällt auch die Einführung des VHF-Feldstärkezeigers HUZ für den Frequenzbereich 47 bis 225 MHz. Dieser hat eine

Spitzenspannungsanzeige mit Bewertung nach CISPR. Auch wenn das Gerät die hohen Anforderungen der CISPR-Empfehlung No. 305 [2] bzw. der überarbeiteten VDE-Vorschrift 0876 bezüglich der Absolutgenauigkeit und Übersteuerungsfestigkeit nicht erfüllte, war der tragbare HUZ für orientierende Messungen im Feld vielseitig einsetzbar, zum Beispiel für die Untersuchung von Zündstörungen bei der Entstörung von Kraftfahrzeugen.

1959 wurde schließlich der altbewährte Fernfeldmesser HHF durch das Feldstärkemessgerät HFH (Bild 4) ersetzt. Im Gegensatz zu den noch separaten Gerätevarianten beim Vorgänger HHF vereinte der HFH den Frequenzbereich von

Bild 4: Feldstärkemessgerät HFH mit aufgesteckter Rahmenantenne zur direkten Feldstärkeablesung im Frequenzbereich 100 kHz bis 30 MHz. Als Messtisch dient der umgebaute Transportkoffer.



100 kHz bis 30 MHz in einem einzigen Gerät, das zur unmittelbaren Messung der Feldstärke wahlweise mit drei Rahmenantennen für die Bereiche 0,1 bis 0,4 MHz, 0,4 bis 1,6 MHz und 1,6 bis 30 MHz oder einer abgesetzten Stabantenne und später auch einer abgesetzten Rahmenantenne betrieben werden konnte. Ein Novum war der mitlaufende Eichgenerator. Dieser ermöglichte die Eichung einschließlich der Rahmenantenne bei jeder Messfrequenz und damit eine direkte Ablesung von Feldstärkewerten ohne Verwendung von Eichkurven. Für Störspannungsmessungen konnte die Anzeige von Mittelwert- auf Spitzenspannungsmessung umgeschaltet werden. Der Lieferumfang umfasste auch eine induktive und eine kapazitive Tastantenne, um beispielsweise die Wirksamkeit von Abschirmungen zu prüfen. Eine Besonderheit: Der Rahmen-Transportkoffer konnte zum Messtisch umgebaut werden. Zudem ließ sich der Frequenzbereich

mit dem zusätzlich lieferbaren Längstwellenvorsatz HFHL bis hinab zu 10 kHz erweitern.

Zweite Epoche:

Das Zeitalter der analogen Überlagerungsempfänger mit Bewertungsdetektoren nach CISPR

1961 wurde der VHF-UHF-Messempfänger ESU (Bild 5) eingeführt. Mit drei wechselbaren Einschüben: HF-Teil I (25 bis 225 MHz), HF-Teil II (160 bis 475 MHz) und HF-Teil III (460 bis 900 MHz) deckte er den Frequenzbereich von 25 bis 900 MHz ab. 1969 kam das HF-Teil IV (900 bis 1300 MHz) hinzu. Der ESU war ein röhrenbestückter Doppel-Überlagerungsempfänger mit spiralig verlaufender Analogskala zur Frequenzanzeige. Mit seinem robusten Metallgehäuse brachte er 30 kg auf die Waage und hat einen für die 1960er-Jahre typischen Messeingang nach Dezifix-B-Norm – ein Verbindertyp, den Rohde & Schwarz entwickelt hatte.

Bild 5: Der VHF-UHF-Messempfänger ESU hatte wechselbare HF-Einschübe und einen für die 1960er-Jahre typischen Messeingang nach Dezifix-B-Norm – ein Anschlusstyp, den Rohde & Schwarz entwickelt hatte.



Einen wesentlichen Fortschritt stellte der mitlaufende Eichgenerator dar, der bei jeder Messfrequenz zur Eichung des Geräts herangezogen werden konnte. Erleichtert wurde die Handhabung auch durch wählbare Anzeigebereiche (linear 20 dB, logarithmisch 40 bzw. 60 dB), die umschaltbare Mittelwert- oder Spitzenwertanzeige, eine variable Durchlassbandbreite (25 kHz und 120 kHz) und wahlweise eine automatische Frequenznachstimmung.

Der ESU war das Kernstück des VHF-UHF-Feldstärkemessgeräts HFU, das außerdem einen Breitbanddipol für 25 bis 80 MHz, eine logarithmisch-periodische Breitbandantenne für 80 bis 1000 MHz, Stativ und Mast, Kabel mit Dezifix-Anschlüssen sowie einen Transportkoffer umfasste. Der HFU war als Anschlussgerät (Frequenzerweiterung) zum HFH gedacht und ersetzte die früheren Feldstärkemessgeräte HHF und HFD.

Der ESU besaß noch keine eingebaute Bewertungsfunktion für die Störfeldstärkemessung nach VDE 0876. Hierfür musste der separate Störmesszusatz EZS am ZF-Ausgang (2 MHz) angeschlossen werden. Nach erfolgter Frequenzabstimmung und Eichung war dann mittels ESU-Pegelschalter und EZS-Teiler eine Anzeige von etwa 0 dB am EZS einzustellen. Das Messergebnis in dB über 1 μV ergab sich dann aus der Summe der dB-Werte des EZS-Teilers, der ESU-Pegelschalterstellung und der Abweichung von 0 dB am EZS-Instrument. Addierte man schließlich noch den Antennenfaktor, erhielt man die Störfeldstärke in dB über 1 $\mu\text{V/m}$. Dieser aufwendige manuelle Prozess soll am Beispiel einer Feldstärkemessung erläutert werden:

- ▶ Stellung am ESU-Pegelschalter: 30 dB
- ▶ Dämpfung des EZS-Teilers: 2 dB
- ▶ Abweichung von 0 dB am EZS-Instrument: -0,5 dB
- ▶ Antennenfaktor: 10 dB

... ergibt eine bewertet gemessene Feldstärke von 41,5 dB über 1 $\mu\text{V/m}$ oder 119 $\mu\text{V/m}$.

Für die Erschließung des UHF-Bereichs brauchte es auch portable Geräte. Dies führte 1964 zur Einführung des UHF-Feldstärkezeigers HUZE für den Frequenzbereich 470 bis 850 MHz, quasi die Erweiterung des bewährten HUZ. Mit Spitzenwertgleichrichtung und einer

ZF-Bandbreite von 500 kHz war der HUZE bestens geeignet, um die Ausbreitungsbedingungen von Fernsehsignalen im UHF-Bereich zu ermitteln.

1970 folgte der tragbare VHF-Feldstärkemesser HFV (Bild 6). Das Gerät diente zum Messen der Nutz- und Störfeldstärke im Frequenzbereich von 25 bis 300 MHz. Der gesamte Bereich konnte ohne Umschaltung durchgestimmt werden. Die umschaltbare Mittelwert- und Spitzenwert-Anzeige, der große Messbereich von 130 dB, AM- und FM-Demodulation sowie die Möglichkeit zur Störbewertung nach VDE und CISPR bei genormter Messbandbreite von 120 kHz prädestinierten das handliche Gerät für verschiedenste Funkkontroll- und Störmessungen. Der HFV war der erste Rohde & Schwarz-Funkstörmessempfänger mit normenkonformer Bewertung.

Bild 6: Mobiler VHF-Feldstärkemesser HFV mit Dipolantenne. Das Modell war nicht nur der erste volltransistorierte Rohde & Schwarz-Messempfänger, sondern auch der erste, der eine automatische Störbewertung gemäß VDE 0876 bzw. CISPR Publ. 2 durchführen konnte.





Bild 7: VHF-UHF-Feldstärkemessgerät HFU2 mit Messempfänger ESU2 und logarithmisch-periodischer Breitbandantenne HL 023 für 80 bis 1300 MHz.

Bezüglich Messbandbreite, Spiegelselektion, Übersteuerungssicherheit und Impulsbewertung erfüllte der HFV die Norm VDE 0876 (Ausgabe Dezember 1955) und CISPR Publ. 2 (Ausgabe 1961). Die implementierte Bewertungskurve entsprach dem heute allseits bekannten Quasi-Peak-Detektor. Die älteren HHF, HHN, HFD und HFH hatten dagegen noch keine Bewertungsfunktion.

1976 folgte der VHF-UHF-Messempfänger ESU2, ein jetzt auch im UHF-Bereich volltransistorisierter Doppelüberlagerungsempfänger für den Frequenzbereich 25 bis 1000 MHz. Der ESU2 (Bild 7) war ein Kompaktgerät mit neun umschaltbaren, einander überlappenden Frequenzbereichen und mit eingebauter Bewertungsschaltung nach VDE 0876 bzw. CISPR Publ. 2 (25 bis 300 MHz) und Publ. 4 (300 bis 1000 MHz). Damit waren erstmalig normenkonforme Störaussendungsmessungen bis 1000 MHz bei einer definierten Messbandbreite von 120 kHz möglich. Zusätzlich konnten Breitbandstörer gemäß MIL-Standard gemessen werden. Die von 0 dB bis 90 dB einstellbare Präzisionseichleitung am Empfängereingang enthielt in Stufen von 10 dB motorisch geschaltete Dämpfungsglieder und erweiterte den linearen Anzeigebereich von 20 dB auf einen Spannungsmessbereich von $-10 \text{ dB}(\mu\text{V})$ bis $+120 \text{ dB}(\mu\text{V})$.

Die Kombination mit weiteren Geräten verwandelte den ESU2 erstmals in einen fernsteuerbaren Messempfänger. Der Frequenz-Controller EZK fing den freilaufenden Lokalszillator mit einer Frequenzregelschleife ein und stimmte den Empfänger höchst genau ab. Der Panorama-Adapter EZP, ein Vorläufer der heutigen ZF-Analyse, zeigte das Spektrum in der Umgebung der abgestimmten Empfangsfrequenz an und erleichterte die Signalsuche. Steuerleitungen und analoge Ausgänge führten zum



Bild 8: VHF-UHF-Messeinrichtung MSUP. Der gemeinsame Gerätekasten enthielt die Komponenten IEC-Bus-Adapter ESU 2-Z4 mit eingesetztem Frequenzzähler, Panorama-Adapter EZP, Frequenzkontrollierer EZK und Messempfänger ESU 2 (von oben nach unten). Der Tektronix-Tischrechner 4051 fasste alles zu einem automatisierten Messplatz zusammen.

Jahr der Einführung	Typ	Beschreibung
1937	HHK	Feldstärkemesser in zwei Varianten, 2,3 bis 23 MHz und 23 bis 107 MHz
1937	HHF	Fernfeldmesser in drei Varianten, 100 kHz bis 3 MHz, 2,5 bis 25 MHz und 20 bis 100 MHz
1938	HHN	Nahfeldmesser in drei Varianten, 100 kHz bis 3 MHz, 2,5 bis 25 MHz und 20 bis 100 MHz
1949	HFD	Feldstärkemessgerät mit Messempfänger ESD, 87 bis 470 MHz
1953 / 1955 / 1957	UKW-Störmessplatz	Störmessplatz anfangs mit VHF-Messempfängern ESM 180 (30 bis 180 MHz) und ESM 300 (85 bis 300 MHz), ab 1955 mit VHF-Messempfänger ESG (30 bis 330 MHz) und ab 1957 mit Störmesszusatz EZS
1954	HUZ	VHF-Feldstärkezeiger, 47 bis 225 MHz
1959	HFH	Feldstärkemessgerät, 100 kHz bis 30 MHz, Nachfolger zum HHF
1960/1969	HFU	Feldstärkemessgerät mit Messempfänger ESU (drei HF-Einschübe für den Frequenzbereich 25 bis 900 MHz, ab 1969 ein vierter für 900 bis 1300 MHz) und Störmesszusatz EZS
1964	HUZE	UHF-Feldstärkezeiger, 470 bis 850 MHz
1971	HFV	VHF-Feldstärkemesser, 25 bis 300 MHz
1976	HFU2	Feldstärkemessgerät mit Messempfänger ESU2, 25 bis 1000 MHz
1979	HFH2	Feldstärkemessgerät mit Messempfänger ESH2, 10 (9) kHz bis 30 MHz

Die Rohde & Schwarz-Messempfänger von 1937 bis 1979.

Fernsteueradapter ESU2-Z4. Der wiederum bildete mit A/D-Wandler und IEC-Bus-Schnittstelle den Zugang zur digitalen Welt. Der erste systemfähige EMI-Messempfänger, der selbst ein kleines System darstellte, war geboren (Bild 8).

Im Jahr 1979 wurde schließlich der dreifach überlagernde Messempfänger ESH2 eingeführt. Mit einem Frequenzbereich von 10 (9) kHz bis 30 MHz war er die ideale Ergänzung zum ESU2. Kurz nach der Gerätevorstellung erweiterte das CCIR und in der Folge auch CISPR den Funkfrequenzbereich auf 9 kHz, weshalb der ESH2 letztendlich mit einer Startfrequenz von 9 kHz geliefert wurde. Der handbedienbare Messempfänger ließ sich quasikontinuierlich wahlweise in 100-Hz- oder 10-kHz-Schritten ohne Bereichsumschaltung durchstimmen. Zum Steuern des Synthesizers diente ein Vorwärts-Rückwärts-Zähler, den wiederum ein mechanisch-elektronischer Drehimpulsgeber mit magnetischer Rastung steuerte. Der Zähler wurde über die interne Batterie direkt versorgt, so dass beim Aus- und Wiedereinschalten die zuletzt eingestellte Frequenz erhalten blieb. Ein weiteres Novum war die quartzgenaue sechsstellige LCD-Frequenzanzeige.

Selbstredend besaß auch der ESH2 für die Funkstörmessung eine eingebaute Bewertungsschaltung nach VDE 0876 bzw. CISPR

Publikationen 1 und 3. Durch seine kompakte Bauweise, relativ geringes Gewicht (immerhin noch rund 20 kg) und Batteriebetrieb war das Gerät für den portablen Einsatz geeignet. Durch Ergänzung mit der Stabantenne HFH2-Z1, der Rahmenantenne HFH2-Z2 und dem induktiven Tastkopf HFH2-Z4 entstand das Feldstärkemessgerät HFH2 (Bild 9).

Bild 9: Feldstärkemessgerät HFH2 mit Messempfänger ESH2 und zugehörigen Antennen für den Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz.



Die dritte Epoche: Das Zeitalter der mikroprozessorgesteuerten Messempfänger

Waren beim ESU2 noch vier Einzelgeräte nötig, um einen systemfähigen fernsteuerbaren Messempfänger zu bilden, so war bei der nächsten Generation bereits die komplette Funktionalität vollständig integriert.

Funkstörmessempfänger ESH3 und ESVP

Ein Gerät, der ESH3, für geleitete Störspannungsmessungen bis 30 MHz und ein zweiter Empfänger, der ESVP, für Störfeldstärkemessungen bis 1300 MHz deckten damals den Frequenzbereich für kommerzielle EMV-Messungen ab.

Im ESH3 (1980, Bild 10) werkelt der damals aktuelle 8085-Mikroprozessor. Das Display war digital und der Empfänger hatte erstmalig einen IEC-Bus-Anschluss zur Fernsteuerung. Notgedrungen wurde vieles platzsparend in Assembler-Code und ansonsten in PL/M programmiert. Zunächst versuchten die Entwickler, mit 8 kByte Speicher für den ausführbaren Code

auszukommen, doch sie mussten ihn erst auf 16 kByte und schließlich auf 24 kByte erweitern, um alle Funktionen unterzubringen. In den Anfangstagen der Mikroprozessortechnik war Speicher eben teuer und dementsprechend immer zu knapp. Also wurde ständig optimiert.

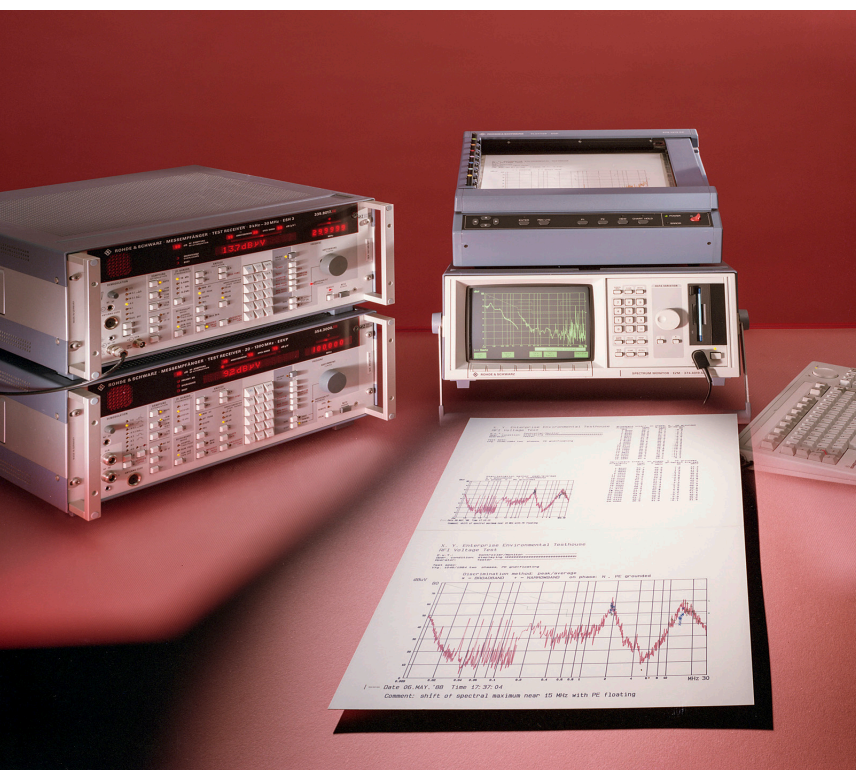
Im ESVP, der 1983 auf den Markt kam, gab es immerhin schon zwei 8085-Mikroprozessoren. Einer kommunizierte mit den Baugruppen, der andere über das Bedienfeld und die Fernsteuerschnittstelle mit der Außenwelt. Miteinander redeten die beiden über ein Dualport-RAM, damals hoch innovativ. Für Traditionalisten gab es parallel dazu Modelle mit dem gleichen HF-Teil, aber ganz ohne Prozessortechnik und Software: ESV und ESH2. Wenngleich zur Ansteuerung der einzelnen Baugruppen einiges an Digitaltechnik verbaut war. Mit der zweigleisigen Fahrweise ebneten diese höchst erfolgreichen Modelle den Übergang in das Zeitalter der mikroprozessorgesteuerten Messempfänger.

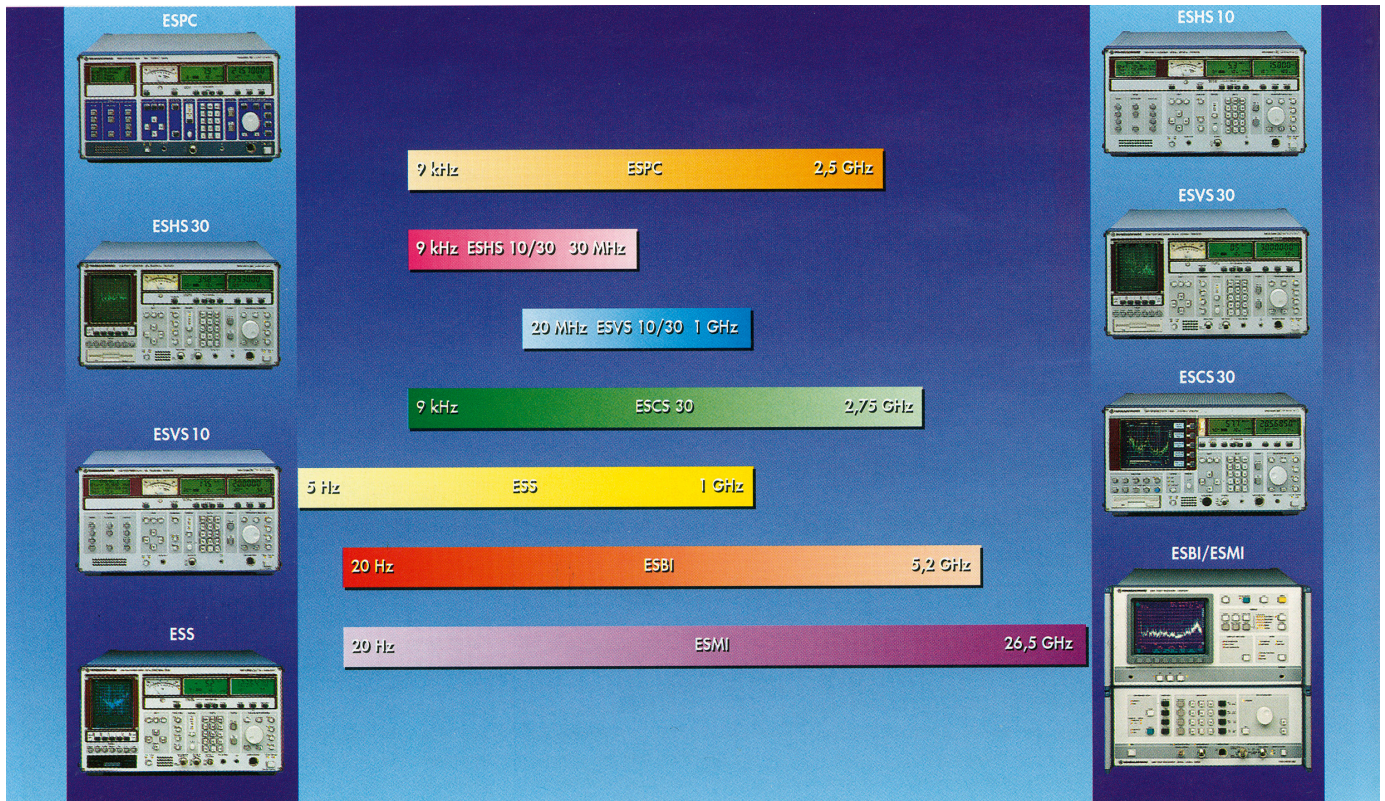
Auch in dieser Generation ging man ähnlich vor wie beim ESU2: Mehrere getrennt zu bedienende Geräte bildeten zunächst ein Kleinsystem mit erweitertem Funktionsumfang, bevor im nächsten Schritt diese dann bewährte Funktionalität über eine zentrale Bedieneinheit zusammengefasst wurde. Hier übernahm diese Rolle der Spektrummonitor EZM – ein PC-ähnliches Gerät mit MS-DOS als Betriebssystem, das ESH3 und ESVP fernsteuerte und das gemessene Spektrum auf einem Bildschirm mit bereits 1024 × 512 Punkten Auflösung anzeigte. Auch Softkeys waren schon dabei. Auf der Rechnerfunktion lief die erste EMV-Messsoftware von Rohde & Schwarz – EZM-K1. Sie dehnte die Messautomation auf Mast- und Drehtischsteuerung für Feldstärkemessungen aus. Messungen nach verschiedenen Vorschriften und Bibliotheken mit Grenzwertlinien waren damals schon Standard. Die Ausgabe von Testreports auf Nadeldrucker oder Plotter rundeten den Funktionsumfang ab. Die Gerätekombination ESH3/ESVP/EZM erfreute sich sowohl in Messlaboren für kommerzielle als auch in solchen für militärische Standards großer Beliebtheit.

Funkstörmessempfänger ESHS und ESVS

Für die nächste Gerätegeneration entschied man sich ebenfalls dafür, zunächst getrennte Modelle für die Messung geleiteter und gestrahlter Störungen zu entwickeln. Das zweite

Bild 10: Messempfänger ESH3 (9 kHz bis 30 MHz, oben) und ESVP (20 bis 1300 MHz) mit Spektrum-Monitor EZM.





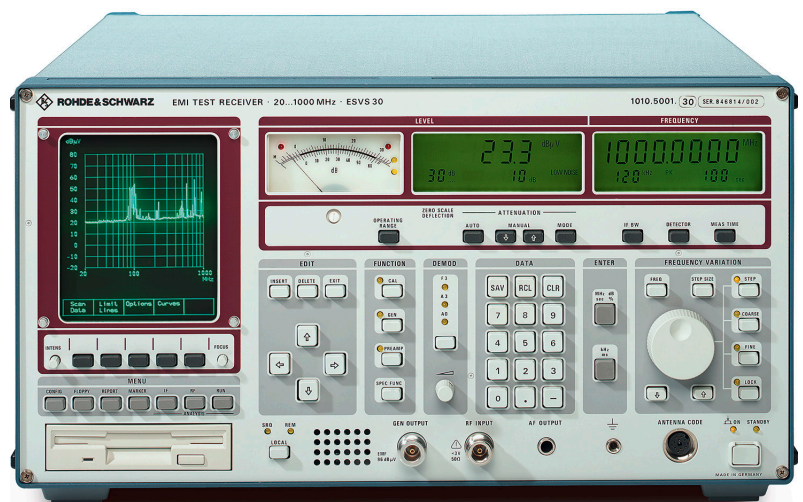
Das R&S-Messempfängerprogramm in den 1990er Jahren, dargestellt im seinerzeitigen Grafikstil [3].

Hauptmerkmal war die Ausstattung mit einem vierzeiligen LC-Display oder einem Bildschirm mit Vektorgrafik (Bild 11). Bereits die Geräte mit LC-Display konnten über eingebaute Automatisierungsfunktionen automatisch Netznachbildungen steuern und – dank Multitasking-Betriebssystem – parallel Prüfprotokolle auf einem Plotter oder Drucker ausgeben. Die Möglichkeit des netzunabhängigen Akkubetriebs prädestinierte die Geräte für mobile Anwendungen, und Freifeldmessplätze waren durchaus noch üblich. Die besser ausgestatteten Geräte verfügten über eine Bildröhre mit elektrostatischer Ablenkung, wie sie typischerweise in Oszilloskopen verbaut wurde – eine Lösung, die selbst sehr wenig elektromagnetische Störungen erzeugt. Die Vektorgrafik konnte nicht nur Texte darstellen, sondern auch Scan-Kurven oder das ZF-Spektrum. Zum Speichern und Laden von Messergebnissen, Grenzwertlinien, Korrekturwerttabellen und Scan-Datensätzen wurde ein 3,5-Zoll-Disketten-Laufwerk integriert. Zudem enthielten die Geräte einen Mitlaufgenerator, der für Vierpolmessungen oder speziell zum Ermitteln der Kabeldämpfung diente.

Funkstörmessempfänger ESS

Das Flaggschiff dieser Gerätefamilie war der Messempfänger ESS, der neben einem Frequenzbereich von 5 Hz bis 1 GHz alle CISPR- und MIL-Bandbreiten bis 1 MHz bot. Seine Stärke war die kompromisslose technische Lösung in einem kompakten Gerät bei

Bild 11: Als eines der Topmodelle seiner Generation bot der ESVS neben der analogen und numerischen Messdatenanzeige auch ein Display mit Vektorgrafik zur Anzeige von Scankurven.



größtmöglicher Empfindlichkeit und hoher Impulsfestigkeit. Allein drei separate HF-Eingangsmodule mit unterschiedlichem Mischkonzept sorgten für erstklassige HF-Eigenschaften. ESS sind heute noch weltweit im Einsatz.

Funkstörmessempfänger ESCS30

Im Jahr 1997 veröffentlichte das Bundesamt für Post und Telekommunikation (BAPT) – heute Bundesnetzagentur – eine Ausschreibung für eine beträchtliche Anzahl von EMV-Messempfängern. Das BAPT war schließlich für die Durchsetzung des Funkschutzes zuständig. Die Anforderungen waren sehr anspruchsvoll und konnten mit dem bestehenden Portfolio z. B. hinsichtlich des Frequenzbereichs nicht abgedeckt werden. Also wurde kurzfristig ein Entwicklungsprojekt ins Leben gerufen, um diese Chance zu nutzen. Das Ergebnis war ein Gerät mit Alleinstellungsmerkmalen. Highlights waren z. B. ein durchgängiger Frequenzbereich von 9 kHz bis 2,75 GHz und ein LC-Farbdisplay

in VGA-Auflösung zur Messkurvendarstellung in Verbindung mit einer Balkenanzeige für bis zu drei parallel messende Detektoren. Neu war auch die Zeitbereichsanalyse zur Beurteilung des zeitlichen Verlaufs einer Störung – eine an der täglichen Messpraxis orientierte Funktion, hilfreich etwa zum Auffinden einer defekten Heizungssteuerung. All das wurde ins Kompaktgehäuse der schon existierenden Modelle eingebaut. Selbstverständlich entsprach der ESCS30 allen Anforderungen kommerzieller EMV-Normen nach CISPR und VDE. Voll- und teilautomatische Messabläufe verbanden hohen Messkomfort mit der schnellen und sicheren Einstellung des Empfängers. Die Möglichkeit des netzunabhängigen Betriebs von bis zu vier Stunden mit internen Akkus und das eingebaute 3,5-Zoll-Disketten-Laufwerk machten das Modell auch für den mobilen Betrieb geeignet. Die Ausschreibung der BAPT konnte der ESCS30 denn auch für sich entscheiden und damit ab Markteinführung eine erstklassige Referenz vorweisen.

Die Rohde & Schwarz-Messempfänger von 1980 bis heute.

Jahr der Einführung	Typ	Beschreibung
1980	ESH3	Funkstörmessempfänger, 9 kHz bis 30 MHz
1982	ESV	Funkstörmessempfänger, 20 bis 1000 MHz
1983	ESVP	Funkstörmessempfänger, 20 bis 1300 MHz
1991	ESHS	Funkstörmessempfänger, 9 kHz bis 30 MHz, Modellreihe 30 mit eingebautem Spektrum-Display
1991	ESVS	Funkstörmessempfänger, 20 bis 1000 MHz, Modellreihe 30 mit eingebautem Spektrum-Display
1991	ESAI	Funkstörmessempfänger, 20 Hz bis 1,8 GHz
1991	ESBI	Funkstörmessempfänger, 20 Hz bis 5,2 GHz
1992	ESS	Funkstörmessempfänger, 5 Hz bis 1 GHz
1994	ESMI	Funkstörmessempfänger, 20 Hz bis 26,5 GHz
1995	ESPC	Funkstörmessempfänger, 150 kHz bis 1 GHz
1997	ESCS30	Funkstörmessempfänger, 9 kHz bis 2,75 GHz
1999	ESI/ESIB	Funkstörmessempfänger in drei Varianten für die Frequenzbereiche 20 Hz bis 7 GHz, 20 Hz bis 26,5 GHz und 20 Hz bis 40 GHz
2004	ESCI	Funkstörmessempfänger, 9 kHz bis 3 GHz
2006	ESU	Funkstörmessempfänger in drei Varianten: 20 Hz bis 8 GHz, 20 Hz bis 26,5 GHz und 20 Hz bis 40 GHz
2008	ESL	Funkstörmessempfänger in zwei Varianten: 9 kHz bis 3 GHz und 9 kHz bis 6 GHz
2009	ESCI7	Funkstörmessempfänger, 9 kHz bis 7 GHz
2012	ESR	Funkstörmessempfänger in drei Varianten: 10 Hz bis 3 GHz, 10 Hz bis 7 GHz und 10 Hz bis 26,5 GHz
2013	ESRP	Funkstörmessempfänger in zwei Varianten: 10 Hz bis 3 GHz und 10 Hz bis 7 GHz
2016	ESW	Funkstörmessempfänger in drei Varianten: 2 (1) Hz bis 8 GHz, 2 (1) Hz bis 26,5 GHz und 2 (1) Hz bis 44 GHz

Funkstörmessempfänger ESPC

Der ESPC wurde gezielt für den Einsatz im Pre-Certification-Bereich entwickelt (der Buchstabe P weist darauf hin). Er bietet trotz seiner etwas reduzierten technischen Eigenschaften immer noch eine deutlich höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messergebnisse als reine Spektrumanalysatoren. Er wurde daher vor allem für entwicklungsbegleitende Messungen aller Industriezweige und Produktklassen, aber auch im Bereich der Forschung und Lehre eingesetzt. Selbst in Testhäusern fand er häufig als Zusatzgerät Verwendung.

Funkstörmessempfänger ESAI, ESBI und ESMI

Diese Modelle begründeten eine neue Ära. Erstmals basierten R&S-Messempfänger auf dem Prinzip des Spektrumanalysators. Die bis dahin verfolgte Baureihe der klassischen Messempfänger wurde noch für einige Jahre parallel fortgeführt, dann aber zugunsten der Spektrumanalysator-basierten Geräte eingestellt.

Vorteilhaft waren insbesondere die schnellen Mehrfach-Sweeps mit Max-Hold-Funktion bei der Vormessung und die damit verbesserte Erfassung von fluktuierenden Schmalbandstörungen. Außerdem verbanden die Geräte die Präzision, Selektivität, Dynamik und Empfindlichkeit eines selektiven Messempfängers mit der Möglichkeit, beliebige Spektrumsmessungen durchzuführen. Aufgrund des Frequenzbereichs von 20 Hz bis 1,8, 5,2 oder 26,5 GHz und der technischen Auslegung war dieser Empfängertyp bei Testhäusern ebenso gefragt wie für militärische Anwendungen, in Forschung und Lehre sowie in der Raumfahrtindustrie.

Die vierte Epoche: Das digitale Zeitalter

Das Aufkommen digitaler Rundfunk- und Kommunikationssysteme wirkte sich auch auf die Störbewertungsmethodik aus. CISPR untersuchte die Wirkung von Pulsstörungen auf zahlreiche digitale Funkdienste – mit dem Ergebnis, dass im Jahr 2007 neue Bewertungsfunktionen in die Grundnorm CISPR 16-1-1 [4] aufgenommen wurden: der RMS-Average-Detektor und die APD-Messfunktion (Amplitude Probability Distribution).

Der erste Messempfänger mit RMS-Detektor war der 1999 eingeführte ESIB auf Basis des Spektrumanalysators FSE. Die vorteilhafte

Kombination aus Spektrumanalysator und Messempfänger, die mit dem ESAI begonnen wurde und sich bis heute großer Beliebtheit erfreut, war den Fortschritten in der Digitaltechnik zu danken. Denn je mehr Abschnitte im Signalpfad über digitale Signalverarbeitung realisiert werden, desto leichter lassen sich unterschiedliche Bedienkonzepte, wie sie Empfänger und Spektrumanalysator nun einmal haben, auf die gleiche Plattform stellen. Die analoge Hardware wird dabei so ausgelegt, dass sie sowohl den Sweep des Spektrumanalysators als auch den schrittweisen Frequenzscan des Empfängers beherrscht. Hinzu kommt eine HF-Vorselektion, die in allen Betriebsarten aktiv ist und unbedingt vorhanden sein muss, um die hohen Anforderungen an die Messdynamik zu erfüllen.

Mit dem ESIB gab es erstmals einen Messempfänger bis 40 GHz als Kompaktgerät, der neben den Anforderungen der kommerziellen EMV-Standards auch die Frequenzbereiche für militärische Standards und FCC abdeckte. Das Gerät nutzte bereits einen digitalen Signalprozessor (DSP) und verkürzte im Spektrumanalysatorbetrieb die Messzeit mit FFT-Unterstützung – heutzutage ein Standard in Spektrumanalyse und Empfängertechnik.

Die mit dem ESIB begonnene Tradition, neue Messempfängermodelle auf den jeweils aktuellen Spektrumanalysator-Modellreihen aufzusetzen, wurde mit dem R&S®ESU fortgesetzt (alle R&S-Produkte trugen ab 2002 das Markenkürzel im Namen). Für ihn stand das High-End-Modell R&S®FSU Pate. Der Name ESU ergab sich aus der Kombination von FSU mit dem Buchstaben E für Empfänger. Gleichzeitig stellte sich das Gerät mit dieser Namensgebung in die Tradition des noch röhrenbestückten ESU von 1961. Im Mittelklassebereich verfuhr man ebenso. Hier war der Spektrumanalysator R&S®FSP der Plattformspender. Drei EMI-Empfänger waren die Ausbeute: Das Topgerät R&S®ESU für Automotive- und MIL-Anwendungen, der R&S®ESCI für Compliance-Messungen (erkennbar am Buchstaben C) vorwiegend nach kommerziellen Standards und der R&S®ESPI mit nicht ganz so anspruchsvollen HF-Eigenschaften für den Pre-compliance-Bereich (Buchstabe P im Namen).

Waren R&S®ESPI und R&S®ESCI noch klassische Messempfänger, die immer nur auf einer Empfangsfrequenz messen konnten, ging man

mit dem R&S®ESU einen wesentlichen Schritt weiter. Dank digitaler Signalverarbeitung reduzierte er mit seinem FFT-basierten Frequenzscan die Messzeiten erheblich. Die Normung dieser für die EMV-Welt neuen Technologie als Voraussetzung für ihre sorglose Anwendung war zwar noch nicht abgeschlossen. Dennoch akzeptierten große Teile der Automotive-Welt die Vorteile der schnelleren Messung. Solange Randbedingungen wie eine ausreichend lange Messzeit eingehalten werden, sind die Messergebnisse ja auch identisch. Zudem besaß der R&S®ESU erstmalig eine APD-Messfunktion normenkonform zur CISPR 16-1-1 [4]. Das Triumvirat aus R&S®ESU, R&S®ESCI und R&S®ESPI fand in der Fachwelt große Akzeptanz.

Die aktuelle Messempfängergeneration ging ab 2012 an den Start. Als erstes wurden die Mittelklassegeräte abgelöst. Bei der Entwicklung des R&S®ESR stand die digitale Signalverarbeitung ganz im Vordergrund. Die rechenaufwendige FFT sollte in FPGAs (field programmable gate arrays) in Echtzeit ausgeführt

werden. Viel Technologie wurde vom kurz vorher fertiggestellten Echtzeit-Spektrumanalysator R&S®FSVR übernommen, der auf die gleiche Plattform aufbaut. Mit dem R&S®ESR konnte sogar erstmals ein Messempfänger optional für die Echtzeit-Spektrumanalyse ausgerüstet werden. Völlig neue Möglichkeiten, Störer zu analysieren, hielten in die EMV-Welt Einzug. Doch die eigentliche Paradedisziplin der neuen Generation ist der Frequenzscan mit Quasi-Peak-Detektor, der vollumfänglich den Anforderungen der Norm CISPR16-1-1 entspricht. Je nach geforderter Messbandbreite reduziert sich die Gesamtmesszeit um Größenordnungen: aus Stunden werden Sekunden. Der R&S®ESR beherrscht als erster Empfänger sogar die Kunst, das komplette CISPR-Band B (150 kHz bis 30 MHz) mit normgerechtem Quasi-Peak-Detektor in Echtzeit darzustellen. Im Spektrogramm sieht der Anwender den lückenlosen Verlauf der Störer über die Zeit. Veränderungen am Messobjekt sind in ihren Auswirkungen sofort erkennbar und die Testtiefe nimmt in bisher nicht gekanntem Ausmaß zu.

Bild 12: Das aktuelle Flaggschiff der EMI-Messempfänger-Flotte: der R&S®ESW, hier mit der APD-Mehrkanal-Messfunktion auf dem Bildschirm.



Messempfänger werden oft durch Störmesssoftware gesteuert. Doch ein „richtiger“ Messempfänger wie der R&S®ESR muss sich analog anfühlen, wenn er von Hand bedient wird, z. B. bei der Frequenzabstimmung per Drehrad. Der R&S®ESR erhöhte den Bedienkomfort zusätzlich durch den erstmalig in dieser Geräteklasse verbauten Touchscreen. Dieses Merkmal hat auch der äußerlich baugleiche aktuelle Precompliance-Bruder des R&S®ESR, der R&S®ESRP.

Auf der Standardisierungsseite waren ebenfalls große Fortschritte zu verzeichnen. Im Jahr 2010 wurde die Ausgabe 3.1 der kommerziellen EMV-Norm CISPR 16-1-1 [4] veröffentlicht. Sie beschrieb den FFT-basierten Messempfänger und legalisierte so gewissermaßen den Einsatz dieser Technologie. Das MIL-Standard-Komitee nahm auf diese Vorarbeiten Bezug und legte 2015 im MIL-STD-461G die Bedingungen für die Benutzung FFT-basierter Messempfänger fest.

Seit 2016 vervollständigt das Spitzenmodell R&S®ESW das aktuelle Portfolio (Bild 12). Neben nochmals verbesserten HF-Eigenschaften und einer noch höheren Messgeschwindigkeit bekam der R&S®ESW einige Innovationen mit auf den Weg. So schützt ein Pulsbegrenzer den Eingang vor zu hohen Störimpulsen. Schaltbare Notchfilter unterdrücken WLAN-Signale, so dass empfindliche Messungen an Geräten mit eingeschalteten Funkmodulen möglich sind – das Internet der Dinge lässt grüßen. Auch an der Benutzerschnittstelle wurde gefeilt. Übersichtliche Dialoge mit vollständigem Verzicht auf Untermenüs erhöhen die Bedienfreundlichkeit und verkürzen die Einarbeitungszeit. Selbstverständlich verfügt auch der R&S®ESW wie schon R&S®ESU und R&S®ESR über eine CISPR-APD-Messfunktion, die seit 2020 auch als Mehrkanalversion bestellt werden kann. Mit dieser lassen sich sehr schnell driftende Störer bewerten, beispielsweise bei der Störaussendungsmessung an Haushalts-Mikrowellen im Frequenzbereich von 1 bis 18 GHz.

Seit 80 Jahren ist Rohde&Schwarz mittlerweile im EMI-Messempfänger-Geschäft tätig. Von den allerersten Störmessempfängern in den 1930er Jahren durch die Ära der analogen Überlagerungsempfänger bis hin zu modernsten FFT-basierten Geräten wurden immer wieder Markneuheiten gebracht und Standards gesetzt.

Dieser Linie bleibt das Unternehmen treu. Im herausziehenden Zeitalter des funkvernetzten Internets der Dinge mit steigenden Anforderungen an die Koexistenzfähigkeit der Komponenten spielt der pflegliche Umgang mit dem Spektrum eine immer wichtigere Rolle. Dafür werden nicht nur Messempfänger gebraucht, sondern eine ganze Palette an Messmitteln bis hin zur schlüsselfertig eingerichteten EMV-Testhalle. Als Komplettanbieter kann Rohde&Schwarz diesen Bedarf in seiner ganzen Breite decken.

Matthias Keller, Jens Medler

Die Autoren danken Manfred Stecher für seinen fachlichen Rat und seine Unterstützung bei der Erstellung dieses Artikels.

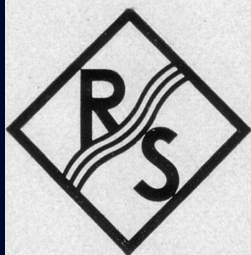
Referenzen

- [1] Funkstörmessung im UKW-Gebiet, W. Pöhlmann, Rohde & Schwarz-Mitteilungen, Heft 9 (1957, S. 73–79.)
- [2] CISPR-Dokument Nr. 305 (Belgique): P. Jesper, Calcul de la courbe de réponse du récepteur CISPR aux impulsions reçues pour les fréquences comprises entre 25 et 300 MHz.
- [3] EMI-Messempfänger von 5 Hz bis 26,5 GHz – Das Konzept der EMI-Spezialisten hat sich bewährt. Neues von Rohde & Schwarz, Heft 156 (1997/IV), S. 10–12.
- [4] CISPR 16-1-1:2019 (Ed. 5) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus.

Weitere Informationen und Datenblätter unter www.rohde-schwarz.com.



Der Fernfeldmesser HHF,
mit dem die Messemp-
fängergeschichte bei
Rohde & Schwarz ihren
Anfang nahm, in einer zeit-
genössischen Anzeige.



Meßgeräte für die Tonfrequenz- und Hochfrequenztechnik
Measuring instruments for low and high frequency engineering
Appareils de mesures pour basses et hautes frequences

ROHDE & SCHWARZ · MÜNCHEN