

Mit dem AMA bietet Rohde & Schwarz ein Präzisionsgerät für extrem genaue Modulationsgradmessungen an, wie sie bei der Kalibrierung von Meß- und Nachrichtengeräten, die mit Amplitudenmodulation arbeiten, vorgenommen werden müssen. Speziell ist das Gerät eingerichtet für den Einsatz in der Flugnavigations-Meßtechnik. Als Anwender kommen somit Hersteller und Servicestellen für Meß- und Navigationsgeräte, Flugsicherungs- und Aufsichtsbehörden oder Eichlabors der Fluggesellschaften infrage.

Präzisions- Modulationsgradmesser AMA

Der Forderung nach möglichst absoluter Flugsicherheit kann nur entsprochen werden mit extrem zuverlässigen und genauen Navigationsgeräten. Mindestens ebenso hohe Ansprüche werden aber auch an die Meßgeräte zur Überwachung der Navigationsanlagen gestellt. Die weltweit bewährten Rohde & Schwarz-Meßplätze für Flugnavigations- und Kommunikationsempfänger [1] und für VOR-Anlagen [2] enthalten deshalb eingebaute Eigen-

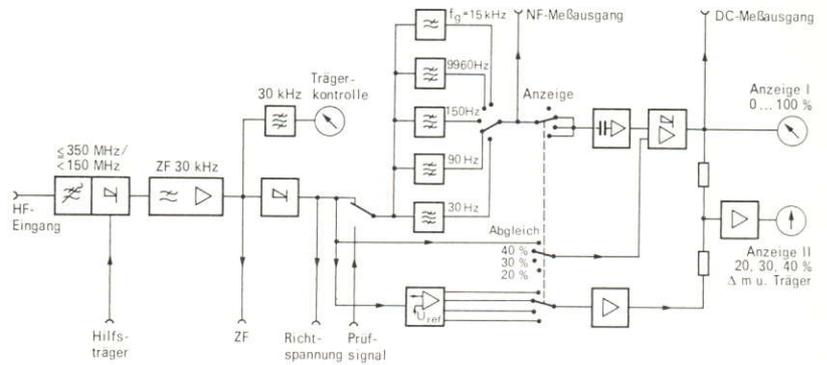
kontrollenrichtungen, die alle Änderungen der Meßplatzeigenschaften sicher erkennen lassen und damit die Einhaltung der Fehlergrenzen ermöglichen. Zum Kalibrieren derartiger hochgenauer Meßplätze reichen handelsübliche Meßgeräte nicht aus, es müssen vielmehr Geräte mit Normalieneigenschaften verwendet werden. Zu diesem Zweck entwickelte Rohde & Schwarz bereits vor einigen Jahren den VOR-Phasennullmesser POR [3]



BILD 1 Präzisions-Modulationsgradmesser AMA für den Einsatz in der Flugnavigations-Meßtechnik.

Foto 24 481

BILD 2
Prinzipschaltung
des Präzisions-
Modulationsgrad-
messers AMA.



und jetzt den Präzisions-Modulationsgradmesser AMA (BILD 1). Diese Geräte können natürlich auch zum Prüfen und Kalibrieren anderer Meßgeräte und Anlagen dienen, was besonders dringend geboten ist, wenn sie nicht über Eigenkontrolleinrichtungen verfügen.

Anwendung und Eigenschaften

Der Präzisions-Modulationsgradmesser AMA dient der Kalibrierung von Nachrichten-, Navigations- und Meßgeräten im Trägerfrequenzbereich 50 bis 350 MHz. Die Messung des Modulationsgrades kann im Modulationsfrequenzbereich 10 Hz bis 12 kHz breitbandig oder bei 30, 90, 150 und 9960 Hz selektiv geschehen. Bei der selektiven Messung berücksichtigt der AMA, ebenso wie die Flugempfänger, nur die Grundwelle des Modulationssignals, wozu er spezielle Bandfilter mit extrem stabilem Übertragungsfaktor enthält. Durch die Möglichkeit der selektiven Messung kann der Modulationsgrad bei mehreren gleichzeitig vorhandenen Signalkomponenten, wie es bei VOR und ILS der Fall ist, ohne Betriebsunterbrechung bestimmt werden; außerdem werden dadurch Verfälschungen der Modulationsgrade der beiden Signalfrequenzen bei ILS-Signalen ausgeschlossen, worauf später noch eingegangen wird.

Den Modulationsgrad zeigen zwei Analog-Instrumente an. Der Meßbereich von Instrument I beträgt 0 bis 100% und der von Instrument II jeweils Standardmodulationsgrad (20, 30, 40%) $\pm 2\%$. Der Fehler in den gedehnten Meßbereichen ist maximal 0,2%. Mit dieser hochgenauen Analoganzeige lassen sich Abgleicharbeiten an Navigationsgeräten auf den Sollmodulationsgrad besonders schnell und exakt durchführen. Durch die gleichzeitige Anzeige des Modulationsgrades und seiner Abweichung vom Sollwert an getrennten Instrumenten mit jeweils nur einer Skala sind Bedienungs- und Ablesefehler praktisch nicht möglich.

Aufbau und Wirkungsweise

Der Modulationsgradmesser arbeitet als Überlagerungsempfänger auf einer Zwischenfrequenz von 30 kHz (BILD 2). Als Hilfs-trägeroszillator dient ein frequenzstabiler externer Generator, zum Beispiel ein Rohde & Schwarz-Meßsender SMDA, SMDF, SMDU oder SMDW. Der Eingangsspannungsbedarf am Oszillatoreingang beträgt 0,5 bis 1,5 V und am Meßeingang 5 bis 10 mV.

Da der Mischvorgang nur in einem relativ kleinen, linearen Stück der Diodenkennlinie stattfindet, ist das ZF-Signal verzerrungsfrei. Das auf hohen Pegel verstärkte ZF-Signal wird in einem ebenfalls verzerrungsarmen Gleichrichter demoduliert. Im Gegensatz zu üblichen HF-Gleichrichtern, die wegen der Diodenkennlinienkrümmung nur verzerrt demodulieren, überträgt die ZF-Gleichrichterschaltung des AMA das Modulationssignal infolge starker Gegenkopplung streng linear. Der hohe Gegenkopplungsgrad wird durch die niedrige ZF von 30 kHz und hohe Grenzfrequenz (100 MHz) des in der Schaltung liegenden Operationsverstärkers erreicht.

Der AMA bestimmt den Modulationsgrad durch Messung der Differenz zwischen dem gleichgerichteten Wechselspannungsanteil der Richtspannung und einer Vergleichsspannung (Gleichstromanteil der Trägerrichtspannung), die je nach zu messendem Modulationsgrad mit dem Mehrfachschalter an der Frontplatte gewählt wird. In Stellung „Abgleich“ dieses Schalters wird vor der Messung die Trägerrichtspannung durch Verändern der HF-Eingangsspannung so eingestellt, daß die Anzeige am Instrument II Null beträgt. Bei der gewählten Schaltung sind Schwankungen der HF-Eingangsspannung unkritisch; nach dem Pegelabgleich gehen sie nur mit dem zwanzigsten Teil in das Meßergebnis ein.

Der Spannungsmesser für die Wechselspannung enthält einen Mittelwertgleichrichter, damit auch bei Breitbandmessungen überwiegend die Grundwelle bewertet wird, denn er unterdrückt geradzahlige Oberwellen vollständig und ungeradzahlige zum größten Teil. Fremdspannungen und Oberwellen mit üblichen Störabständen sind dadurch vernachlässigbar.

Zur Eigenkontrolle hat der Modulationsgradmesser verschiedene Prüfsignal-Ein- und -Ausgänge. Zur reinen Funktionskontrolle werden an den Ausgangsbuchsen typische Spannungen gemessen, die auch mit hoher Genauigkeit eventuelle Stör-Offsetspannungen der eingebauten Operationsverstärker erkennen lassen.

Zum Prüfen der Genauigkeit des Modulationsgradmessers dient der Richtspannungsausgang, an dem eine dem Modulationsgrad streng proportionale Spannung zur Verfügung steht. Bei der Eichkontrolle wird der exakte Modulationsgrad bestimmt, indem die Gleichspannung am Richtspannungsausgang mit der Spannung am NF- oder DC-Meßausgang in Beziehung gesetzt wird und außerdem der Übertragungsfaktor zwischen Prüfsignaleingang und dem entsprechenden Ausgang berücksichtigt wird. Alle erforderlichen Gleich- und Wechselspannungsmessungen lassen sich mit einem guten Digitalvoltmeter durchführen.

Einfluß der Modulationsverzerrungen bei Zweitonaussteuerung

Beim Instrumenten-Landeverfahren ILS wird die Modulationsgrad-Differenz zweier Signale (90 Hz und 150 Hz) — der DDM-Wert (Difference in Depth of Modulation) — als Navigationssignal ausgewertet. Für das Konzept des Präzisions-Modulationsgradmessers AMA und des VOR-ILS-Meßplatzes war es daher von Bedeutung, auch den Einfluß der bei Zweitonaussteuerung auftretenden Verzerrungen auf die mit Einsignalaussteuerung eingestellten Modulationsgrade zu kennen.

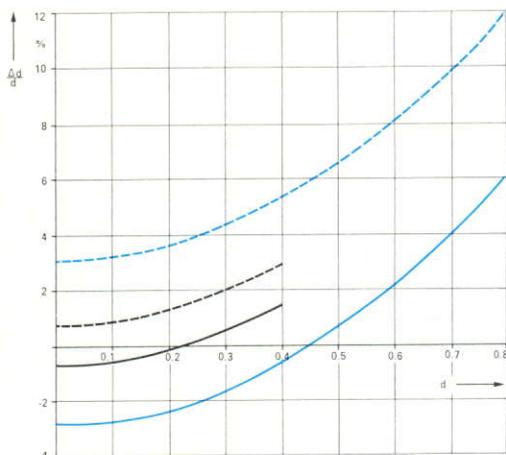


BILD 3 Relativer DDM-Fehler $\Delta d/d$ pro Prozent Modulationsklirrfaktor bei $m = 40\%$ als Funktion des DDM-Wertes d . Blau für Glide-Slope-Signal, schwarz für Localizer; gestrichelte Kurven bei Einpegelung mit einem Signal und durchgezogene mit zwei Signalen.

Die bei der Aussteuerung einer nichtlinearen Modulationskennlinie der Steilheit S mit zwei sinusförmigen Signalen mit den Amplituden A und B entstehenden Modulationsprodukte lassen sich nach der Taylorschen Reihenentwicklung bestimmen [4]. Für die Modulationsgrade m_A und m_B der Grundwellenamplituden ergibt sich:

$$m_A = A \cdot S (1 + 3 k_{3A} + 6 k_{3B} + \dots),$$

$$m_B = B \cdot S (1 + 3 k_{3B} + 6 k_{3A} + \dots).$$

Hierbei bedeuten k_{3A} und k_{3B} die Klirrfaktoren der dritten Harmonischen bei Aussteuerung mit A und B . Glieder höherer Ordnung sind bei nicht übersteuerten Modulatoren mit kleinem Klirrfaktor praktisch vernachlässigbar. Das Vorzeichen von k_3 hängt vom Vorzeichen des Verzerrungsfaktors in der Taylorschen Reihe ab und ist für die Ermittlung des Betrages der Fehler ohne Bedeutung.

Aus den Gleichungen folgt für $A = B$ (DDM = 0) eine Modulationsgradänderung der Signalkomponenten von $6 k_3$ beim Übergang von Ein- auf Zweitonaussteuerung. Man gelangt bei abweichenden Modulationsgraden (DDM $\neq 0$) ebenfalls zu übersichtlichen Ergebnissen, wenn die Signale A und B und ihre Klirrfaktoren k_3 auf die Werte bei DDM = 0 normiert werden (Index 0). DDM-Werte = 0 werden vorwiegend mit Signalen A und B nach folgender Beziehung erzeugt:

$$A = A_0 (1 + \delta) \quad \text{und} \quad B = A_0 (1 - \delta);$$

damit werden

$$k_{3A} = (1 + \delta)^2 k_{30} \quad \text{und} \quad k_{3B} = (1 - \delta)^2 k_{30}.$$

Nach einigen Umformungen ergibt sich daraus für den DDM-Wert

$$d = m_A - m_B,$$

$$d \approx 2 \delta A_0 \cdot S [1 + 3 k_{30} (1 + 3 \delta^2)].$$

Hierbei ist $2 \delta A_0 \cdot S$ der DDM-Wert, der ohne Verzerrungen aufträte, wobei $\delta = \frac{d}{2 m_0}$ ist.

Für Localizer und Glide-Slope-Sender und -Empfänger ergeben sich hiermit folgende Näherungsformeln (Tabelle), wenn für m_0 die Standardwerte 20 und 40% eingesetzt werden. Die erste Zeile gilt für Einzeleingepelung der Signale A und B , die zweite für selektive Einpegelung bei Zweitonaussteuerung auf den Standardwert, wobei die Aussteuerung mit dem Faktor $1/(1 + 6 k_{30})$ korrigiert wird.

Einpegelung von m_0	DDM-Fehler Δd bei Localizer	DDM-Fehler Δd bei Glide-Slope-Geräten
mit einem Signal	$3 d k_{30} (18,75 d^2 + 1)$	$3 d k_{30} (4,69 d^2 + 1)$

selektiv,
beide Signale gleichzeitig anliegend

Die Verhältnisse für Localizer erscheinen ungünstiger als für Glide-Slope-Geräte, weil sich der Klirrfaktor k_{30} auf verschiedene Signalaussteuerungen bei DDM = 0 bezieht. Bei den Kurven in BILD 3 wurde deshalb zur besseren Übersicht der Fehler $\Delta d/d$ in beiden Fällen auf den Klirrfaktor der Modulationskennlinie bei $m = 40\%$ bezogen. Die Kurven zeigen, daß es zur Bestimmung genauer DDM-Werte erforderlich ist, die Modulationsgrade bei Zweitonaussteuerung nach dem Modulator selektiv zu messen, wie es beim Präzisions-Modulationsgradmesser AMA und auch im Monitorteil des R&S-Meßplatzes für Flugnavigations- und Kommunikationsempfänger geschieht.

Hans-Egon Ramundt

LITERATUR

- [1] Ramundt, H.-E.; Pedersen, J.: Meßplatz für Flugnavigations- und Kommunikationsempfänger. Neues von Rohde & Schwarz (1971) Nr. 50, S. 5–11.
- [2] Bruckner, R.; Pedersen, J.: Meßplatz für VOR-Anlagen. Neues von Rohde & Schwarz (1973) Nr. 62, S. 13–16.
- [3] Pedersen, J.: VOR-Phasennullmesser POR. Neues von Rohde & Schwarz (1973) Nr. 63, S. 13–15.
- [4] Wilhelm, K.: Die Röhre im Rundfunkempfänger. Die Telefonröhre (1935) Nr. 3, S. 95–102.

KURZDATEN

PRÄZISIONS-MODULATIONSGRADMESSEER AMA

Trägerfrequenzbereich	50 ... 350 MHz
Modulationsfrequenz-Meßbereich	10 Hz ... 12 kHz, selektiv 30, 90, 150 und 9960 Hz
Erforderliches Hilfsoszillatorsignal	Meßfrequenz ± 30 kHz/0,5 ... 1,5 V
Eingangsspannungsbedarf	5 ... 10 mV
Meßbereiche	
Anzeige I	$m = 0 \dots 100\%$
Fehlergrenzen (Sinusmod.)	$\pm (1\% \text{ v. M.} + 1,5\% \text{ v. E.})$
Anzeige II	$m = 18 \dots 22\% / 28 \dots 32\% / 38 \dots 42\%$
Fehlergrenzen	$\pm 0,1\% / \pm 0,15\% / \pm 0,2\% \text{ Mod.-Grad}$
Bestellnummer	211.4010 ...

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 74/1