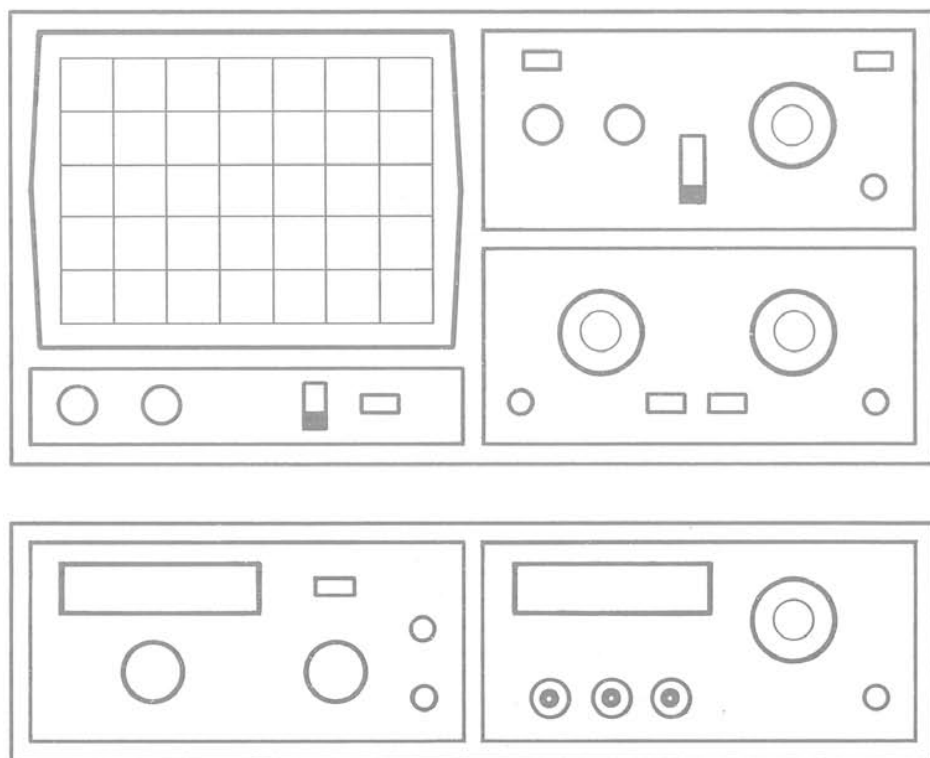


HAMEG

Instruments

MANUAL

Spectrum Analyzer HM 5005 / 5006



Datenblatt

mit technischen Einzelheiten

**Spectrum Analyzer
HM 5005 / 5006**

Bedienungsanleitung

Allgemeine Hinweise	M 1
Aufstellung des Gerätes	M 1
Sicherheit	M 1
Betriebsbedingungen	M 2
Garantie	M 2
Wartung	M 2
Netzspannungsumschaltung	M 2
Einleitung	M 3
Betriebshinweise	M 3
Bedienelemente	M 4
Vertikale Kalibrierung	M 6
Horizontale Kalibrierung	M 6
Einführung in die Spektrum-Analyse	M 7
Grundlagen über Spektrum-Analysatoren	M 7

Anforderungen an Spektrum-Analysatoren

Frequenzmessung	M 8
Stabilität	M 8
Auflösung	M 9
Rauschen	M 9
Video-Filter	M10
Empfindlichkeit - Max. Eingangspegel	M10
Frequenzgang	M10
Mitlaufgeneratoren	M10
Zubehör	M11
EMV-Nahfeldmeßsondensatz	M11

Bedienungselemente

mit herausklappbarem Frontbild

Blockschaltbild

B 1

Technische Daten

Frequenzeigenschaften

Frequenzbereich: 0,5MHz bis 500MHz (-3dB)
Genauigkeit Mittenfrequenz: $\pm 100\text{kHz}$
Genauigkeit Marker: $\pm(0,1\% \text{ span} + 100\text{kHz})$
Auflösung der Frequenzanzeige: 100kHz
 (4 digit LED)
Frequenzhub: 50kHz/cm bis 50MHz/cm
 mit 1-2-5 Teilung
 + 0Hz/cm. (Zero Scan)
Genauigkeit Frequenzhub: $\pm 10\%$
Stabilität: Drift: $< 150\text{kHz} / \text{Std.}$
ZF-Bandbreite (-3dB):
 Auflösung: 250kHz und 12,5kHz
 Video-Filter ein: 4kHz
Wobbelfrequenz: 43Hz

Amplitudeneigenschaften

Bereich: -100dBm bis +13dBm
Anzeigebereich: 80dB (10dB / cm)
Referenzpegel: -27dBm bis +13dBm
 (in 10dB Schritten)
Genauigkeit des Referenzpegels: $\pm 2\text{dB}$
Mittlerer Rauschpegel: -99dBm (12,5kHz FBB)
2. harmonische: $< -75\text{dBc}$
Intermodulation (3. harm.): -70dBc
 (2 Signale im Abstand $> 3\text{MHz}$)
Mittlere Ansprechschwelle:
 $< 5\text{dB}$ über Grundrauschen
Auflösung bei Bandbreitenumschaltung: $\pm 1\text{dB}$
Anzeige-genauigkeit: $\pm 2\text{dB}$
ZF-Verstärkung: Einstellbar um 10dB

Eingangs-Charakteristiken

Eingangsimpedanz: 50 Ω
HF-Eingang: BNC-Buchse
Abschwächer: 0 bis 40 dB (4 x 10dB)
Genauigkeit d. Abschwächers: $\pm 1\text{dB}$
Max. Eingangspegel: +20dBm (0,1W)
 dauernd mit 40dB Abschwächung.
 +10dBm, $\pm 25V_{DC}$ mit 0dB Abschwächung

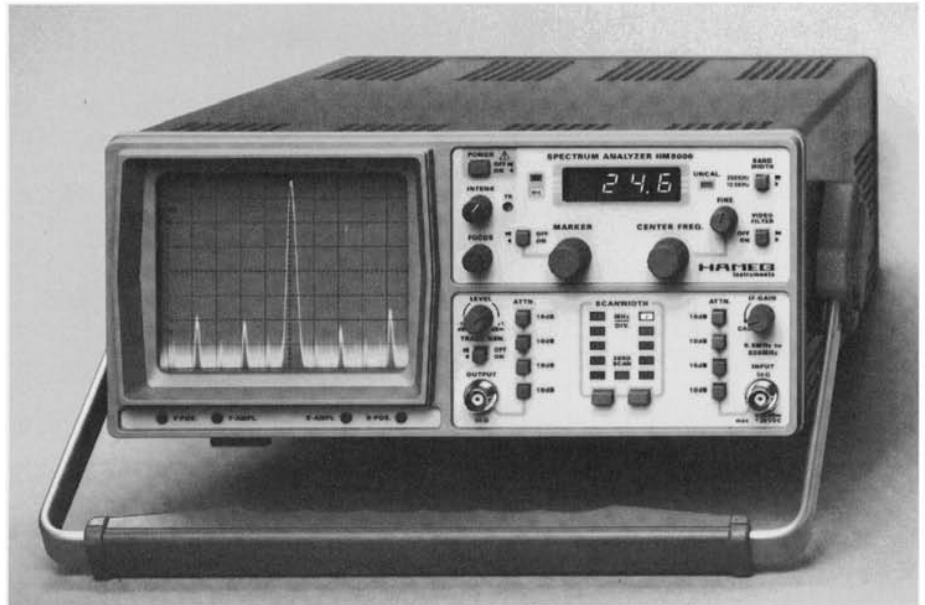
Tracking Generator

Bereich Ausgangspegel: -50dBm to +1dBm
 (in 10dB Stufen und variabel)
Ausgangsabschwächer: 0 bis 40dB (4 x 10dB)
Genauigkeit des Abschwächers: $\pm 1\text{dB}$
Ausgangsimpedanz: 50 Ω (BNC-Buchse)
Frequenzbereich: 0,1MHz bis 500MHz
Frequenzgang: $\pm 1,5\text{dB}$
HF-Störung: $< 20\text{dBc}$

Allgemeines

Betriebsbedingungen: 10° bis 50°C
Röhre: 8 x 10cm; Innenraster
Strahldrehung: auf Frontseite einstellbar
Netzanschluß: 115, 230V~, $\pm 10\%$, 50/60Hz
Leistungsaufnahme: 20W max.
Schutzart: Schutzklasse I (VDE 0411)
Gewicht: ca. 7kg
Gehäusemaße: B 285, H 125, T 380mm

Mit verstellbarem Aufstell-Tragegriff
 Option: 19"-Einbausatz



Spectrum Analyzer HM 5005 u. HM 5006

Durchgehender Frequenzbereich von 0,5MHz bis 500MHz.
4stellige Digitalanzeige für Mitten- u. Marker-Frequenz (Aufl. 0,1MHz).
Amplitudenbereich -100 bis +13dBm; 12,5kHz-, 250kHz- und Video-Filter.

Tracking Generator (nur im HM 5006)

Durchgehender Frequenzbereich von 0,1MHz bis 500MHz.
Ausgangsspannung +1dBm bis -50dBm (an 50 Ω).

Die Geräte **HM5005** und **HM5006** eignen sich für fast alle Arten der Signalanalyse im Frequenzbereich von **0,5MHz bis 500MHz**. Beide Modelle besitzen einen sogenannten "Scanwidth"-Wähler. Mit diesem ist das auf dem Bildschirm sichtbare Frequenzspektrum zwischen **50kHz/cm** und **50MHz/cm** einstellbar. Vor allem die damit verbundene höhere Auflösung in den kleineren Bereichen erlaubt insbesondere die **Analyse von schmalbandigen Signalen**.

Ein anderer, qualitativ wesentlicher Gesichtspunkt ist, daß auch die **Amplitudenwerte** der dargestellten Signale recht genau erfaßbar sind. Der gesamte Meßbereich, einschließlich der zuschaltbaren Eingangsteiler, erstreckt sich von **-100dBm bis +13dBm**, wovon 80dB (10dB/cm) auf den Anzeigebereich der Bildröhre entfallen. Selektive Pegelmessungen werden im "Zero-Scan"-Betrieb durchgeführt.

Beide Geräte besitzen eine **4stellige Digitalanzeige**, mit der wahlweise die Mittenfrequenz oder die Markerfrequenz angezeigt wird. Zusammen mit letzterer wird auf dem Bildschirm eine Markierung eingeblendet, welche die Bestimmung der Frequenz wesentlich erleichtert.




Im **HM5006** befindet sich zusätzlich ein **Tracking-** (Mitlauf)-**Generator**, mit dem auch Frequenzgang-Messungen an **Vierpolen** durchführbar sind. Dabei handelt es sich um eine vom Spektrum-Analysator gesteuerte frequenzsynchrone Signalquelle, deren Frequenzbereich von **100kHz bis 500MHz** reicht. Der Ausgangspegel ist zwischen **-50dBm und +1dBm** in 10dB-Stufen und variabel veränderbar.

Die Geräte **HM5005** und **HM5006** sind äußerst preiswert. Sie erlauben zahlreiche Anwendungen im gesamten Bereich der HF-Meßtechnik. Mit ihrer **guten Ausstattung** und der **einfachen Bedienung** sind sie wieder ein Beweis für die überzeugende Leistungsfähigkeit von **HAMEG-Produkten**.

Inklusives Zubehör
 Netzkabel, Betriebsanleitung,

Lieferbares Zubehör
 50 Ω -Durchgangsabschluß HZ22
 Lichtschutztubus HZ47
 Nahfeldmeßsonden HZ29
 Tragetasche HZ96

Symbole

-  Bedienungsanleitung beachten
-  Hochspannung
-  Erde

Allgemeines

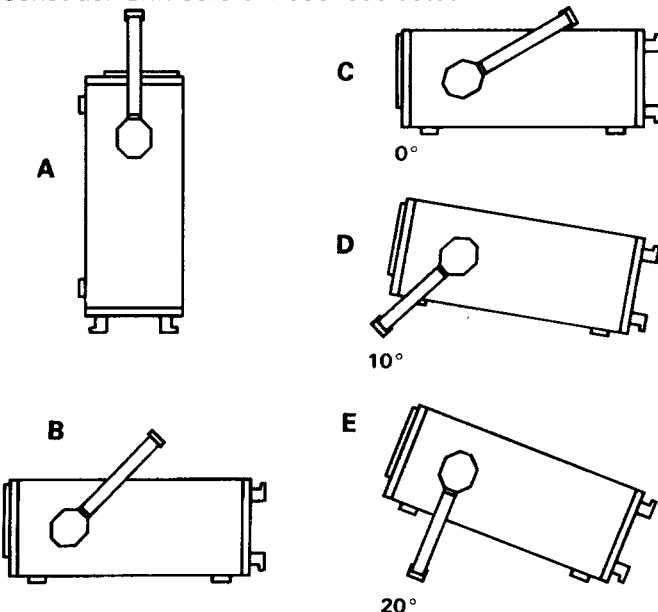
Sofort nach dem Auspacken sollte das Gerät auf mechanische Beschädigungen und lose Teile im Innern überprüft werden. Falls ein Transportschaden vorliegt, ist sofort der Lieferant zu informieren. Das Gerät darf dann nicht in Betrieb gesetzt werden.

Aufstellung des Gerätes

Für die optimale Betrachtung des Bildschirmes kann das Gerät in drei verschiedenen Positionen aufgestellt werden (siehe Bilder C, D, E). Wird das Gerät nach dem Tragen senkrecht aufgesetzt, bleibt der Griff automatisch in der Tragestellung stehen, siehe Abb. A.

Will man das Gerät waagrecht auf eine Fläche stellen, wird der Griff einfach auf die obere Seite des Gerätes gelegt (Abb. C). Wird eine Lage entsprechend Abb. D gewünscht (10° Neigung), ist der Griff, ausgehend von der Tragestellung A, in Richtung Unterkante zu schwenken bis er automatisch einrastet. Wird für die Betrachtung eine noch höhere Lage des Bildschirmes erforderlich, zieht man den Griff wieder aus der Raststellung und drückt ihn weiter nach hinten, bis er abermals einrastet (Abb. E mit 20° Neigung).

Der Griff läßt sich auch in eine Position für waagrechtes Tragen bringen. Hierfür muß man diesen in Richtung Oberseite schwenken und, wie aus Abb. B ersichtlich, ungefähr in der Mitte schräg nach oben ziehend einrasten. Dabei muß das Gerät gleichzeitig angehoben werden, da sonst der Griff sofort wieder ausrastet.



Sicherheit

Dieses Gerät ist gemäß **VDE 0411 Teil 1, Sicherheitsbestimmungen für elektrische Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte**, gebaut und geprüft und hat das Werk in sicherheitstechnisch einwandfreiem Zustand verlassen. Es entspricht damit auch den Bestimmungen der europäischen Norm EN 61010-1 bzw. der internationalen Norm IEC 1010-1. Um diesen Zustand zu erhalten und einen gefahrlosen Betrieb sicherzustellen, muß der Anwender die Hinweise und Warnvermerke beachten, die in dieser Bedienungsanleitung, im Testplan und in der Service-Anleitung enthalten sind. **Gehäuse, Chassis und alle Meßanschlüsse sind mit dem Netzschutzleiter verbunden.** Das Gerät entspricht den Bestimmungen der **Schutzklasse I**.

Die berührbaren Metallteile sind gegen die Netzpole mit 2200V Gleichspannung geprüft.

Durch Verbindung mit anderen Netzanschlußgeräten können u.U. netzfrequente Brummspannungen im Meßkreis auftreten. Dies ist bei Benutzung eines Schutz-Trenntransformators der Schutzklasse II leicht zu vermeiden. Das Gerät darf aus Sicherheitsgründen nur an vorschriftsmäßigen Schutzkontaktsteckdosen betrieben werden.

Der Netzstecker muß eingeführt sein, bevor Signalstromkreise angeschlossen werden. Die Auftrennung der Schutzkontaktverbindung ist unzulässig.

Die meisten Elektronenröhren generieren γ -Strahlen. Bei diesem Gerät bleibt die **Ionendosisleistung weit unter dem gesetzlich zulässigen Wert von 36 μ A/kg**.

Wenn anzunehmen ist daß ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist, so ist das Gerät außer Betrieb zu setzen und gegen unabsichtlichen Betrieb zu sichern. Diese Annahme ist berechtigt,

- wenn das Gerät sichtbare Beschädigungen hat,
- wenn das Gerät lose Teile enthält,
- wenn das Gerät nicht mehr arbeitet,
- nach längerer Lagerung unter ungünstigen Verhältnissen (z.B. im Freien oder in feuchten Räumen),
- nach schweren Transportbeanspruchungen (z.B. mit einer Verpackung, die nicht den Mindestbedingungen von Post, Bahn oder Spedition entspricht).

Betriebsbedingungen

Der zulässige Umgebungstemperaturbereich während des Betriebs reicht von +10°C... +40°C. Während der Lagerung oder des Transports darf die Temperatur zwischen -40°C und +70°C betragen. Hat sich während des Transports oder der Lagerung Kondenswasser gebildet, muß das Gerät ca. 2 Stunden aklimatisiert werden, bevor es in Betrieb genommen wird. Das Meßgerät ist zum Gebrauch in sauberen, trockenen Räumen bestimmt. Es darf nicht bei besonders großem Staub- bzw. Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei Explosionsgefahr sowie bei aggressiver chemischer Einwirkung betrieben werden. Die Betriebslage ist beliebig. Eine ausreichende Luftzirkulation (Konvektionskühlung) ist jedoch zu gewährleisten. Bei Dauerbetrieb ist folglich eine horizontale oder schräge Betriebslage (Aufstellbügel) zu bevorzugen.

Nenndaten mit Toleranzangaben gelten nach einer Anwärmzeit von min. 30 Minuten und bei einer Umgebungstemperatur zwischen 15°C und 30°C. Werte ohne Toleranzangabe sind Richtwerte eines durchschnittlichen Gerätes.

Garantie

Jedes Gerät durchläuft vor dem Verlassen der Produktion einen Qualitätstest mit 10-stündigem „burn-in“. Im intermittierenden Betrieb wird dabei fast jeder Frühausfall erkannt. Dem folgt ein 100% Test jedes Gerätes, bei dem alle Betriebsarten und die Einhaltung der technischen Daten geprüft werden.

Dennoch ist es möglich, daß ein Bauteil erst nach längerer Betriebsdauer ausfällt. Daher wird auf alle Geräte eine **Funktionsgarantie von 2 Jahren** gewährt. Voraussetzung ist, daß im Gerät keine Veränderungen vorgenommen wurden. Für Versendungen per Post, Bahn oder Spedition wird empfohlen, die Originalverpackung zu verwenden. Transport- oder sonstige Schäden, verursacht durch grobe Fahrlässigkeit, werden von der Garantie nicht erfaßt.

Bei einer Beanstandung sollte man am Gehäuse des Gerätes eine stichwortartige Fehlerbeschreibung anbringen. Wenn dabei gleich der Name und die Telefon-Nr. (Vorwahl und Ruf- bzw. Durchwahl-Nr. oder Abteilungsbezeichnung) für evtl. Rückfragen angegeben wird, dient dies einer beschleunigten Abwicklung.

Wartung

Verschiedene wichtige Eigenschaften des Spektrum-Analysators sollten in gewissen Zeitabständen sorgfältig überprüft werden. Nur so besteht eine weitgehende Sicherheit, daß alle Signale mit der den technischen Daten zugrundeliegenden Exaktheit dargestellt werden. Die Außenseite des Spektrum-Analysators sollte regelmäßig mit einem Staubpinsel gereinigt werden. Hartnäk-

kiger Schmutz an Gehäuse und Griff, den Kunststoff- und Aluminiumteilen läßt sich mit einem angefeuchteten Tuch (Wasser +1% Entspannungsmittel) entfernen. Bei fettigem Schmutz kann Brennspritus oder Waschbenzin (Petroleumäther) benutzt werden. Die Sichtscheibe darf nur mit Wasser oder Waschbenzin (aber nicht mit Alkohol oder Lösungsmitteln) gereinigt werden, sie ist dann noch mit einem trockenen, sauberen, fusselfreien Tuch nachzureiben. Nach der Reinigung sollte sie mit einer handelsüblichen antistatischen Lösung, geeignet für Kunststoffe, behandelt werden. Keinesfalls darf die Reinigungsflüssigkeit in das Gerät gelangen. Die Anwendung anderer Reinigungsmittel kann die Kunststoff- und Lackoberflächen angreifen.

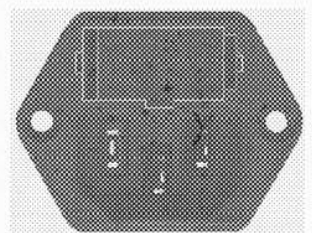
Netzspannungsumschaltung

Bei Lieferung ist das Gerät auf 230V Netzspannung eingestellt. Die Umschaltung auf 115V erfolgt am Netzspannungsumschalter mittels eines kleinen Schraubenziehers, der in den dafür vorgesehenen Schlitz zu stecken ist. Der Netzspannungsumschalter befindet sich hinter einer Öffnung auf der Geräterückwand und zeigt die eingestellte Netzspannung an.

Die Netzspannungsumschaltung darf nur erfolgen, wenn zuvor das Netzkabel aus der Netzsteckerbuchse entfernt wurde. Dann müssen die Netzsicherungen entfernt und durch Sicherungen ersetzt werden, die der gewählten Netzspannung entsprechen (siehe Tabelle). Netzsteckerbuchse und Sicherungshalter bilden eine Einheit und sind (auf der Geräterückseite) von außen zugänglich. Mit einem geeigneten Schraubenzieher (Klingenbreite ca. 2mm) werden die, an der linken und rechten Seite des Sicherungshalters befindlichen, Kunststoffarretierungen nach Innen gedrückt. Der Ansatzpunkt ist am Gehäuse mit zwei schrägen Führungen markiert. Beim Entriegeln wird der Sicherungshalter durch Druckfedern nach außen gedrückt und kann entnommen werden. Jede Sicherung kann dann entnommen und ebenso ersetzt werden. Es ist darauf zu achten, daß die zur Seite herausstehenden Kontaktfedern nicht verbogen werden. Das Einsetzen des Sicherungshalters ist nur möglich, wenn der Führungssteg zur Buchse zeigt. Der Sicherungshalter wird gegen den Federdruck eingeschoben, bis beide Kunststoffarretierungen einrasten.

Die Verwendung „geflickter“ Sicherungen oder das Kurzschließen des Sicherungshalters ist unzulässig. Dadurch entstehende Schäden fallen nicht unter die Garantieleistungen.

Sicherungstyp: Größe **5 x 20 mm**; 250V~, C; IEC 127, Bl. III; DIN 41 662 (evtl. DIN 41 571, Bl. 3). Abschaltung: **träge (T)**



Netzspannung **115V~ ±10%**: Sich. Nennstrom **T 315mA**
Netzspannung **230V~ ±10%**: Sich. Nennstrom **T 160mA**

Einleitung

HM5005 und HM5006 sind Spektrum-Analysatoren. In der Ausführung HM5006 befindet sich zusätzlich eine Mitlaufgenerator (Tracking Generator).

Die zuvor aufgeführten Funktionseinheiten werden nachfolgend in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise beschrieben.

Mit dem Spektrum-Analysator lassen sich Spektralkomponenten elektrischer Signale im Frequenzbereich von 0,5MHz bis 500MHz erfassen. Das zu erfassende Signal bzw. seine Anteile müssen sich periodisch wiederholen. Im Gegensatz zu Oszilloskopen, mit denen im Yt-Betrieb Amplituden auf der Zeitebene dargestellt werden, erfolgt mit dem Spektrum-Analysator die Darstellung der Amplituden auf der Frequenzebene (Y/f). Dabei werden die einzelnen Spektralkomponenten sichtbar, aus denen sich "ein Signal" zusammensetzt. Im Gegensatz dazu zeigt ein Oszilloskop das aus den einzelnen Spektralkomponenten bestehende Signal als daraus resultierende Signalform.

Der Spektrum-Analysator arbeitet nach dem Prinzip des Dreifach-Superhet-Empfängers. Das zu messende Signal ($f_{in} = 0,5\text{MHz} - 500\text{MHz}$) wird der 1. Mischstufe zugeführt und mit dem Signal eines variablen Oszillators (f_{osz} von ca. 610MHz - ca. 1110MHz) gemischt. Dieser Oszillator wird als 1st LO (Local Oscillator) bezeichnet. Die Differenz von Eingangs- und Oszillator-Signal ($f_{LO} - f_{in} = f_{ZF}$) gelangt als 1. Zwischenfrequenz-Signal über ein auf 609,5MHz abgestimmtes Filter auf eine Verstärkerstufe. Dieser folgen 2 weitere Mischstufen, Oszillatoren, Verstärker und Bandfilter für die jeweilige Zwischenfrequenz, 2.ZF = 29,5MHz und 3.ZF = 2,9MHz. In der dritten ZF-Stufe wird das Signal wahlweise über ein Bandfilter mit 250kHz oder 12,5kHz Bandbreite geführt und gelangt auf einen AM-Demodulator. Das Signal (Video-Signal) wird logarithmiert und gelangt direkt oder über einen Tiefpaß (Videofilter) auf einen Verstärker, der die Y-Ablenkplatten der Strahlröhre ansteuert. Mit zunehmender Signalamplitude wird der Elektronenstrahl in Richtung oberer Rasterrand abgelenkt. Der Anzeigebereich des Bildschirms umfaßt 80dB entsprechend 10dB/DIV. (cm).

Die X-Ablenkung der Strahlröhre erfolgt mit einer sägezahnförmigen Spannung. Die vom Sägezahn-Generator stammende Spannung kann auch einer Gleichspannung überlagert werden, mit der die Mittenfrequenz des ersten Oszillators (1st LO) geändert wird. Abhängig vom Spannungshub der Sägezahnspannung, die mit der SCANWIDTH-(Scanwidth = Abtastbreite)-Einstellung bestimmt wird, erfaßt der Spektrum-Analysator einen bestimmten Frequenzbereich. Im ZERO SCAN-Betrieb bestimmt nur die Gleichspannung die Frequenz des ersten Oszillators, d.h. es wird nur eine Frequenz dargestellt.

Der nur im HM5006 enthaltene Mitlaufgenerator kann sinusförmige Spannungen im Bereich von 0,1MHz bis 500MHz generieren. Die Frequenz wird vom ersten

Oszillators des Spektrum-Analysators bestimmt, die dem Mitlaufgenerator (Tracking Generator) zugeführt und dort aufbereitet wird. Spektrum-Analysator und Mitlaufgenerator arbeiten frequenzsynchron.

Betriebshinweise

Vor der Inbetriebnahme des HM5005/HM5006 ist unbedingt der Abschnitt "**Sicherheit**" zu lesen und die darin enthaltenen Hinweise zu beachten.

Für den Betrieb der beiden Geräte sind keine besonderen Vorkenntnisse erforderlich. Die übersichtliche Gliederung der Frontplatten und die Beschränkung auf die wesentlichen Funktionen erlauben ein effizientes Arbeiten sofort nach der Inbetriebnahme.

Trotzdem sollten einige grundsätzliche Hinweise für den störungsfreien Betrieb beachtet werden.

Die empfindlichste Baugruppe ist die Eingangsstufe des Spektrum-Analysators. Sie besteht aus dem Eingangssignal-Abschwächer, einem Tiefpaßfilter und der ersten Mischstufe. Ohne Eingangssignal-Abschwächung dürfen folgende Pegel am Eingang (50Ω) nicht überschritten werden: +10dBm (0,7V_{eff}) Wechselspannung; ±25Volt Gleichspannung. Mit 40dB Abschwächung sind maximal +20dBm zulässig. **Diese Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden!** Andernfalls besteht die Gefahr, daß der Eingangssignal-Abschwächer und/oder die erste Mischstufe zerstört werden.

Bei der Untersuchung von unbekanntem Signalen, sollte zunächst geprüft werden, ob unzulässig hohe Spannungen vorliegen. Außerdem ist es empfehlenswert, die Messung mit maximaler Abschwächung und dem maximal erfaßbaren Frequenzbereich (0,5MHz - 500MHz) zu beginnen. Trotzdem ist zu berücksichtigen, daß unzulässig hohe Signalamplituden auch außerhalb des erfaßten Frequenzbereichs vorliegen können, aber nicht angezeigt werden (z.B. 600MHz).

Der Frequenzbereich von 0Hz bis 500kHz ist für den Spektrum-Analysator nicht spezifiziert. In diesem Bereich angezeigte Spektralkomponenten sind bezüglich ihrer Amplitude nicht auswertbar.

Eine besonders hohe Einstellung der Intensität (**INTENS.**) ist nicht erforderlich, weil im Rauschen versteckte Signale dadurch nicht deutlicher sichtbar gemacht werden können. Im Gegenteil, wegen des dabei größer werdenden Strahldurchmessers werden solche Signale, auch bei optimaler SchärfEinstellung (**FOCUS**), schlechter erkennbar. Normalerweise sind auf Grund des Darstellungsprinzips beim Spektrum-Analysator alle Signale schon bei relativ geringer Intensitätseinstellung gut erkennbar. Außerdem wird damit eine einseitige Belastung der Leuchtschicht - im Bereich des Rauschens - vermindert.

Auf Grund des Umsetzungsprinzips moderner Spektrum-Analysatoren ist bei einer eingestellten Mittenfrequenz von 0MHz auch ohne anliegendes Signal eine Spektrallinie auf dem Bildschirm sichtbar. Sie ist immer dann sichtbar, wenn die Frequenz des 1st LO in den Bereich der 1. Zwischenfrequenz fällt. Man bezeichnet dies als LO-Durchgriff (Local-Oscillator Durchgriff). Die dargestellte Filterkurve entspricht dem Dämpfungsverlauf der ZF-Filter. Der Pegel dieser Spektrallinie ist von Gerät zu Gerät verschieden. Eine Abweichung von der vollen Bildschirmhöhe stellt also keine Fehlfunktion des Gerätes dar.

Bedienelemente

Zur besseren Verfolgung der Bedienungshinweise ist das am Ende der Anleitung befindliche Frontbild herausklappbar, so daß es immer neben dem Anleitungstext liegen kann.

Die Frontplatte ist in drei Felder aufgeteilt.

Oben rechts neben dem Bildschirm befinden sich Bedienelemente, deren Funktion nachfolgend beschrieben wird.

(1) POWER: Der Netz-Tastenschalter, mit den Symbolen für die Ein- (ON) und Aus (OFF)-Stellung. Wird der Netzastenschalter in die Stellung ON geschaltet, dauert es ca. 10 Sekunden bis am unteren Rasterrand der Strahlröhre die Basislinie (Rauschen) sichtbar wird.

(2) INTENS: Einsteller für die Strahlhelligkeit (Intensität). Die Strahlintensität sollte so eingestellt sein, wie es die Umgebungshelligkeit unbedingt erfordert.

(3) FOCUS: Strahlschärfe-Einsteller.

(4) TR: Mit dem TR (Trace rotation = Strahldrehung)-Potentiometer läßt sich mit einem Schraubenzieher der Einfluß des Erdmagnetfeldes, der trotz Mumetall-Abschirmung der Bildröhre unvermeidbar ist, auf die Strahlablenkung ausgleichen. Die Basislinie kann so beeinflußt werden, daß sie fast parallel zur untersten Rasterlinie verläuft. Eine geringfügige kissenförmige Ablenkverzeichnung ist unvermeidbar.

(5) CF: Diese Anzeige leuchtet, wenn sich die **MARKER**-Drucktaste (7) in der **OFF** (AUS)-Stellung befindet. Dann zeigt das daneben befindliche Display die Mittenfrequenz (CF = Center Frequency) an. Die Mittenfrequenz ist die Frequenz, welche in der Mitte der Strahlröhren-X-Achse (25) dargestellt wird.

(6) MK: Befindet sich die **MARKER**-Drucktaste (7) in der ON (EIN)-Stellung, leuchtet **MK** auf. Das Display zeigt dann die Frequenz der auf dem Bildschirm eingblendeten Markierung an. Frequenzen von Spektrallinien, die nicht zufällig Deckungsgleich mit einer senkrechten Rasterlinie sind, lassen sich damit leichter bestimmen.

(7) MARKER - ON/OFF: Befindet sich der **MARKER**-Schalter in Stellung **OFF**, leuchtet die **CF**-Anzeige und das Display zeigt die Mittenfrequenz. In **ON**-Stellung leuchtet die **MK**-Anzeige und das Display zeigt die Marker (Markierungs)-Frequenz an. Der Marker wird als senkrechte Nadel auf dem Bildschirm angezeigt. Die Markerfrequenz ist mit dem **MARKER**-Einstellknopf veränderbar und wird zur Frequenzermittlung mit einer Spektrallinie zur Deckung gebracht (Schwebung). Wie bereits erwähnt, sind mit dem **MARKER** die Frequenzen von Spektrallinien leichter bestimmbar. **Vor dem Ablesen des Pegels vom Bildschirmraster muß der MARKER unbedingt abgeschaltet werden.**

(8) CENTER FREQ. - FINE: Beide Drehknöpfe dienen der Mittenfrequenz-Einstellung. Die Funktion des **FINE** (Fein)-Einstellers ist selbsterläuternd. Die Mittenfrequenz wird auf der mittleren senkrechten Rasterlinie des Bildschirms angezeigt.

(9) UNCAL.: Diese Anzeige blinkt, wenn die Amplituden unkorrekt angezeigt werden. Dies ist der Fall, wenn der erfaßte Frequenzbereich (**SCANWIDTH**), gegenüber der ZF-Bandbreite (12,5kHz) bzw. der Bandbreite des Videofilters (4kHz), zu groß ist.

Es muß dann ohne Filter gemessen werden oder der erfaßte Frequenzbereich muß verringert werden (**SCANWIDTH**).

Die **UNCAL.**-Anzeige blinkt auch, wenn sich der Einsteller **IF-GAIN** (Zwischenfrequenz-Verstärkung) **nicht** in der kalibrierten (**CAL.**) Stellung befindet.

(10) BANDWIDTH: Bewirkt die Umschaltung der ZF (Zwischenfrequenz)-Bandbreite von 250kHz auf 12,5kHz. Mit geringer ZF-Bandbreite verringert sich das Rauschen und die Nahselektion wird besser. Relativ dicht benachbarte Spektrallinien sind dann noch einzeln erfaßbar. Wegen der längeren Einschwingzeit von Filtern mit niedriger Bandbreite, führt dies bei der Erfassung von zu großen Frequenzbereichen (**SCANWIDTH**) zu Amplitudenfehlern (**UNCAL.**-Anzeige blinkt).

(11) VIDEOFILTER: Bei der Messung kleiner Pegelwerte, die in der Größenordnung des durchschnittlichen Rauschens liegen, kann das Video-Filter (Tiefpaß) zur Rauschminderung eingesetzt werden. Dadurch lassen sich unter Umständen noch schwache Signale erkennen, die ansonsten im Rauschen untergehen würden. Auch hierbei ist zu beachten, daß ein zu großer Frequenzbereich (**SCANWIDTH**) bei eingeschaltetem Video-Filter unkorrekte Amplitudenwerte liefert (**UNCAL**-Anzeige blinkt).

Unten rechts neben dem Bildschirm

(12) INPUT: 50Ω-Eingang des Spektrum-Analysators. Ohne Eingangssignal-Abschwächung beträgt die maximal zulässige Eingangsspannung ±25V Gleichspannung bzw. +10dBm Wechselfspannung. Bei höchster Eingangs-

signal-Abschwächung (40dB) sind maximal +20dBm zulässig. Diese Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden.

Der nutzbare Dynamikbereich beträgt 70dB. Höhere, den Referenzpegel (oberste Rasterlinie) überschreitende, Signalpegel führen zur Begrenzung (Kompression) und zum Entstehen unerwünschter Mischprodukte. Es ist daher darauf zu achten, daß keine Spektrallinie den Referenzpegel überschreitet. Anderfalls ist das Eingangssignal stärker abzuschwächen.

(13) ATTN.: Eingangssignal-Abschwächer (Attenuator) bestehend aus vier 10dB Abschwächern, mit denen das Eingangssignal abgeschwächt werden kann. Alle Abschwächer sind in ihrer Funktion gleichwertig und werden wirksam, wenn die jeweilige Drucktaste eingerastet ist. Es ist daher ohne Bedeutung welche Abschwächer benutzt werden.

Der Zusammenhang zwischen eingestellter Abschwächung und dem daraus resultierenden Referenzpegel, sowie dem Pegel der Basislinie geht aus folgender Tabelle hervor.

Abschwächung	Referenzpegel		Basislinie
0dB	-27dBm	10mV	-107dBm
10dB	-17dBm	31.6mV	-97dBm
20dB	- 7dBm	0.1V	-87dBm
30dB	+ 3dBm	316mV	-77dBm
40dB	+13dBm	1V	-67dBm

Der Referenzpegel wird auf der obersten horizontalen Rasterlinie (26) angezeigt. Die unterste Rasterlinie (24) ist die Basislinie. Das Raster ist in vertikaler Richtung in 10dB Schritten skaliert.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, daß die max. zulässigen Eingangsspannungen nicht überschritten werden dürfen. Dieses ist insbesondere deshalb wichtig, weil ein Spektrum-Analysator auf Grund seines Anzeigeprinzips unter Umständen nur ein Teilspektrum des gerade anliegenden Signals darstellt; d.h. es können, außerhalb des sichtbar dargestellten Frequenzbereiches Pegel am Eingang anliegen, die zur Zerstörung der Eingangsstufen führen können. Siehe auch **INPUT**.

Bevor ein Eingangssignal angelegt wird, sollte daher zu Beginn einer Messung mit größtmöglicher Abschwächung und mit größtmöglich erfaßbarem Frequenzbereich (SCANWIDTH = 50MHz/DIV.) gearbeitet werden. Damit werden zumindest alle Signale erfaßt, die, bei einer Mittenfrequenz-Einstellung von 250MHz, innerhalb des maximal meß- und darstellbaren Frequenzbereiches liegen. Verschiebt sich die Frequenzbasislinie nach oben, wenn die Eingangssignal-Abschwächung verringert wird,

ist dies ein mögliches Indiz für eine außerhalb des Frequenzbereichs befindliche Spektrallinie mit zu hoher Amplitude.

(14) IF-GAIN: Dieser Feinsteller ermöglicht eine kontinuierliche Veränderung der Zwischenfrequenzverstärkung (IF-GAIN). Bei Linksanschlag ist die Verstärkung kalibriert. Sie erhöht sich bei Rechtsdrehung um ca. 10dB, ist aber dann nicht kalibriert.

(15) SCANWIDTH: Im dem mit SCANWIDTH (Abtastbreite bzw. Erfassungsbreite) bezeichneten Feld befinden sich Anzeigen, von denen jeweils eine die Frequenzbereichsbreite signalisiert. Die Erfassungsbreite kann mit der rechten, unterhalb der Anzeige befindlichen, Drucktaste schrittweise vergrößert und mit der linken Drucktaste verringert werden; die Umschaltung erfolgt in 1-2-5 Folge von 50kHz/DIV. bis 50MHz/DIV.

Die Breite des erfaßten Frequenzbereiches wird in MHz/DIV. (MHz/cm) angegeben. Sie bezieht sich auf die Rasterlinienabstände der horizontal verlaufenden Frequenzachse auf dem Bildschirm. Auf der mittleren vertikalen Rasterlinie befindet sich die Mittenfrequenz (**CENTER FREQ.**). Mit SCANWIDTH-Einstellungen unter 50MHz wird ein gedehnter Teilausschnitt aus dem Gesamtfrequenzbereiches erfaßt, dessen Mittenfrequenz mit den CENTER FREQ.-Einsteller bestimmt wird.

Bei einer SCANWIDTH-Einstellung von 50MHz/DIV. (full span = volle Bereichserfassung) ist die Frequenzachse in 50MHz Schritten je (senkrechter) Rasterlinie skaliert. Ausgehend von der mittleren Rasterlinie erhöht sich die Frequenz um jeweils 50MHz je Zentimeter in Richtung rechter Rasterrand. Die Frequenz einer dort dargestellten Spektrallinie beträgt somit $250\text{MHz} + 5 \times 50\text{MHz} = 500\text{MHz}$. Sinngemäß verringert sich die Frequenz in Richtung linker Rasterrand. Die äußerste linke Rasterlinie entspricht in diesem Falle 0MHz.

An dieser Stelle ist bei der vorgenannten Einstellung eine Spektrallinie zu sehen, die als "**Nullfrequenz-Marke**" bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um den 1st LO (1. Oszillator), der sichtbar wird, wenn seine Frequenz in den Durchlaßbereich des 1.ZF-Filters fällt. Auch bei anderen Mittenfrequenz- und SCANWIDTH-Einstellungen kann die "Nullfrequenz-Marke" sichtbar werden. Der Pegel der "Nullfrequenz-Marke" ist von Gerät zu Gerät verschieden und nicht als Referenzpegel zu verwenden.

Links von dieser Marke können Spektren sichtbar werden. Es handelt sich dabei um die Spiegelfrequenzdarstellung.

In der **ZERO SCAN**-Einstellung arbeitet der Spektrum-Analysator als ein auf eine diskrete Frequenz abgestimmter Empfänger mit wählbarer Bandbreite. Die Frequenz wird mit den **CENTER FREQ.**-Einstellern bestimmt. Es erfolgt die Anzeige des Pegels der Spektren, welche über die ZF-Filter zur Demodulation gelangen.

(16) TRACK.GEN.: -nicht im HM5005 enthalten-
Wird diese Drucktaste eingerastet (ON), ist der TRACKING GENERATOR (Mitlaufgenerator) eingeschaltet. An der mit **OUTPUT** bezeichneten BNC-Buchse ist dann ein Sinus-Signal entnehmbar, dessen Frequenz(en) durch den Spektrum-Analysator bestimmt wird. Leuchtet die ZERO SCAN-Anzeige, liegt die Mittenfrequenz am Ausgang an.

(17) OUTPUT: - nicht im HM5005 enthalten -
50Ω-Ausgang des Tracking Generators. Der Ausgangspegel wird mit dem **LEVEL**-Einsteller und den **ATTN.**-Schaltern bestimmt. Er kann zwischen +1dBm und -50dBm betragen.

(18) LEVEL: -nicht im HM5005 enthalten -
Mit dem LEVEL (Pegel)-Feinsteller kann der Ausgangspegel des Tracking Generators variabel um 11dBm (-10dBm bis +1dBm) verändert werden.

(19) ATTN.: - nicht im HM5005 enthalten -
Ausgangspegel-Abschwächer (Attenuator) bestehend aus vier 10dB Abschwächern, mit denen das Signal des Tracking Generators abgeschwächt werden kann, bevor es zur **OUTPUT**-Buchse gelangt. Alle Abschwächer sind gleichwertig und werden wirksam, wenn die jeweilige Drucktaste eingerastet ist. Es ist daher ohne Bedeutung welche Abschwächer benutzt werden, um z.B. 20dB Abschwächung zu erzielen.

Direkt unter dem Bildschirm befinden sich die Einsteller **(20) Y-POS.** (Y-Position), **(21) Y-AMPL.** (Y-Amplitude), **(22) X-AMPL.** (X-Amplitude) und **(23) X-POS.** (X-Position).

ACHTUNG: Diese Einsteller betreffen die Amplituden- und Frequenz-Genauigkeit und müssen normalerweise nicht verändert werden. Eine Änderung der Einsteller darf nur erfolgen, wenn ein HF-Generator mit ausreichender Genauigkeit (z.B. HAMEG HM8133) zur Verfügung steht.

Vertikale Kalibrierung

Vor der Kalibrierung ist zu prüfen, daß kein Eingangsabschwächer **(13) (INPUT ATTN.)** eingeschaltet ist und sich der **IF-GAIN** Knopf **(14)** in **CAL.**-Stellung befindet. Das Meßgerät muß zuvor 60 Minuten in Betrieb gewesen sein. Das **VIDEO FILTER (11)** muß abgeschaltet sein (**OFF**), die **BANDWIDTH (10)** 250kHz betragen und eine **SCANWIDTH (15)** von 2MHz/DIV. wirksam sein.

An den Eingang des SpektrumAnalyzers **(12)** wird ein HF-Signal von -27dBm (10mV) angelegt. Die Frequenz des Signals sollte zwischen 2MHz und 250MHz betragen und mit der eingestellten Mittenfrequenz übereinstimmen.

A: Auf dem Bildschirm erscheint bei einer ausreichend klirrarmer Signalquelle in diesem Fall eine einzige Spektrallinie (-27dBm). Das Maximum dieser Spektrallinie wird jetzt mit **Y-POS. (20)** so eingestellt, daß es auf der obersten Rasterlinie **(26) (Referenzlinie)** des Bildschirms liegt. Dabei darf kein Eingangsabschwächer **(13)** eingeschaltet sein.

B: Danach ist das Generator-Signal zwischen -27dBm und -77dBm hin und her zu schalten und der **Y-AMPL.**-Einsteller **(21)** so zu verändern, daß das Signalmaximum sich um 5 DIV. (cm) auf dem Bildschirm in vertikaler Richtung ändert. Ergibt sich dabei eine Änderung der Y-Position, muß der **A** beschrieben Abgleich wiederholt werden.

Die Einstellungen **A** und **B** sind solange zu wiederholen, bis eine optimale Einstellung erzielt wird.

Anschließend kann bei einem Pegel von -27dBm die Funktion der Eingangsabschwächer **(13)** überprüft werden. Die auf dem Bildschirm sichtbare Spektrallinie läßt sich, durch Zuschalten der im Spektrumanalyser eingebauten Abschwächer, in 4 Schritten um jeweils 10dB absenken. Jeder 10dB-Schritt entspricht dabei einem Raster auf dem Bildschirm. Die Toleranz darf hierbei ± 1 dB bei den einzelnen Abschwächungspositionen betragen.

Horizontale Kalibrierung

Vor der Kalibrierung ist zu prüfen, daß kein Eingangsabschwächer **(13) (INPUT ATTN.)** eingeschaltet ist und sich der **IF-GAIN** Knopf **(14)** in **CAL.**-Stellung befindet. Das Meßgerät muß zuvor 60 Minuten in Betrieb gewesen sein. Das **VIDEO FILTER (11)** muß abgeschaltet sein (**OFF**), die **BANDWIDTH (10)** 250kHz betragen und eine **SCANWIDTH (15)** von 50MHz/DIV. eingestellt sein.

Zunächst muß die Mittenfrequenz auf **250MHz** eingestellt werden. Die Rastereinteilung Scanwidth/Div. **(15)** soll **50MHz/Div.** betragen. Das an den Eingang **(12)** angelegte Signalpegel soll einen zur Bewertung ausreichenden Pegel haben, der zwischen 40 und 50dB über dem Rauschen liegt.

C: Die Generatorfrequenz muß auf **250MHz** eingestellt werden. Das Maximum der 250MHz Spektrallinie ist mit dem Einsteller **X-POS. (23)** auf die horizontale Bildschirmmitte **(25)** zu stellen.

D: Die Frequenz des Generators ist auf **50MHz** zu verändern. Befindet sich die 50 MHz Spektrallinie nicht auf der mit **(27)** bezeichneten Rasterlinie, muß sie mit dem **X-AMPL.**-Einsteller **(22)** zur Deckung gebracht werden. Anschließend ist erneut der unter Punkt **C** beschriebene Abgleich zu prüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Die Einstellungen **C** und **D** sind solange zu wiederholen, bis eine optimale Einstellung erzielt wird.

Einführung in die Spektrum-Analyse

Die Analyse von elektrischen Signalen ist ein Grundproblem für viele Ingenieure und Wissenschaftler. Selbst wenn das eigentliche Problem nicht elektrischer Natur ist, werden oftmals die interessierenden Parameter durch die unterschiedlichsten Wandler in elektrische Signale umgewandelt. Dies umfaßt ebenso Wandler für mechanische Größen wie Druck oder Beschleunigung, als auch Meßwertumformer für chemische und biologische Prozesse. Die Wandlung der physikalischen Parameter ermöglicht anschließend die Untersuchung der verschiedenen Phänomene im Zeit- und Frequenzbereich.

Der traditionelle Weg elektrische Signale zu analysieren, ist ihre Darstellung in der Amplituden-Zeit-Ebene. Diese erfolgt u.a. mit Oszilloscopen im Yt-Betrieb, d.h. es werden Informationen über Amplituden und zeitliche Zusammenhänge erkennbar. Allerdings lassen sich damit nicht alle Signale ausreichend charakterisieren, wie z.B. bei der Darstellung einer Signalform, die aus verschiedenen sinusförmigen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Mit einem Oszilloskop würde nur die Summe aller Bestandteile sichtbar werden und die einzelnen Frequenz- und Amplituden-Anteile wären meistens nicht erfäßbar.

Mit der Fourier-Analyse läßt sich nachweisen, daß sich periodische Zeitfunktionen als Überlagerung harmonischer periodischer Funktionen darstellen lassen. Hierdurch läßt sich eine beliebige, noch so komplizierte, Zeitfunktion einer charakteristischen Spektralfunktion in der Frequenzebene zuordnen.

Diese Informationen lassen sich am besten durch Spektrum-Analysatoren ermitteln. Mit ihnen erfolgt die Signaldarstellung in der Amplituden-Frequenz-Ebene (Yf). Dabei werden die einzelnen Spektralkomponenten und ihre Amplituden angezeigt.

Die hohe Eingangsempfindlichkeit und der große Dynamikbereich von Spektrum-Analysatoren ermöglichen die Analyse von Signalen, die mit einem Oszilloskop nicht darstellbar sind. Ähnlich verhält es sich mit dem Nachweis von Verzerrungen sinusförmiger Signale, dem Nachweis niedriger AM-Modulation und Messungen im Bereich der AM- und FM-Technik, wie Trägerfrequenz, Modulationsfrequenz oder Modulationsgradmessungen. Ebenso lassen sich Frequenzkonverter in Bezug auf Übertragungsverluste und Verzerrungen einfach charakterisieren.

Eine weitere Anwendung von Spektrum-Analysatoren sind Messungen an Vierpolen, wie z.B. Frequenzgangmessungen an Filtern und Verstärkern. Hier lassen sich in Verbindung mit einem Mitlaufgenerator Frequenzmessungen über einen sehr großen Pegelbereich durchführen.

Grundlagen über Spektrum-Analysatoren

Spektrum-Analysatoren lassen sich nach zwei grundsätzlichen Verfahren unterscheiden: gewobbelte- bzw. abgestimmte sowie Echtzeit-Analysatoren. Echtzeit-Analysatoren nach dem Prinzip der diskreten Fourier Transformation bestehen aus der Parallelschaltung einer Vielzahl von frequenzselektiven Indikatoren. Es können dabei so viele diskrete Frequenzen zur Anzeige gebracht werden, wie Filter vorhanden sind. Die Grenze der Wirtschaftlichkeit wird hier je nach Anzahl und Güte der Filter teilweise schnell erreicht.

Fast alle modernen Spektrum-Analysatoren, so auch HM5005 und HM5006, arbeiten deshalb nach dem Überlagerungsprinzip (Superheterodyne-Prinzip). Ein Verfahren ist dabei, die Mittenfrequenz eines Bandpaßfilters über den gewünschten Frequenzbereich abzustimmen. Ein Detektor erzeugt dabei eine vertikale Ablenkung auf dem Bildschirm, und ein durchstimmbarer Generator sorgt für die synchrone Abstimmung der Filtermittenfrequenz und der Horizontalablenkung. Dieses einfache Prinzip ist relativ preiswert, hat jedoch große Nachteile in Bezug auf Selektion und Empfindlichkeit; unter anderem auf Grund der nicht konstanten Bandbreite bei abgestimmten Filtern.

Die gebräuchlichste Art der Spektrum-Analysatoren unterscheidet sich hiervon insofern, daß für die Selektion ein Bandpaßfilter mit fester Mittenfrequenz verwendet wird. Es läßt zu jedem Zeitpunkt denjenigen Anteil der zu analysierenden Funktion passieren, für den gilt $f_{\text{inp}}(t) = f_{\text{LO}}(t) \pm f_{\text{ZF}}$. Durch die Umsetzung auf eine feste Zwischenfrequenz werden die Nachteile des Systems mit abstimmbarem Bandpaßfilter umgangen.

Der nutzbare Frequenzbereich und die Grenzempfindlichkeit eines Spektrum-Analyzers hängen zum größten Teil vom Konzept und der technischen Ausführung des Eingangsteils ab. Das HF-Eingangsteil wird durch die Komponenten Eingangsabschwächer, Eingangsfiler, Mischer und Umsetzoszillator (LO) bestimmt.

Das zu analysierende Signal gelangt über den in 10dB-Schritten schaltbaren Eingangsabschwächer auf ein Eingangsfiler. Dieses Filter erfüllt mehrere Aufgaben: Es verhindert in gewissem Maße den Mehrfachempfang eines Signals, den Direktempfang der Zwischenfrequenz (ZF-Durchschlag) und unterdrückt die Rückwirkung des Oszillators auf den Eingang. Der Eingangsmischer ist zusammen mit dem durchstimmbaren Oszillator (1. LO) für die Umsetzung der Eingangssignale zuständig. Er bestimmt die frequenzabhängige Amplitudencharakteristik und die dynamischen Eigenschaften des Gerätes.

Der Analyzer arbeitet wie ein elektronisch abgestimmter Schmalbandempfänger. Die Frequenzabstimmung erfolgt durch eine Sägezahnspannung, welche dem Umsetzoszillator („Local Oszillator“; LO) zugeführt wird. Die glei-

che Sägezahnspannung wird synchron der Horizontalablenkung des Bildschirms zugeführt. Die Ausgangsspannung des Empfängers wird der Vertikalablenkung als Darstellung der Amplitude über der Frequenz angeboten. Der Analyzer wird in seinem Frequenzbereich durch Änderung (Wobbelung) der Abstimmspannung für den LO abgestimmt. Die Zwischenfrequenz erhält man, indem die Frequenz des LO mit dem Eingangssignal gemischt wird. Ein Signal auf dem Bildschirm wird sichtbar, sobald die Differenz zwischen dem Eingangssignal und der Frequenz des LO gleich der Zwischenfrequenz ist. Die Selektion wird durch die Eigenschaften des Zwischenfrequenzfilters bestimmt, und ist unabhängig vom Eingangssignal. Die Abstimmfrequenz ist ebenfalls unabhängig vom Eingangssignal. Sie muß jedoch in Einklang mit den Eigenschaften des ZF-Filters stehen.

Zwischen dem zu analysierenden Frequenzbereich und der Auflösungsbandbreite bestehen physikalische Zusammenhänge, die bei einer Unterschreitung einer Mindestanalysezeit zu Fehlern in der Amplitudendarstellung führen. Dies läßt sich durch automatische Verknüpfung zwischen Frequenzbereich, Auflösungsbandbreite und Analysezeit vermeiden, hat jedoch in den Fällen Nachteile, wo es auf schnelle qualitative Analyse von Signalen ankommt. Im Spektrum-Analysator erfolgt keine automatische Umschaltung der Filterbandbreite in Verbindung mit dem Frequenzbereich (SCANWIDTH), jedoch wird eine unkorrekte Filtereinstellungen mit der UNCAL.-Anzeige signalisiert.

Durch das Funktionsprinzip des Superheterodyne-Spektrumanalyzers, erscheint auf der linken Bildschirmseite, auch ohne Eingangssignal, eine Spektrallinie, welche als „Nullfrequenz-Marke“ oder „LO-Frequenz-Durchgriff“ bezeichnet wird. Dies tritt auf, wenn die Frequenz des LO gleich der ZF-Frequenz ist. Eine Ausweitung des Frequenzbereiches um 0Hz ist nicht möglich, da der LO dann mit der Zwischenfrequenz schwingt und die ZF-Filter-Charakteristik abgebildet wird. Ein Kondensator am Eingang des Analyzers wirkt darüber hinaus als Hochpaß und verhindert, daß Gleichspannung zum Mischer gelangt.

Anforderungen an Spektrum-Analysatoren

Die verschiedenen Einsatzgebiete der Spektrum-Analysatoren erfordern von diesen Geräten vielfältige Eigenschaften, die sich zum Teil untereinander ausschließen oder sich nur durch großen Aufwand zusammenfassen lassen.

Das Anwendungsgebiet der Spektrum-Analysatoren liegt vor allen Dingen dort, wo die Genauigkeit und das zeitliche Auflösungsvermögen sowie die geringe Dynamik des Oszilloskopes bei der Signalanalyse nicht mehr ausreichen.

Dabei stehen großer Frequenzabstimmbereich, Filteranforderungen zwischen extrem schmalbandig und „full span“-

Darstellung sowie hohe Eingangsempfindlichkeit nicht unbedingt im Gegensatz zueinander. Sie lassen sich jedoch zusammen mit hoher Auflösung, großer Stabilität, möglichst geradem Frequenzgang, und geringem Eigenklirrfaktor meist nur unter großem Aufwand realisieren.

Frequenzmessung

Moderne Spektrum-Analysator bieten 3 verschiedene Arten die Frequenzachse zu „scannen“: den gesamten Bereich in einem „sweep“ (full span), pro Einheit (Div.) und Festfrequenzbetrieb (Darstellung im Zeitbereich, „Zero Scan“).

Die Betriebsart „full span“ wird benutzt, um das Vorhandensein von Signalen im nutzbaren Frequenzbereich des Spektrum-Analyzers festzustellen. Hierbei wird der gesamte Frequenzbereich von 0Hz bis zur oberen Grenzfrequenz des Analyzers auf dem Bildschirm dargestellt. Für diese Betriebsart gibt es keine spezielle Schalterstellung. Sie liegt mit einer Mittenfrequenz-Einstellung von 250MHz und der SCANWIDTH-Einstellung 50MHz/Div. vor.

In den meisten Fällen wird die Betriebsart „pro Einheit“ (Div.) eingesetzt, um bestimmte Signale oder Frequenzbereiche genauer zu untersuchen. Das „Zoomen“ auf einen bestimmten Bereich erfolgt mittels der Mittenfrequenzabstimmung. Die eingestellte Mittenfrequenz läßt sich dabei auf dem Display kontrollieren. Die Skalierung der Frequenzachse wird durch den Schalter Scanwidth/Div. vorgenommen.

In der „zero scan“-Betriebsart arbeitet der Analyzer als ein auf eine diskrete Frequenz abgestimmter Empfänger mit wählbaren Bandbreiten.

Stabilität

Es ist wichtig, daß der Spektrum-Analyzer eine größere Frequenzstabilität besitzt als das Signal, das untersucht werden soll. Die Frequenzstabilität ist abhängig von der Stabilität des Umsetz- (Local-) Oszillators. Dabei wird zwischen Kurzzeit- und Langzeitstabilität unterschieden. Ein Maß für die Kurzzeit-Stabilität ist die Rest-FM. Sie wird allgemein in Hz_{pp} spezifiziert. Rauschseitenbänder sind ein Maß für die spektrale Reinheit des (Local-) Oszillators, und gehen ebenfalls in die Kurzzeit-Stabilität eines Spektrum-Analyzers ein. Sie werden spezifiziert durch eine Dämpfung in dB und einen Abstand in Hz, bezogen auf das zu untersuchende Signal bei einer bestimmten Filterbandbreite.

Die Langzeit-Stabilität eines Spektrum-Analyzers wird überwiegend durch die Frequenzdrift des Umsetz-Oszillators (LO) bestimmt. Sie ist ein Maß dafür, um wieviel die Frequenz sich innerhalb bestimmter Zeitbereiche ändert. Eine Frequenzdrift von max. 150kHz/Std., wie sie beim HM5005 und HM5006 voliegt, ist ein sehr guter Wert für ein Gerät, das keinen Synthesizer für die Abstimmung benutzt.

Auflösung

Bevor die Frequenz eines Signals mit dem Spektrum-Analyzer gemessen werden kann, muß dieses Signal ermittelt bzw. aufgelöst werden. Auflösung heißt dabei, es muß von benachbarten Signalen im zu untersuchenden Spektrum unterschieden werden. Diese Möglichkeit ist eine entscheidende Voraussetzung für viele Applikationen mit dem Spektrum-Analyzer, und wird grundsätzlich, neben anderen Faktoren, durch dessen kleinste ZF-Filterbandbreite bestimmt.

Wichtige Kennwerte für die Trennbarkeit zweier benachbarter Spektrallinien mit stark unterschiedlicher Amplitude sind die Bandbreite und die Flankensteilheit der ZF-Filter. Die Bandbreite wird als Frequenz angegeben, bei der der Signalpegel gegenüber der Mittenfrequenz um 3dB abgefallen ist. Das Verhältnis der 60dB-Bandbreite zur 3dB-Bandbreite wird als Formfaktor bezeichnet. Dabei gilt: je kleiner der Formfaktor, desto besser die Fähigkeit des Spektrum-Analyzers, eng benachbarte Signale zu trennen.

Ist z.B. der Formfaktor eines Filters im Spektrum-Analyzer 15:1, dann müssen zwei in der Amplitude um 60dB unterschiedliche Signale sich in der Frequenz mindestens um den Faktor 7,5 der ZF-Filterbandbreite unterscheiden, um einzeln erkennbar zu sein. Andernfalls erscheinen sie als ein Signal auf dem Bildschirm.

Der Formfaktor ist jedoch nicht der allein bestimmende Faktor zur Unterscheidung zweier eng benachbarter Signale mit unterschiedlicher Amplitude. Ebenso wird die Trennbarkeit durch Rest-FM und die spektrale Reinheit der internen Oszillatoren beeinflusst. Diese erzeugen Rausch-Seitenbänder, und verschlechtern dadurch die erreichbare Auflösung. Rausch-Seitenbänder werden im Bereich der Basis der ZF-Filter sichtbar, und verschlechtern die Sperrbereichs-Dämpfung der ZF-Filter.

Ist die kleinste ZF-Bandbreite z.B. 10kHz, dann ist der kleinste Frequenzabstand, um 2 Spektrallinien voneinander zu trennen, ebenfalls 10kHz. Dies ist deshalb der Fall, weil der Spektrum-Analyzer seine eigene ZF-Filterkurve darstellt, wenn er ein Signal im Spektrum detektiert. Da die Auflösung des Spektrum-Analyzers durch seine ZF-Filterbandbreite bestimmt wird, könnte man annehmen, daß bei unendlich schmaler Filterbandbreite auch eine unendlich hohe Auflösung erzielt werden kann. Die Einschränkung ist dabei, daß die nutzbare ZF-Bandbreite durch die Stabilität des Spektrum-Analyzers (Rest-FM) begrenzt wird. D.h., bei einer Rest-FM des Spektrum-Analyzers von z.B. 10kHz, ist die kleinste sinnvolle ZF-Bandbreite, die verwendet werden kann um ein einzelnes 10kHz-Signal zu bestimmen, ebenfalls 10kHz. Ein schmalbandigeres ZF-Filter würde in diesem Fall mehr als eine Spektrallinie auf dem Bildschirm abbilden, oder ein jitterndes Bild (je nach Wobbelgeschwindigkeit), oder ein nur zum Teil geschriebenes Bild erzeugen. Außerdem besteht eine weitere praktische Einschränkung für die

schmalste Filterbandbreite: die Abtast- oder Scan-Geschwindigkeit im Verhältnis zur gewählten Filterbandbreite. Dabei gilt: je schmaler die Filterbandbreite ist, desto geringer muß die Scangeschwindigkeit sein, um dem Filter korrektes Einschwingen zu ermöglichen. Wird die Scangeschwindigkeit zu groß gewählt, d.h. die Filter sind u.U. noch nicht eingeschwingen, so resultiert dies in unkorrekter Amplitudendarstellung des Spektrums. Im allgemeinen werden die einzelnen Spektrallinien dann mit zu niedriger Amplitude dargestellt. Auf diese Weise sind praktische Grenzen für die kleinste Filterbandbreite gesetzt.

Rauschen

Die Empfindlichkeit ist ein Maß für die Fähigkeit des Spektrum-Analyzers kleine Signale zu messen. Die maximale Empfindlichkeit wird durch das Eigenrauschen bestimmt. Hier unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten: thermisches- und nicht-thermisches Rauschen.

Das thermische Rauschen wird mit der Formel

$$P_N = K \cdot T \cdot B$$

beschrieben. Dabei ist:

P_N = Rauschleistung in Watt

K = Boltzmann Konstante ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Joule/K)

T = absolute Temperatur (K)

B = Bandbreite des Systems in Hz

Diese Gleichung zeigt, daß die Größe des Rauschens direkt proportional zur Bandbreite ist. Daraus folgt, daß eine Bandbreitenreduzierung der Filter um eine Dekade das Rauschen prinzipiell um 10dB senkt, was wiederum eine Empfindlichkeitssteigerung des Systems um 10dB bedingt.

Alle weiteren Rauschquellen des Analyzers werden als nicht-thermisch angenommen. Unerwünschte Abstrahlungen, Verzerrungen auf Grund nichtlinearer Kennlinien und Fehlanpassungen, sind Quellen von nicht-thermischem Rauschen. Unter der Übertragungsgüte oder Rauschzahl versteht man normalerweise die nicht-thermischen Rauschquellen, zu denen das thermische Rauschen addiert wird, um die Gesamtrauschzahl des Systems zu erhalten. Dieses Rauschen, welches auch auf dem Schirm sichtbar wird, bestimmt die Empfindlichkeit eines Spektrum Analyzers. Da der Rauschpegel sich mit der Bandbreite ändert, ist es notwendig sich beim Empfindlichkeitsvergleich zweier Analyser auf die gleiche Filterbandbreite zu beziehen.

Spektrumanalysatoren werden über ein breites Frequenzband gewobbelt, sind aber eigentlich schmalbandige Meßinstrumente. Alle Signale die im Frequenzbereich des Spektrum-Analyzers liegen, werden auf eine Zwischenfrequenz konvertiert und durchlaufen so die ZF-Filter. Der Detektor hinter dem ZF-Filter sieht nur den Rauschanteil, der innerhalb der schmalen Filterbandbreite liegt. Daher wird auf dem Sichtschirm nur das Rauschen dargestellt, welches innerhalb des Durchlaßbereiches des ZF-Filters

liegt. Bei der Messung diskreter Signale wird die maximale Empfindlichkeit also mit dem schmalsten ZF-Filter erreicht.

Video-Filter

Die Messung kleiner Signale kann sich immer dann schwierig gestalten, wenn die Signalamplitude im gleichen Pegelbereich wie das mittlere Rauschen des Spektrum-Analyzers liegt. Um für diesen Fall die Signale besser sichtbar zu machen, läßt sich im Signalweg des Spektrum-Analyzers hinter dem ZF-Filter ein Video-Filter zuschalten. Durch dieses Filter, mit einer Bandbreite von wenigen kHz, wird das interne Rauschen des Spektrum-Analyzers gemittelt. Dadurch wird unter Umständen ein sonst im Rauschen verstecktes Signal sichtbar.

Wenn die ZF-Bandbreite sehr schmal im Verhältnis zur eingestellten Scanwidth/Div. ist, sollte das Video-Filter nicht eingeschaltet werden, da dies zu einer zu niedrig dargestellten Amplitude auf Grund der Bandbreitenbegrenzung führen kann. (Eine nicht zulässige Kombination der eingestellten Parameter wird durch die **UNCAL.**-LED angezeigt).

Empfindlichkeit - Max. Eingangspegel

Die Spezifikation der Eingangsempfindlichkeit eines Spektrum-Analyzers ist etwas willkürlich. Eine Möglichkeit der Spezifikation ist, die Eingangsempfindlichkeit als den Pegel zu definieren, bei dem die Signalleistung der mittleren Rauschleistung des Analyzers entspricht. Da ein Spektrum-Analyzer immer Signal plus Rauschen mißt, erscheint bei Erfüllung dieser Definition das zu messende Signal 3dB oberhalb des Rauschpegels.

Die maximal zulässige Eingangsspannung für einen Spektrum-Analyzer ist der Pegel, der zur Zerstörung (Burn Out) der Eingangsstufe führt. Dies ist bei einem Pegel von +10dBm für den Eingangsmischer, und +20dBm für den Eingangsabschwächer der Fall. Bevor der „burn out“-Pegel erreicht wird, setzt eine Verstärkungskompression beim Spektrum-Analyzer ein. Diese ist unkritisch, solange eine Kompression von 1dB nicht überschritten wird. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, daß der Analyzer Nichtlinearitäten auf Grund von Übersteuerung produziert. Außerdem steigt die Gefahr einer unbemerkten Überlastung der Eingangsstufe, weil sich einzeln dargestellte Spektrallinien in der Abbildung auf dem Bildschirm auch bei einsetzender Verstärkungskompression meist nur unmerklich verändern. Auf jeden Fall entspricht die Abbildung der Amplituden nicht mehr den tatsächlichen Verhältnissen.

Bei jeder Signalanalyse entstehen im Spektrum-Analyzer selbst Verzerrungsprodukte, und zwar größtenteils verursacht durch die nichtlinearen Eigenschaften der Eingangsstufe. Sie bewegen sich beim HM5005 und HM5006 in der Größenordnung von 70dB unterhalb des Eingangspegels, solange dieser nicht größer als -27dBm ist. Um größere Eingangssignale verarbeiten zu können,

ist dem Mischer ein Eingangsabschwächer vorgeschaltet. Das größte Eingangssignal, welches dem Spektrum-Analyzer bei jeder beliebigen Stellung des Abschwächers verarbeiten kann ohne ein bestimmtes Maß an Verzerrungen zu überschreiten, wird der „optimale Eingangspegel“ genannt. Das Signal wird dabei soweit abgeschwächt, daß der Mischer keinen größeren Pegel als -27dBm angeboten bekommt. Anderenfalls werden die spezifizierten 70dB Oberwellenabstand nicht eingehalten. Diese 70dB verzerrungsfreier Bereich werden auch als nutzbarer Dynamikbereich des Analyzers bezeichnet. Zum Unterschied dazu wird der (darstellbare) Anzeigebereich definiert als das Verhältnis vom größten zum kleinsten gleichzeitig angezeigten Pegel, ohne daß Intermodulationsprodukte des Analyzers auf dem Bildschirm sichtbar sind.

Der maximale Dynamikbereich eines Spektrum-Analysators läßt sich aus den Spezifikationen ermitteln. Den ersten Hinweis gibt die Spezifikation für die Verzerrungen. So beträgt dieser Wert z.B. für beide Spektrum-Analysatoren 70dB bis zu einem Eingangspegel von -27dBm am Eingang bei 0dB Eingangsabschwächung. Um diese Werte nutzbar zu machen, muß der Spektrum-Analyzer in der Lage sein, Pegel von 97 dBm erkennen zu lassen. Die dafür erforderliche ZF-Bandbreite sollte nicht zu schmal sein, sonst ergeben sich Schwierigkeiten auf Grund von Seitenbandrauschen und Rest-FM. Bei beiden Geräten ist die ZF-Bandbreite von 12,5kHz ausreichend, um Spektrallinien mit diesem Pegel darzustellen. Der verzerrungsfreie Meßbereich kann durch eine Reduzierung des Eingangspegels weiter ausgedehnt werden. Die einzige Einschränkung bildet dann die Empfindlichkeit des Spektrum-Analyzers.

Die maximal mögliche Dynamik wird erreicht, wenn die Spektrallinie mit dem höchsten Pegel den Referenzpegel gerade noch nicht überschreitet.

Frequenzgang

Der Frequenzgang eines Spektrum-Analyzers läßt sich als seine Amplitudenstabilität über der Frequenz beschreiben. Um einen möglichst guten Frequenzgang zu erhalten, müssen die Mischerverluste möglichst frequenzunabhängig sein. Für exakte Amplitudendarstellungen sollte der Frequenzgang im gesamten Bereich möglichst geringe Schwankungen aufweisen. Jedoch ist gerade diese Eigenschaft nur durch entsprechend großen Aufwand zu erzielen. Das System muß schon vom Prinzip her sehr frequenzlinear sein, weil sich Abweichungen meist nur sehr schwer auskalibrieren lassen. Für die Aufgabenstellung eines Spektrum-Analyzers, verschiedene Signalpegel bei unterschiedlichen Frequenzen zu messen, ist ein möglichst enger Frequenzgang erforderlich; ansonsten wäre sein Nutzen stark eingeschränkt.

Mitlaufgeneratoren

Mitlaufgeneratoren (Tracking Generatoren) sind spezielle Generatoren, bei denen die Frequenz des Ausgangssignals

vom Spektrum-Analysator gesteuert wird. So wird ein Ausgangssignal erzeugt, welches exakt der Abstimmung (tuning) des Spektrum-Analyzers folgt. Auf Grund dieser Besonderheit erweitert ein Mitlaufgenerator (nur im HM5006) die Anwendungsmöglichkeiten eines Spektrum-Analyzers wesentlich.

Im „full-scan-mode“ erzeugt der Mitlaufgenerator ein gewobbeltes Signal über seinen gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbereich. In der Betriebsart „per division“ wird ein Sinussignal erzeugt, dessen Frequenz sich mit der Mittenfrequenz-Einstellung des Spektrum-Analyzers verändert.

Die Ursache für den exakten „Mitlauf“ (Tracking) zwischen der steuernden und der generierten Frequenz liegt darin, daß sowohl der Spektrum-Analyser als auch der Mitlaufgenerator vom gleichen spannungsgesteuerten Oszillator kontrolliert werden; d.h. beide Baugruppen werden über den Local-Oszillator des Spektrum-Analyzers synchronisiert.

Das Ausgangssignal des Mitlaufgenerators wird durch Mischen zweier Oszillatorsignale erzeugt. Das eine Signal wird im Mitlaufgenerator selbst erzeugt, das Andere im Spektrum-Analyser.

Ist die durch Mischung erzeugte Frequenz gleich der Zwischenfrequenz des Spektrum-Analyzers, dann ist die Ausgangsfrequenz des Mitlaufgenerators gleich der Eingangsfrequenz des Spektrum-Analyzers. Diese Bedingung gilt für alle „Scan-Modi“.

Der Begriff „mitlaufen“ oder Tracking bedeutet dabei, daß sich die Frequenz der Ausgangsspannung immer in

der Mitte des Durchlaßfilters des Spektrum-Analyzers befindet. Oberwellen des Signals, seien sie im Mitlaufgenerator selbst oder im Spektrum-Analyser entstanden, liegen so außerhalb des Durchlaßbereiches der Filter im Spektrum-Analyser. Auf diese Weise wird nur die Grundfrequenz des Mitlaufgenerators auf dem Bildschirm dargestellt. Frequenzgangmessungen über einen sehr großen Bereich sind so möglich, ohne daß die Messung von spektralen Unzulänglichkeiten des Generatorsignals beeinflußt wird. Die Empfindlichkeit des Systems wird durch das Eigenrauschen, und somit durch die Filterbandbreite des Spektrum-Analyzers begrenzt. Die schmalste zur Messung nutzbare Bandbreite wird durch die Rest-FM des Mitlaufgenerators bestimmt, sowie durch die Frequenzabweichung beim „tracking“ zwischen Generator und Spektrum-Analyser. Ausschlaggebend ist dabei wieder die Qualität des LO im Spektrum-Analyser und außerdem der PLL zur Nachsteuerung der Frequenz im Mitlaufgenerator.

Für Frequenzgang- und Dämpfungsmessungen an Verstärkern oder Filtern wird der Mitlaufgenerator (nur im HM5006 enthalten) eingeschaltet. Die Ausgangsspannung des Mitlaufgenerators wird an dem zu untersuchenden Bauteil eingespeist und die an dessen Ausgang anliegende Spannung dem Eingang des Spektrum-Analyzers zugeführt. In dieser Konfiguration bilden die Geräte ein in sich geschlossenes, gewobbeltes Frequenzmeßsystem. Eine pegelabhängige Regelschleife im Mitlaufgenerator stellt die erforderliche Amplitudenstabilität im gesamten Frequenzbereich sicher. Reflexionsfaktor und Rückflußdämpfung lassen sich mit diesem System messen, und somit auch Stehwellenverhältnisse ermitteln.

Zubehör

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten eines Spektrum-Analyzers lassen sich durch Anwendung von sinnvollem Zubehör noch erweitern. Hierzu bietet HAMEG eine Auswahl von hochwertigen Produkten:

HZ32-HZ35 BNC-Kabel verschiedener Längen
HZ24 Verschiedene Festabschwächer, 50Ω
HZ29 HF-Meßsonden

EMV-Nahfeld Meßsondensatz HZ29

Der HZ29 ist ein kompletter Satz von Störfeld-Meßfühlern. Die 5 in einem Transportkoffer untergebrachten Sonden sind vielseitig einsetzbar und bieten auch bei Messungen an unzugänglichen Stellen Hilfe. Da, wo die Empfindlichkeit der verwendeten Meßgeräte nicht ausreicht, ermöglicht der mitgelieferte Breitbandverstärker eine Erhöhung der Empfindlichkeit um 18dB. Im Frequenzbereich von 300Hz bis 600MHz beträgt seine Rauschzahl 6dB. Durch die eingebauten NiCd-Akkus werden Fehlmessungen durch Erdungsschleifen und Netzleitungsstörungen ausgeschaltet.

Der Nahfeldmeßsondensatz HZ29 erlaubt die schnelle, qualitative Untersuchung und Identifikation von elektrischen und magnetischen Störfeldern im HF-Bereich. Mittels eines Spektrum-Analyzers lassen sich selbst kleinste Störsignale auf ihre Frequenzzusammensetzung untersuchen.

Die Sonden haben unterschiedliche Empfindlichkeit und können auch zur Emission von Signalen eingesetzt werden.

Der HZ29 besteht aus:
1 Vorverstärker inkl. NiCd-Akkus
1 Batterieladegerät
3 H-Feld Meßsonden
2 E-Feld Meßsonden
1 Verlängerungsstück
1 Transportkoffer

Vorverstärker

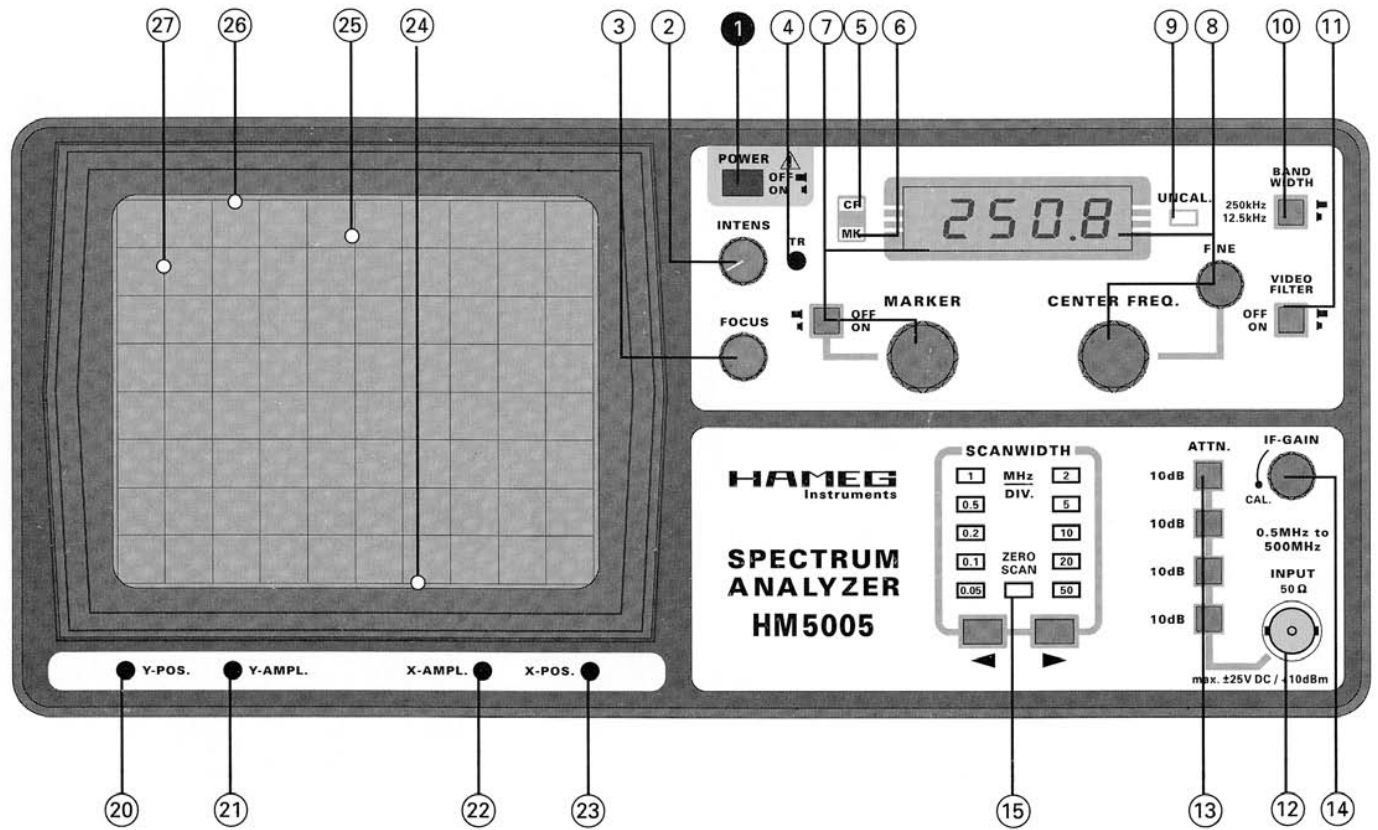
Absolute Grenzwerte:

Eingangsspannung (DC): 60V_{DC}
Eingangsspannung (AC): 50V_{SS}
Arbeitstemperatur: -55°C bis +125°C

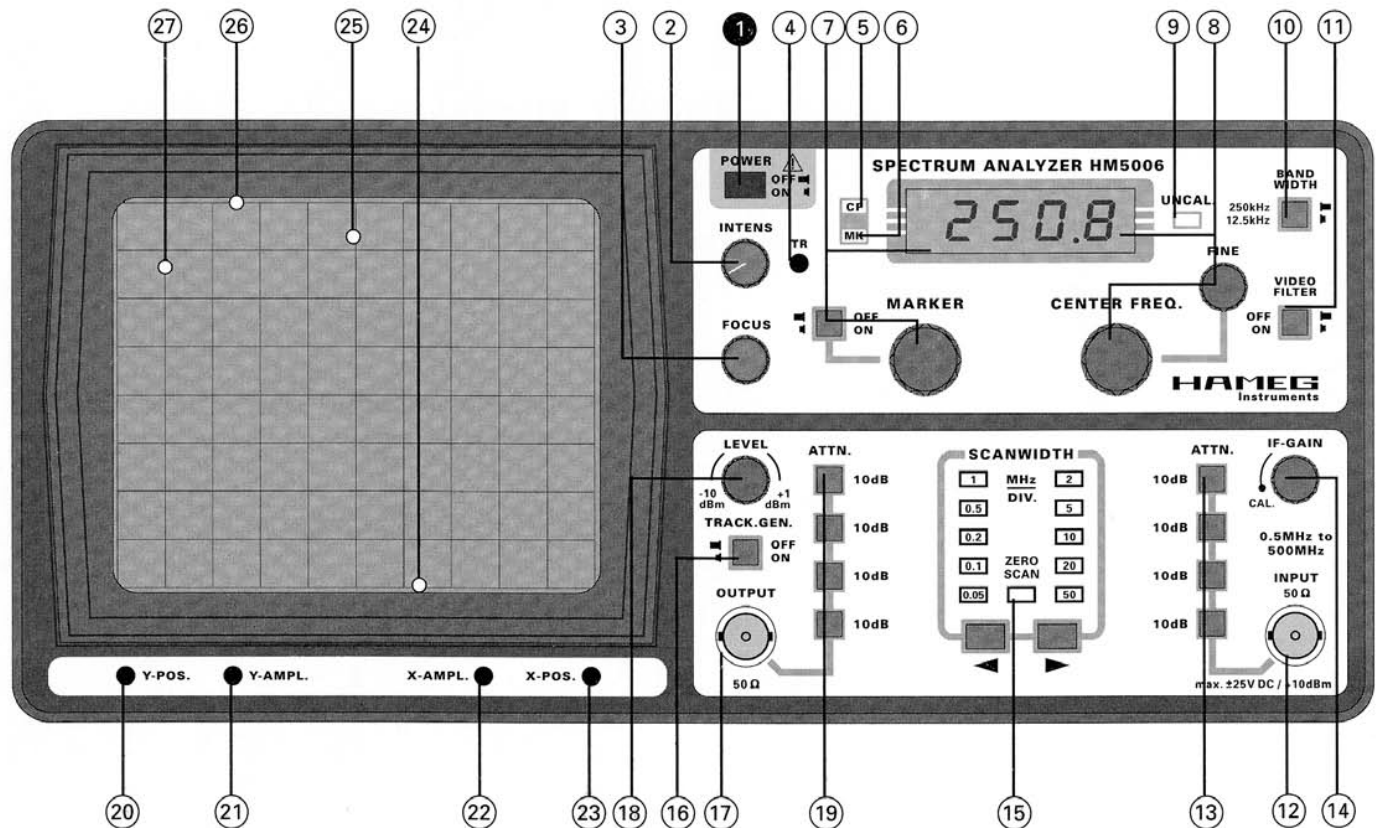
Spezifikationen:

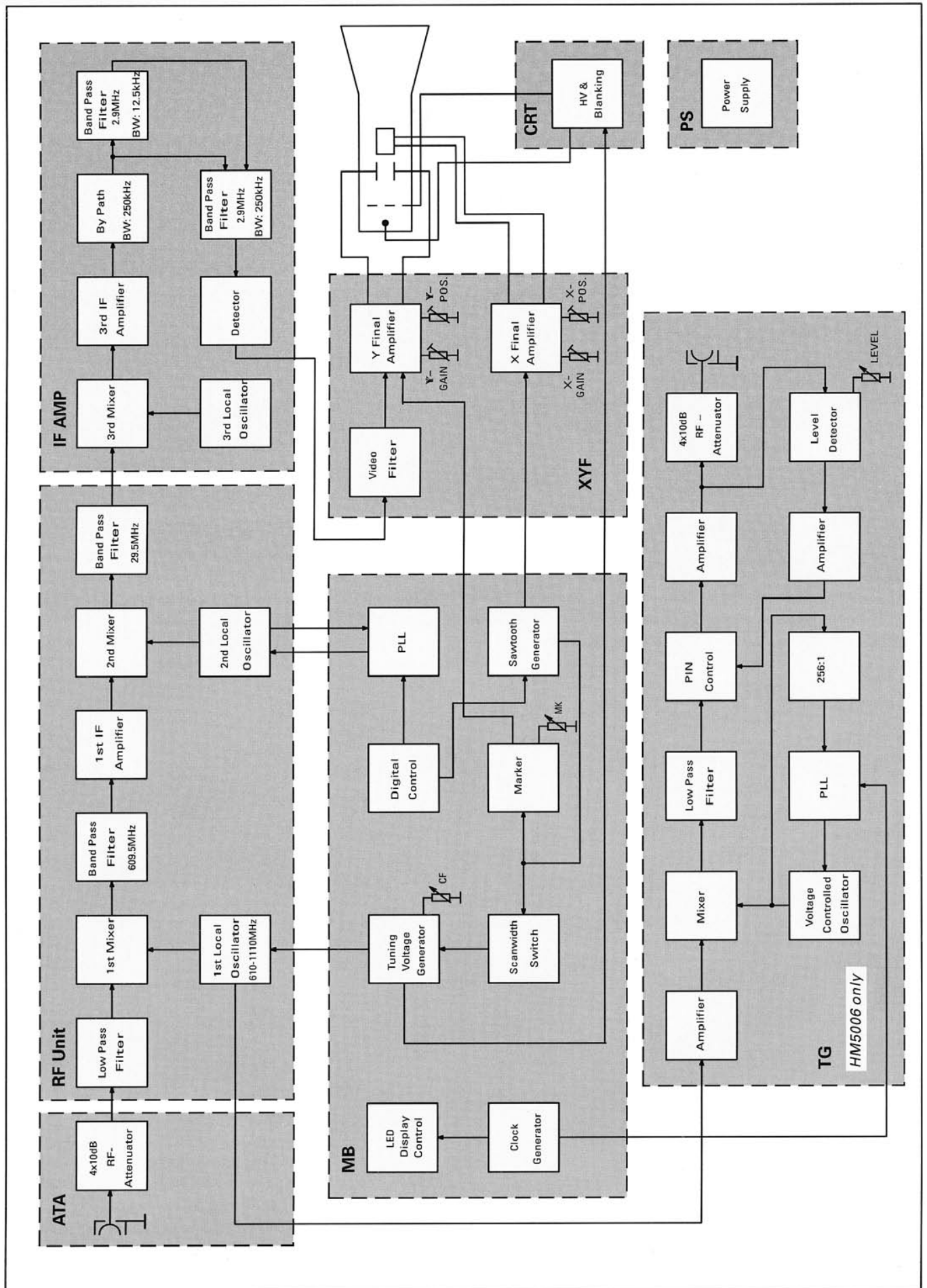
Bandbreite: 300Hz-600MHz (-3dB)
Verstärkung (normal): 18dB
Rauschzahl (Ref. 50Ω): 6dB typisch
Maximale Ausgangsleistung (bei 100MHz): +7dBm
1dB Verstärkungs-Kompression (bei 100MHz): +4dBm
Intermodulationsabstand (3. Ordnung): +17dBm
Intermodulationsabstand (2. Ordnung): +24dBm
Batterielebensdauer (typisch): 20 Stunden
Einsetzbare Mignon Alkali-Batterien:
Duracell #MN9100,
Every Ready #E90
Ray O-Vac #81C
NiCd-Akkus verwendbar (im Lieferumfang)

HM5005



HM5006





HAMEG

Oscilloscopes

Multimeters

Counter

Generators

**R- and LC-
Meters**

Curve Tracer

Power Supplies

**Spectrum
Analyzer**

Germany

HAMEG GmbH
Kelsterbacher Str. 15-19
60528 FRANKFURT am Main
Tel. (069) 6780510
Telefax (069) 6780513

France

HAMEG S.a.r.l
5-9, av. de la République
94800-VILLEJUIF
Tél. (1) 46778151
Telefax (1) 47263544

Spain

HAMEG S.L.
Villarroel 172-174
08036 BARCELONA
Teléf. (93) 4301597
Telefax (93) 3212201

Great Britain

HAMEG LTD
74-78 Collingdon Street
LUTON Bedfordshire LU1 1RX
Tel. (0582) 413174
Telefax (0582) 456416

United States of America

HAMEG, Inc.
1939 Plaza Real
OCEANSIDE, CA 92056
Phone (619) 630-4080
Toll-free (800) 247-1241
Telefax (619) 630-6507

HAMEG, Inc.
266 East Meadow Avenue
EAST MEADOW, NY 11554
Phone (516) 794-4080
Telefax (516) 794-1855

Hong Kong

HAMEG LTD
Flat 1, 4/F.
Crown Industrial Building
106 How Ming St., Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
Tel. 852-7930218
Fax: 852-7635236