

Zur Entwicklung, Prüfung, Abnahme und Reparatur von kommerziellen Sendern und Empfängern wird nach dem heutigen Stand der einschlägigen Vorschriften und Empfehlungen (CCIR, IEC, DIN, FNE) eine große Anzahl von Messungen gefordert, für die oft aufwendige Meßaufbauten und lang dauernde Meßreihen nötig sind. Das Selektive Mikrovoltmeter USH 1 – ein hochwertiger Meßempfänger mit Modulationsgenerator und Schmalbandanalysiereinrichtung – vermindert den Geräte- und Zeitaufwand wesentlich.

Messungen an KW-Sendern und -Empfängern mit dem Selektiven Mikrovoltmeter USH 1



Bild 1 Selektives Mikrovoltmeter USH 1.

Foto 22 220

Sendertechnik

Im Anwendungsbereich der Sendertechnik wird das Selektive Mikrovoltmeter USH 1 (Bild 1) vorwiegend mit einem NF-Generator und einem beliebigen Sichtgerät (z. B. vom Polyskop III SWOB) oder Oszillografen benutzt (Bild 2). Mit diesem Meßaufbau lassen sich alle an MW- und KW-Sendern interessierenden Parameter ermitteln [1].

Neben den statischen Messungen, bei denen das Mikrovoltmeter als **selektiver Spannungsmess- und Leistungsmesser** dient, macht es der **Modulationsgenerator** des USH 1 [2] möglich, mit einer einzigen Messung Nebenausstrahlungen, Trägerunterdrückung, Seitenband- oder Einseitenbanddurchlaß getrennt nach oberem

und unterem Seitenband darzustellen [3]. Die **Schmalbandanalysiereinrichtung** erlaubt eine rasche Aussage über nicht-lineare Verzerrungen [4].

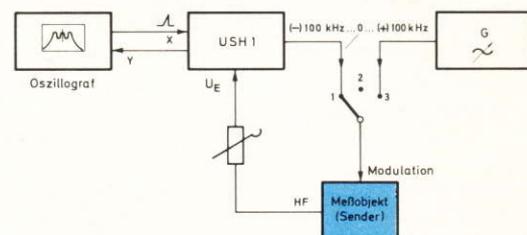


BILD 2 Sendermeßplatz mit dem Selektiven Mikrovoltmeter USH 1, einem NF-Generator mit kleinem Klirrfaktor und dem Sichtgerät zum Polyskop III SWOB oder einem beliebigen Oszillografen.

Für die Analyse des Modulationsspektrums und bei der Seitenbandmeßtechnik ist das Mikrovoltmeter auf die Trägerfrequenz des Prüflings eingestellt. Die momentane Abstimmfrequenz um die eingestellte Trägerfrequenz wird über das Ablaufteil des Sichtgerätes in einem am USH 1 einstellbaren Bereich von wenigen Hz bis ± 100 kHz verändert. Das Mikrovoltmeter arbeitet als Analysator in dem eingestellten Seitenbandbereich.

Bei der Ermittlung des **Modulationsklirrfaktors k** und des **Modulationsklirrgrades m** wird der Sender mit einem Ton moduliert und die gesuchten Größen werden entsprechend den Beziehungen

$$k = \sqrt{\frac{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}} \cdot 100\%$$

und

$$m = 10^{\frac{6-b}{20}} \cdot 100\%$$

aus dem Oszillogramm (Bild 3) gewonnen.

Zur Messung des **Differenztonfaktors** (Bild 4) moduliert man den Träger mit zwei frequenzmäßig eng benachbarten NF-Spannungen gleicher Amplitude (f_{M1} und f_{M2}). Aus den durch nichtlineare Glieder im Meßobjekt im NF-Abstand vom Träger entstehenden Produkten (z. B. $2f_{M2} - f_{M1}$ oder $2f_{M1} - f_{M2}$) läßt sich der Differenztonfaktor ermitteln. Der Differenztonfaktor 3. Ordnung beträgt zum Beispiel:

$$d_3 = \frac{2U_1}{\sqrt{2} U_0}$$

wobei U_0 der Effektivwert des gesamten Gemisches am Senderausgang ist.

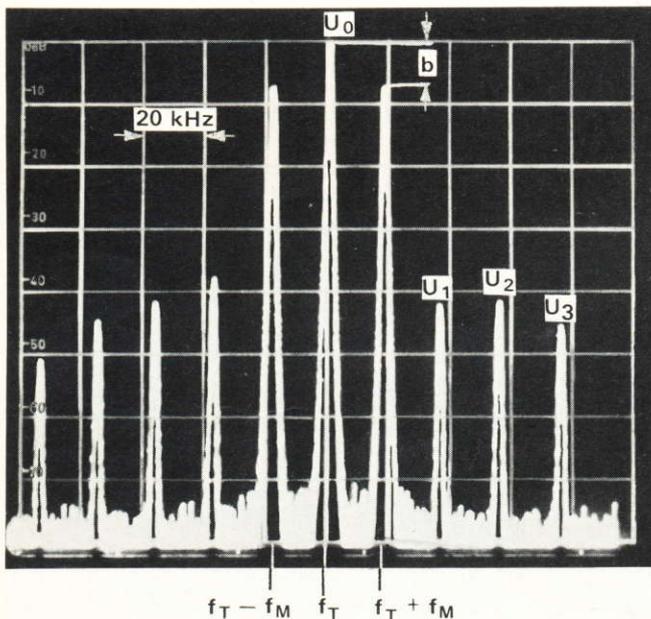


BILD 3 Modulationsgrad- und -klirrfaktormessung mit dem USH 1. U_0 Träger, U_1 , U_2 , U_3 Oberwellen, b Abstand zwischen Träger und Seitenband (in dB), f_T Trägerfrequenz, $f_T - f_M$ und $f_T + f_M$ Modulationsseitenbänder.

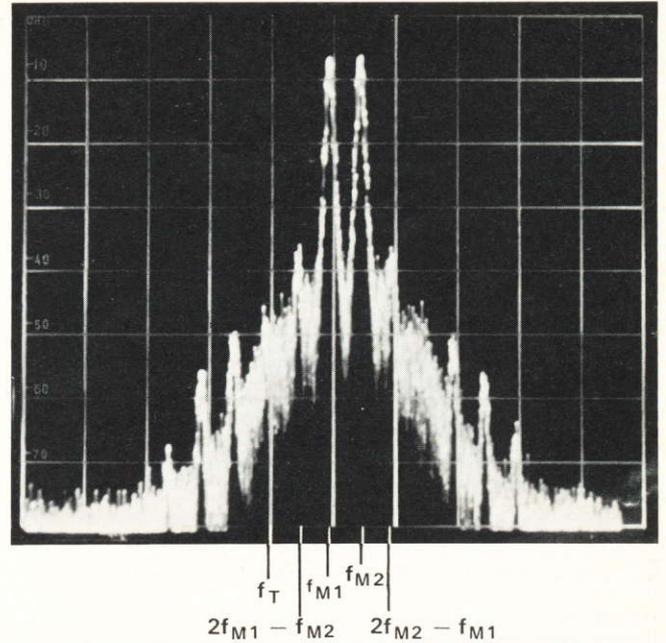


BILD 4 Differenztonmessung im oberen Seitenband eines Einseitenband-Senders (Zweitonenverfahren), Träger unterdrückt, Modulationstiefe 6 dB unter PEP.

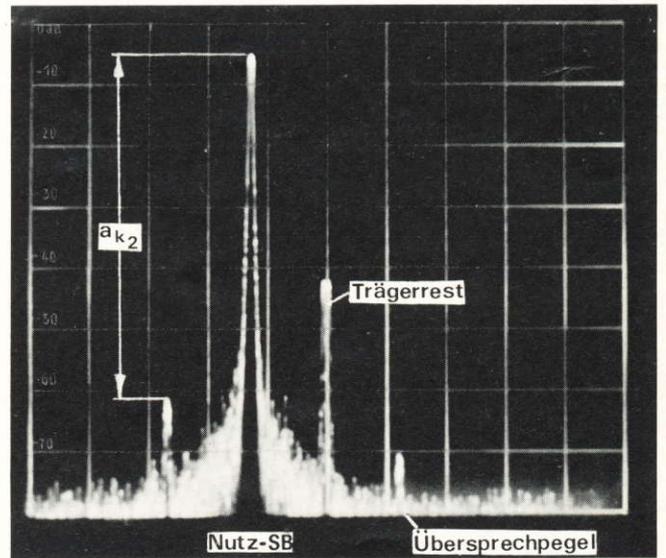


BILD 5 Übersprechen des mit einer konstanten Frequenz modulierten unteren Seitenbandes eines ISB-Senders auf das obere unmodulierte Seitenband. Es werden der Übersprechpegel, der Trägerrest und das Klirrdämpfungsmaß 2. Ordnung angezeigt.

Bei SSB-(single side band-)Sendern, besonders aber bei ISB-(independent side band-)Sendern muß das durch Intermodulation neu gebildete Seitenband gemessen werden, das aussteuerungsabhängig in den Endstufen entsteht. Zum Messen des **Übersprechens der Modulationsbänder** wird das eine Seitenband entweder mit einer konstanten Frequenz oder gewobbelt (mit Modulationsgenerator) moduliert und das zweite, unmodulierte Seitenband betrachtet (Bild 5).

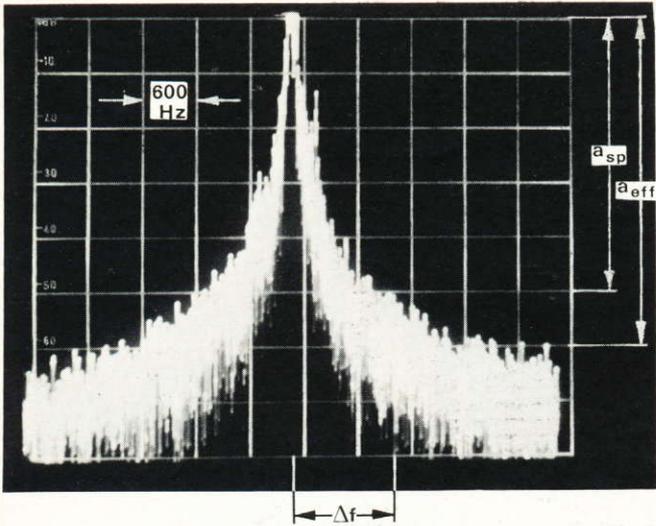


BILD 6 Messung des Rauschabstandes $a_R = a + 10 \lg B$ (Effektivwert und Spitzenwert); USH-1-Meßbandbreite 200 Hz.

Bei der Beurteilung des **Rauschabstandes** darf das USH 1 zur Erhöhung des Dynamikbereichs um 10 dB übersteuert werden. Der Rauschabstand a_R im Abstand Δf vom Träger, gemessen in dB/Hz ist:

$$a_R = a + 10 \lg B,$$

wobei B die effektive Rauschbandbreite des Meßfilters ist, die etwa der am USH 1 eingestellten Bandbreite entspricht. Bild 6 zeigt die Analyse eines mit Varaktordioden gesteuerten Oszillators bei einer USH-1-Meßbandbreite von 200 Hz.

Zum Messen des **Seitenbanddurchlasses** liefert das Mikrovoltmeter die Differenzfrequenz zwischen der eingestellten Trägerfrequenz und der momentanen Abstimmfrequenz als NF-Modulationsfrequenz für den Prüfling. Auf die im Prüfling erzeugten Seitenfrequenzen ist das USH 1 automatisch nacheinander abgestimmt. Somit kann exakt die tatsächliche Gesamtdurchlaßkurve gemessen werden (Bild 7).

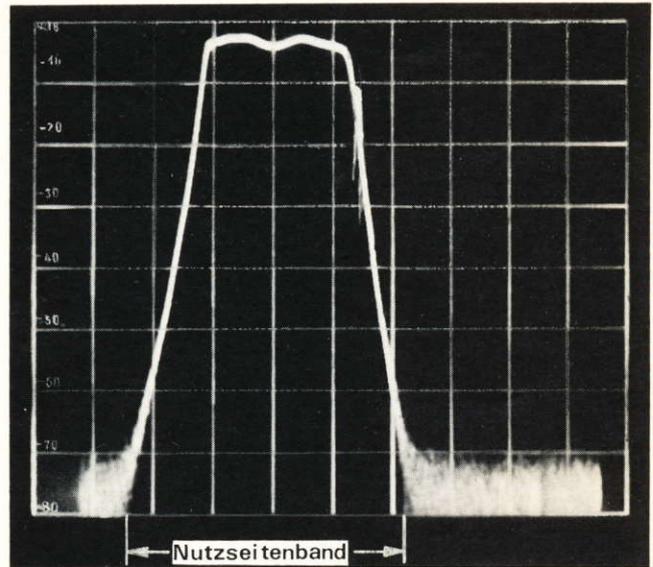


BILD 7 Durchlaßverhalten eines SSB-Senders.

Die **Störhubmessung** geschieht mit Hilfe der Phasenregelschaltung (APC), die sich in einem Bereich von ± 100 kHz mit maximal 2 MHz/s Frequenzänderung an das Eingangssignal klammert. Gleichzeitig bildet der Modulationsgenerator, wie bei der SB-Messung, die Differenzfrequenz von eingestellter Mittenfrequenz zu momentaner Abstimmfrequenz. Ist der Prüfling mit Stör-FM behaftet, überträgt sich diese über den Regelkreis auf den Modulationsgenerator. Mit einem Oszillografen können dann Störhübe von wenigen Hz vermessen werden (Bild 8).

Für den Störhub f_h gilt:

$$f_h = \frac{1}{T_G - \Delta T} - \frac{1}{T_G}$$

mit T_G Gesamtablaufzeit und ΔT Zeitdifferenz der Periodendauern.

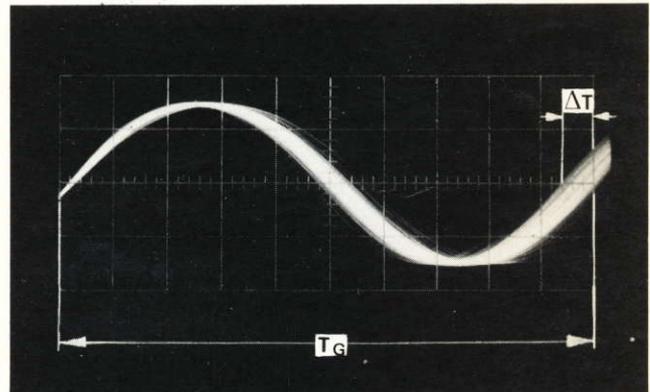
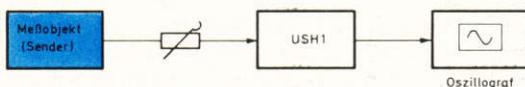


BILD 8 Meßaufbau und Oszillografenanzeige bei der Störhubmessung mit dem USH 1. Einstellung am USH 1: „APC ein“, „Sync.-Osz. frei“. Der Oszillograf wird mit Beginn jeder Periode der Störfrequenz getriggert. T_G Gesamtablaufzeit, ΔT durch die Störfrequenz entstehender Zeitunterschied der Periodendauern.

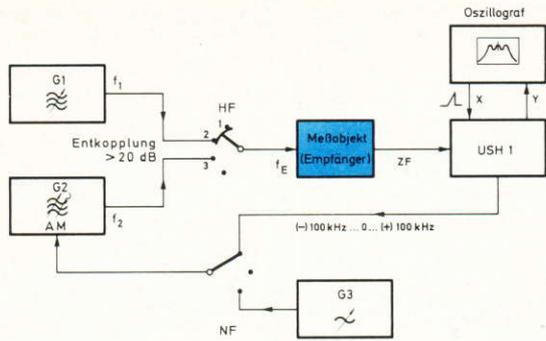


BILD 9 Meßaufbau für Empfängerermessungen. G1 Meßsender mit einem Rauschabstand von 140 dB/Hz (z. B. Leistungs-Meßsender SMLR), G2 Frequenzdekade (z. B. MS 100 M), G3 NF-Generator.

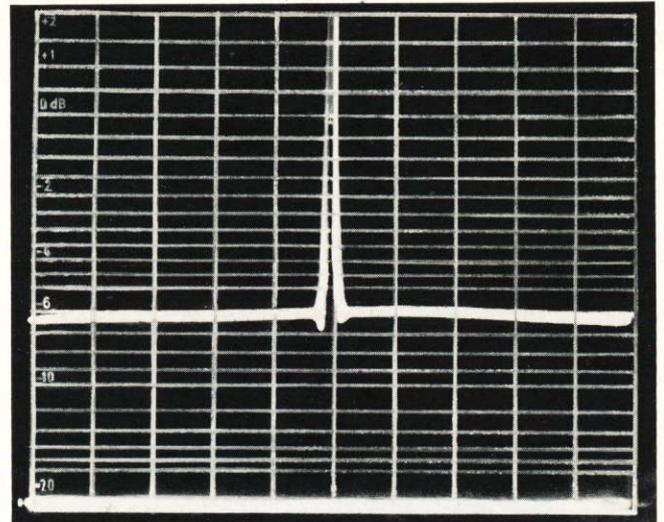


BILD 10 Vom Meßsender an die Antenne des zu messenden Empfängers abgegebene Spannung. Modulationsgrad 100%, Frequenzraster 20 kHz.

Empfängertechnik

Bild 9 zeigt einen Meßplatz zur KW-Empfängerermessung, der den dabei auftretenden speziellen Anforderungen wie extreme Amplitudendynamik und hohe Frequenzgenauigkeit gerecht wird [5]. Zur Gewährleistung eines raschen Meßablaufs sind zur Kontrolle von Selektion und Seitenbandübernahme durch Intermodulation Wobbelverfahren vorzuziehen, die kontinuierlich das eingangsspannungsabhängige Durchlaßverhalten und eine eventuelle Seitenbandübernahme aufzeichnen. Durch die geforderten großen Meßdynamikbereiche von weit über 100 dB kommen nur selektive Meßwertanzeigen mit geringen Meßbandbreiten in Frage.

Um all diesen Wünschen zu entsprechen, verwendet man neben dem klassischen Meßsender und dem erforderlichen Sichtgerät das Mikrovoltmeter USH 1 zur selektiven Meßwertanzeige. Unter Ausnutzung der Seitenbandmeßeinrichtung des USH 1 lassen sich die wesentlichen Eigenschaften der Empfänger unter betriebsmäßigen Meßbedingungen erfassen.

Zur Messung des **Durchlaßverhaltens** moduliert der Modulationsgenerator des USH 1 einen Meßsender, der an die Antenne des Prüflings seinen (unterdrückten) Träger mit gewobbeltem Seitenband abgibt (Bild 10). Die geforderte hohe Genauigkeit der Meßfrequenzen ist hierbei durch die Fixierung der Trägerfrequenz und durch die Ableitung der Meßfrequenz von der tief liegenden Modulationsfrequenz sichergestellt. Durch die Zwangsverknüpfung Meßfrequenz zu Trägerfrequenz spielen Frequenzumsetzungen im Prüfling keine Rolle. Es ist empfehlenswert, das USH 1 in der Ausführung mit 30 Hz Bandbreite zu verwenden, damit möglichst nahe an den Träger heran gemessen werden kann. Hat der benutzte Meßgenerator keine eingebaute Einrichtung zur Trägerunterdrückung, was zum Messen von SSB-Empfängern erforderlich ist (Bild 11), kann ein Ringmodulator, der den Träger um mindestens 20 dB unterdrückt, geliefert werden. Durch Variation des HF-Pegels am Meßsender läßt sich die Durchlaßkurve bei verschiedenen Regelzuständen aufnehmen.

Bei der **Intermodulationsmessung** werden zwei Generatoren verwendet, deren Meßfrequenzen f_1 und f_2 in den Empfangsbereich fallen (Bild 12). Die Intermodulationsprodukte im Abstand $f_1 - f_2$ sind ein Maß für die Wiedergabequalität.

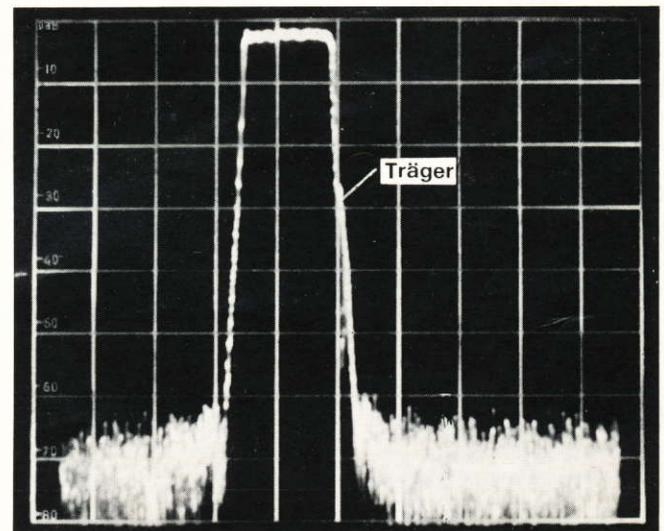


BILD 11 Durchlaßverhalten des Funk-Betriebsempfängers EK 47 bei SSB-Betrieb. Bandbreite des EK 47 3 kHz, Eingangsspannung 300 μ V, Meßbandbreite 200 Hz, Frequenzraster 2 kHz.

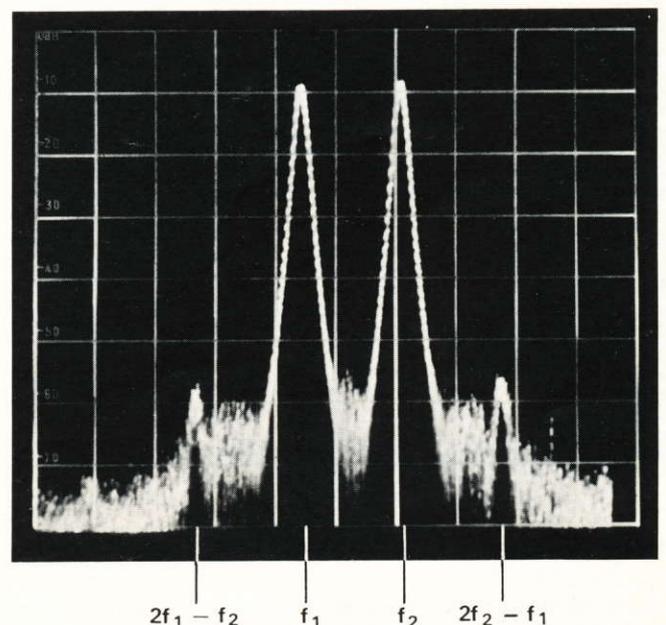


BILD 12 Intermodulation im Seitenband des Funk-Betriebsempfängers EK 47; $f_1 - f_2 = 2,5$ kHz, Eingangsspannung je 3 mV, Meßfrequenz 20 MHz.

Von Interesse ist weiter die **Kreuzmodulation**, die von der Güte des Empfängereingangs und des ersten Umsetzers abhängt. Gemessen wird die Modulationsübernahme eines zu 100% amplitudenmodulierten Störers auf einen unmodulierten Nutzsender. Der Rauschabstand des Störers sollte mög-

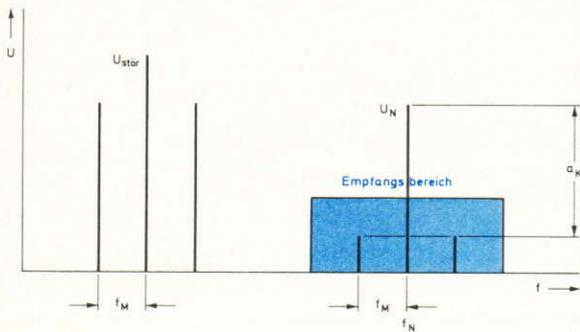


BILD 13 Nutzsender mit beiden Störseitenbändern innerhalb des Empfangsbereichs. Störersender mit 100% AM, Nutzsender unmoduliert.

lichst größer als 130 dB/Hz sein, damit die Rauschseitenbänder nicht in den Empfangsbereich fallen, was eine Auswertung der Kreuzmodulation unmöglich macht. Bild 13 zeigt das Prinzip der Spektren. Es gilt für die Kreuzmodulation bei $m_{\text{stör}} = 100\%$.

$$m_K = 10^{\frac{6-a_K}{20}} = C \cdot U_{\text{stör}}^2.$$

Die Konstante C hängt von der Krümmung der Übertragungskennlinie ab, der Abstand a_K in dB wird dem Oszillogramm (Bild 14) entnommen.

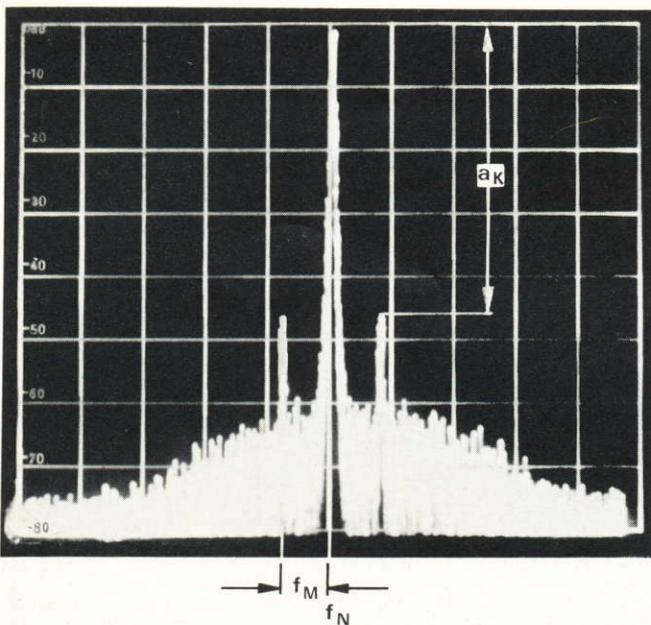


BILD 14 Kreuzmodulation eines Meßempfängers. Modulationsfrequenz $f_M = 4$ kHz (100% AM), Störspannung $U_{\text{stör}} = 100$ mV, Nutzspannung $U_N = 100$ μ V, a_K Abstand in dB zwischen Nutzträger und Modulationsprodukt.

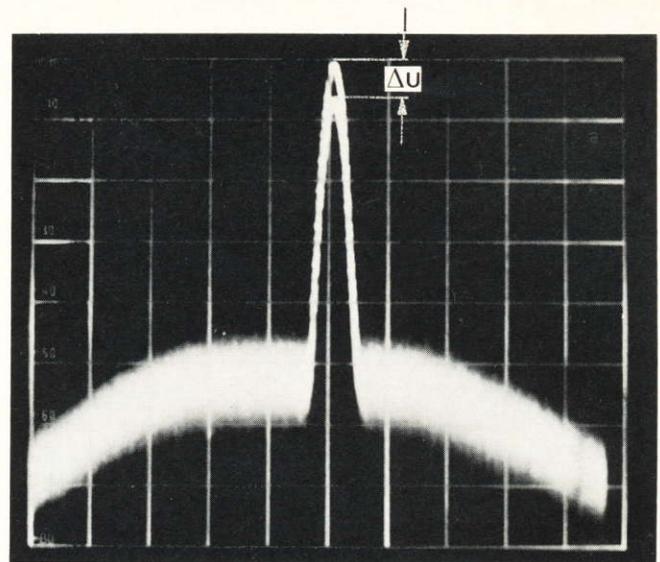


BILD 15 Blockingmessung an einem Meßempfänger; ΔU gibt die Empfindlichkeitsänderung des Empfängers an.

Vor allem bei Breitbandeingängen kann ein starker Störersender die erste Umsetzung blockieren. Für ein Nutzsinal wirkt das wie eine Desensibilisierung des Empfängers. Zur **Blockingmessung** wird diese Desensibilisierung mit einem rauschfreien unmodulierten Störersender außerhalb des Empfangsbereichs erzeugt. Beobachtet wird die Empfindlichkeitsminderung ΔU des Empfängers bei einem Nutzsender innerhalb des Empfangsbereichs (Bild 15).

K. Becker

LITERATUR

- [1] DIN 45 051, DIN 45 053 Blatt 1 bis 5.
- [2] DBP 86 4284 v. 22. 1. 1953.
- [3] Becker, K.: Selektive Mikrovoltmeter USH 1 und USH 2. Neues von Rohde & Schwarz (1972) Nr. 53, S. 10-14.
- [4] DIN 45 403 Blatt 1 bis 4.
- [5] DIN 45 300.

KURZDATEN DES SELEKTIVEN MIKROVOLT METERS USH 1

Frequenzbereich	10 kHz ... 60 MHz
Synchronisation des Abstimoszillators	alle 1 MHz um $-0,1 \dots 0 \dots +1,1$ MHz verschiebbar
Meßbereich	0,3 μ V ... 3 V / $-130 \dots +12$ dB
Anzeigebereich	
linear	20 dB
logarithmisch	80 dB
Nachstimmautomatik	APC (± 100 kHz)
ZF-Bandbreiten	200 Hz/1/5/20 kHz oder 30/200 Hz/1/20 kHz
Bestellnummer	205.3616 ...

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 62/3