

Messungen an FM-Sendern für Abnahme, Inbetriebnahme oder Wartung

Applikationsschrift

Produkt:

| R&S®ETL

Trotz moderner digitaler Übertragungsverfahren hat der analoge Rundfunk immer noch eine hohe Bedeutung. Bisher war zur Abnahme-, Inbetriebnahme- oder Wartungsmessung eines FM-Senders eine Vielzahl von Messgeräten notwendig.

Der R&S®ETL TV Analyzer vereint alle hierfür notwendigen Messgeräte in einem einzigen Gerät und kann diese vollständig ersetzen. FM-Senderabnahmemessungen sind damit erstmalig mit einem kompakten Gerät möglich und sind schnell und einfach durchzuführen. Der R&S®ETL bietet u.a. die Funktionalität von Leistungsmessgerät, Spektrumanalysator, Audiogenerator, FM-Messdemodulator, Stereodecoder und Audioanalysator in nur einem Gerät.

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick.....	4
2	FM-Grundlagen.....	6
2.1	Das Multiplexsignal (MPX-Signal)	6
2.1	Pre- und Deemphasis.....	8
2.2	HF-Bandbreite.....	8
2.3	Stereodecoder	8
2.4	Sendereingänge.....	9
3	Einstellungen für FM-Messungen am R&S® ETL.....	10
3.1	Allgemeine FM-Einstellungen – Radio Settings.....	11
3.1.1	Modulation Standard	12
3.1.2	Stereo Decoder	13
3.1.3	Outputs	14
3.1.4	Universal Interface (Option B201)	15
3.1.5	DUT Parameters.....	16
3.2	Einstellungen des Audiogenerators.....	16
3.2.1	Type.....	17
3.2.2	Signal.....	18
3.2.3	Connector Config	19
3.2.4	Waveform	19
3.2.5	Ampl Definition und Level.....	20
3.2.6	Preemphasis / Preemphasis Compensation	20
3.3	Konfigurationsdialoge der Audio-Analysis-Messungen	21
3.3.1	Demodulator	21
3.3.2	Audio Generator	22
3.3.3	Measurement Options	22
3.4	Konfigurationsdialoge der Modulation-Analysis-Messungen	22
4	Vorbereitung.....	23
4.1	Erforderliche Messausrüstung	23
4.2	Messaufbau.....	24
4.3	Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung.....	25
4.4	Grundkonfiguration am R&S® ETL für Messungen	25

5	Messungen	27
5.1	Senderausgangspegel	27
5.2	Frequenzgenauigkeit	30
5.3	Hubkonstanz: Überprüfung der Modulatorkonstante des Senders	32
5.4	Frequenzgang	37
5.4.1	Amplitudenfrequenzgang	37
5.4.2	Phasengang	43
5.4.3	Balance.....	48
5.5	Stereoübersprechen (Crosstalk).....	50
5.6	Nichtlineare Verzerrungen.....	53
5.6.1	Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion – THD)	53
5.6.2	Zweitonfaktor (Dual Frequency Distortion – DFD)	57
5.7	Störmodulation – S/N.....	64
5.7.1	Störfrequenzmodulation	64
5.7.2	Störampplitudenmodulation.....	69
5.7.3	Rauschleistungsdichte bei 57 kHz	72
5.8	Polarität des Eingangs.....	75
5.9	Digitales Eingangssignal (AES/EBU)	78
6	Abkürzungen	80
7	Zusatzinformation	80
8	Bestellinformationen	81
A	Eingangsspegel und Frequenzhub	82
A.1	Tabellarische Übersicht.....	82
A.2	Rechnerischer Zusammenhang Eingangsspegel und Frequenzgang....	83
A.3	Beispiel zur Berechnung des nötigen Audiopegels	84
B	Automatisierte Messungen mit R&S[®] TxCheck	85

1 Überblick

Frequenzmodulation (FM) erfreut sich beim analogen Rundfunk großer Beliebtheit. Verglichen mit Amplitudenmodulation (AM) benötigt die FM eine höhere Bandbreite, ist jedoch störsicherer und ermöglicht ein höheres Signalrauschverhältnis (Modulationsgewinn). Zusätzlich ist bei FM der Einsatz von nicht linearen Verstärkern (Klasse C-Verstärker) möglich, hierdurch wird ein hoher Wirkungsgrad erreicht.

Trotz moderner digitaler Übertragungsverfahren hat der analoge Rundfunk immer noch eine hohe Bedeutung. Bisher war zur Abnahme-, Inbetriebnahme- oder Wartungsmessung eines FM-Senders eine Vielzahl von Messgeräten notwendig.

Der R&S® ETL TV Analyzer vereint alle hierfür notwendigen Messgeräte in einem einzigen Gerät und kann diese vollständig ersetzen. FM-Senderabnahme-messungen sind damit erstmalig mit einem kompakten Gerät möglich und sind schnell und einfach durchzuführen. Der R&S® ETL bietet u.a. die Funktionalität von Leistungsmessgerät, Spektrumanalysator, Audiogenerator, FM-Messdemodulator, Stereodecoder und Audioanalysator in nur einem Gerät.



Abb. 1: R&S® ETL

In dieser Applikationsschrift wird auf die grundlegenden FM-Messungen zur Abnahme, Inbetriebnahme oder Wartung eines FM-Senders eingegangen. Diese Messungen werden unter Zuhilfenahme von Messsignalen durchgeführt. Die Prüfnormen für FM-Sender sind stark länder- und kundenspezifisch, weswegen Einstellungen und Grenzwerte in dieser Applikationsschrift nur beispielhaft zu verstehen sind. Bei den hier beschriebenen Messungen wurde sich an Berichten aus der Praxis, dem Rohde & Schwarz Senderprüffeld, der Prüfnorm IEC 244-13 als auch an den vom Institut für Rundfunktechnik (IRT) erstellten Technischen Richtlinien der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland, Österreich und der Schweiz (abgekürzt TR) orientiert.

Zunächst wird in Kapitel 2 ein kurzer Blick auf die Grundlagen der FM-Sendetechnik geworfen. In Kapitel 3 werden die möglichen Einstellungen des R&S® ETLs erklärt. Anschließend erläutert Kapitel 4 die vorbereitenden Schritte. Neben der erforderlichen Messausrüstung und des Messaufbaus zählt dazu auch der Schutz der Messtechnik vor überhöhter zerstörerischer Eingangsleistung. Abschließend wird in Kapitel 4 die Grundkonfiguration des R&S® ETLs für die Messungen beschrieben. In Kapitel 5 werden die einzelnen Messungen im Detail erläutert und die hierfür notwendigen Konfigurationen des R&S® ETLs angegeben.

Im Anhang A wird der Zusammenhang zwischen Modulationseingangspegel des Senders und resultierendem Frequenzhub erläutert. Im Anhang B wird die Möglichkeit beleuchtet, eine Vielzahl der hier beschriebenen Messungen automatisiert durch die R&S[®]TxCheck Software des R&S[®]ETL durchzuführen.

2 FM-Grundlagen

Bei der Frequenzmodulation (FM) wird die Trägerfrequenz abhängig von dem zu übertragenden Signal verändert. Die durch die Modulation verursachte Änderung der Trägerfrequenz bezeichnet man als Frequenzhub (frequency deviation, kurz: Hub). Je größer die Amplitude des Informationssignals, desto größer ist der Hub (siehe Abb. 2 und Abb. 3).

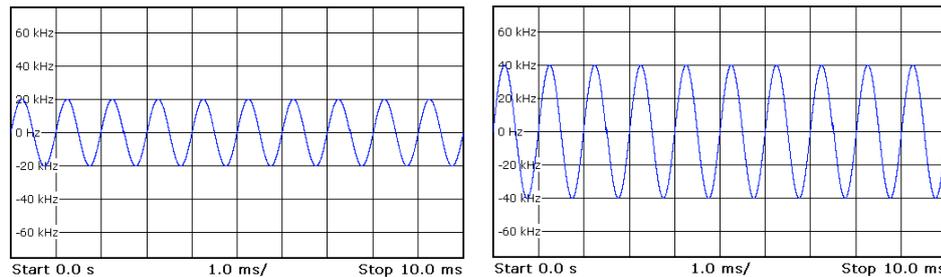


Abb. 2: Audio Scope Darstellung eines frequenzmodulierten 1 kHz Audiosignals, links mit 20 kHz Hub (resultierend aus 0 dBu) und rechts mit 40 kHz Hub (resultierend aus 6 dBu)

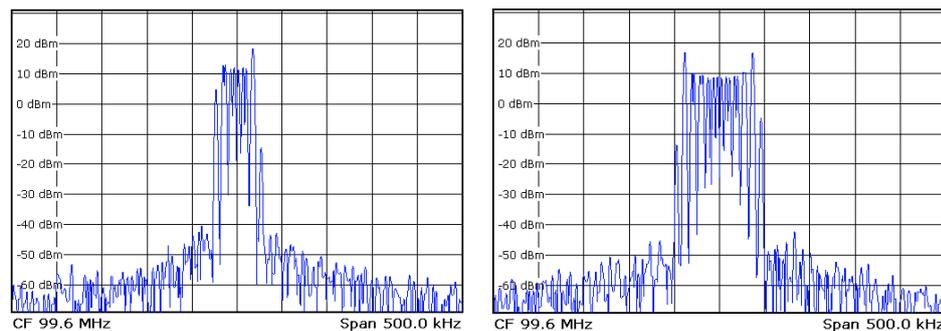


Abb. 3: HF-Spektrumdarstellung eines frequenzmodulierten 1 kHz Audiosignals, links mit 20 kHz Hub (resultierend aus 0 dBu) und rechts mit 40 kHz Hub (resultierend aus 6 dBu)

2.1 Das Multiplexsignal (MPX-Signal)

Unterschieden wird bei Audiosignalen zwischen Mono- und Stereo-Signalen. Im Hörfunk (Radio) kommen heute im Wesentlichen Stereo-Signale zum Einsatz. Bei Stereoübertragung werden stereophone Signale, also zwei unabhängige Audiokanäle, über den FM-Sender übertragen.

Das FM-Stereo-System wurde so definiert, dass das übertragene Signal auch mit Monogeräten empfangbar ist (Rückwärtskompatibilität). Hierzu wurde das Pilotton-Multiplexverfahren entwickelt, wie es in der CCIR Recommendation 450, Section 2 definiert ist. Bei diesem Verfahren wird das Modulationssignal von einem speziellen Stereocoder erzeugt, der als separates Gerät dem Sender vorgeschaltet oder auch im Sender integriert sein kann. Ein Sender ohne Stereocoder kann als Monosender verwendet werden.

Im Stereocoder erzeugt eine Matrixschaltung aus dem L- (links) und dem R- (rechts) Audiosignal mit jeweils 15 kHz Bandbreite, das Summensignal M (middle) und das Differenzsignal S (side). Das Summensignal M entspricht hierbei dem Monosignal, wie es auch bei einem Monosender übertragen wird. Das Differenzsignal S wird auf einen Hilfsträger bei 38 kHz amplitudenmoduliert. Dieser Hilfsträger wird zur Reduzierung der benötigten Bandbreite unterdrückt, stattdessen wird ein Pilotton bei 19 kHz übertragen. Der Pilotton dient zum einen dem Empfänger (Decoder) zur Erkennung des Stereosignals; zum anderen wird zur Demodulation des Differenzsignals der unterdrückte Hilfsträger (von 38 kHz) im Stereoempfänger mit Hilfe des Pilottons zurückgewonnen.

Das gesamte Ausgangssignal des Stereocoders wird Multiplexsignal (MPX-Signal) genannt. Im Wesentlichen besteht es also aus 3 Teilen:

- dem Summensignal M $\left(\frac{L+R}{2}\right)$, Bandbreite 0 Hz - 15 kHz
- dem 19-kHz-Pilotton
- dem modulierten Differenzsignal S $\left(\frac{L-R}{2}\right)$, Bandbreite 23 kHz - 53 kHz

Im Laufe der Geschichte des UKW-Rundfunks kamen für zusätzliche Dienste folgende Zusatzsignale hinzu:

- Radio Data System (RDS): Zur Übertragung von statischen Informationen und Anzeige auf den Displays von Radiogeräten wie z.B. Senderkennung oder Musiktitel. Die digitale Informationsübertragung erfolgt auf der Unterträgerfrequenz von 57 kHz.
 - Vorläufer von RDS war Autofahrer-Rundfunk-Information (ARI)
- Data Radio Channel (DARC): Ist vergleichbar mit RDS und kommt hauptsächlich in Japan und USA zum Einsatz.
- Subsidiary Communication Authorization (SCA): Zur Übertragung eines zusätzlichen Audiosignals in Telefonqualität. Das SCA Zusatzsignal liegt standardmäßig bei 41 kHz (nur beim Monosender), 67 kHz oder 92 kHz.

Diese Zusatzsignale werden ggf. dem MPX-Signal (siehe Abb. 4) hinzugefügt.

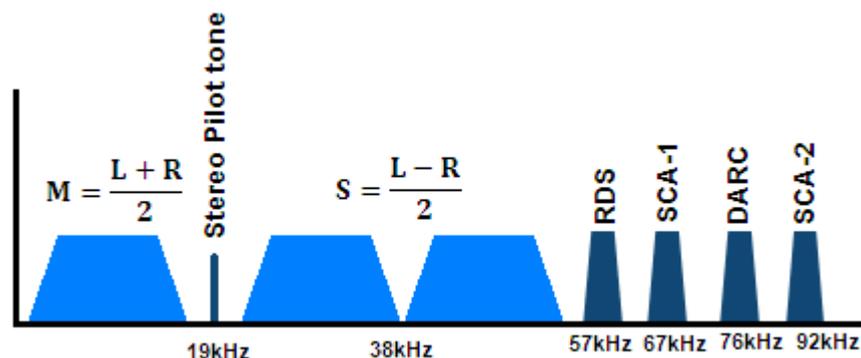


Abb. 4: Schematische Darstellung des Spektrums des MPX-Signals

2.1 Pre- und Deemphasis

Bei der Frequenzmodulation ergibt sich das sog. Dreiecksrauschen, d.h. die Rauschleistungsdichte ist nicht konstant, sondern steigt mit zunehmender NF-Bandbreite an. Um das Signal-Rausch-Verhältnis bei hohen Frequenzen zu verbessern, kommt im Stereocoder eine Vorverzerrung (Preemphasis) zum Einsatz. Dies bedeutet, dass vor dem Senden hohe Frequenzen angehoben werden. Hierzu kommt länderabhängig eine Zeitkonstante zum Einsatz, in Europa und Japan ist diese üblicherweise 50 μ s, in USA 75 μ s. Um wieder einen linearen Frequenzgang zu erreichen muss die Vorverzerrung am Empfänger rückgängig gemacht werden, man spricht von Deemphasis.

2.2 HF-Bandbreite

Das im Stereocoder erzeugte Signal wird im Exciter frequenzmoduliert. Für die Bandbreite des frequenzmodulierten Signals (siehe Abb. 5) gilt näherungsweise nach der Carson Formel:

$$98\% \text{ der Spektralleistung innerhalb } B_{98\%} = 2(\Delta f_{\text{Carrier}} + f_{\text{Signal}_{\text{max}}})$$

$$99\% \text{ der Spektralleistung innerhalb } B_{99\%} = 2(\Delta f_{\text{Carrier}} + 2f_{\text{Signal}_{\text{max}}})$$

mit $\Delta f_{\text{Carrier}}$ = Frequenzhub

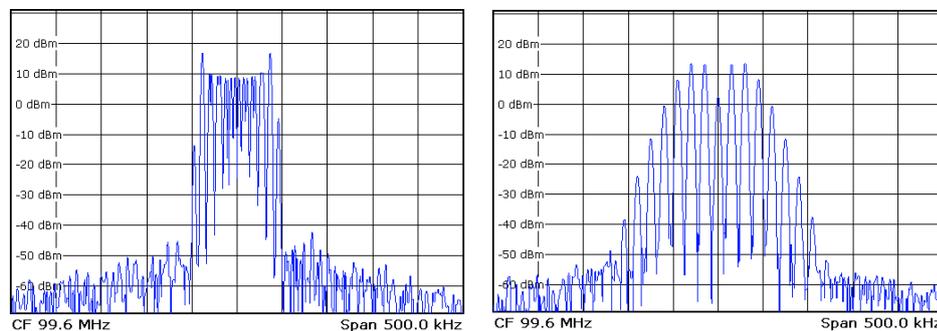


Abb. 5: HF-Spektrum Darstellung eines frequenzmodulierten 1 kHz Audiosignals (links) und eines frequenzmodulierten 15 kHz Audiosignals (rechts). Beide Signale haben einen Frequenzhub von 40 kHz.

2.3 Stereodecoder

Im Decoder entsteht aus der Summe von Summen- und Differenzsignal der linken Kanal (L), aus der Differenz von Summen- und Differenzsignal der rechten Kanal (R):

$$M + S = \frac{L + R}{2} + \frac{L - R}{2} = L$$

$$M - S = \frac{L + R}{2} - \frac{L - R}{2} = R$$

2.4 Sendereingänge

Sender haben einen MPX-Eingang, in welches das MPX-Signal eingespeist wird. Sender mit einem integrierten Stereocoder haben neben einem MPX-Eingang auch L- und R-Eingang

Die meisten modernen Sender bieten den Audio Engineering Society/European Broadcasting Union (AES/EBU)-Eingang, über welchen dem Sender digitale Stereo- oder Mono-Audiosignale zugeführt werden können. Diese Schnittstelle ist in der Norm AES3 spezifiziert. Bei AES/EBU kann eine Impedanz von 110 Ohm (symmetrische Kabel nach AES3) oder 75 Ohm (unsymmetrische Koaxialkabel) zum Einsatz kommen. Der Signalpegel für AES/EBU wird in dBFS (Dezibel full scale) angegeben und bezieht sich auf den höchstmöglichen Pegelwert.

3 Einstellungen für FM-Messungen am R&S®ETL

Der R&S®ETL vereint in einem Gerät u.a. eine Vielzahl von Analysatoren für FM-Signale (siehe Abb. 6) sowie einen Stereocoder und einen Audiogenerator zur Erzeugung der Messsignale. Hieraus resultiert eine Vielfalt von möglichen Einstellungen. Zumeist sind aber nur wenige Einstellungen für eine Messung notwendig. In dieser Applikationsschrift sind die für eine Messung notwendigen Einstellungen bei der jeweiligen Messung (siehe Kapitel 5) angegeben.

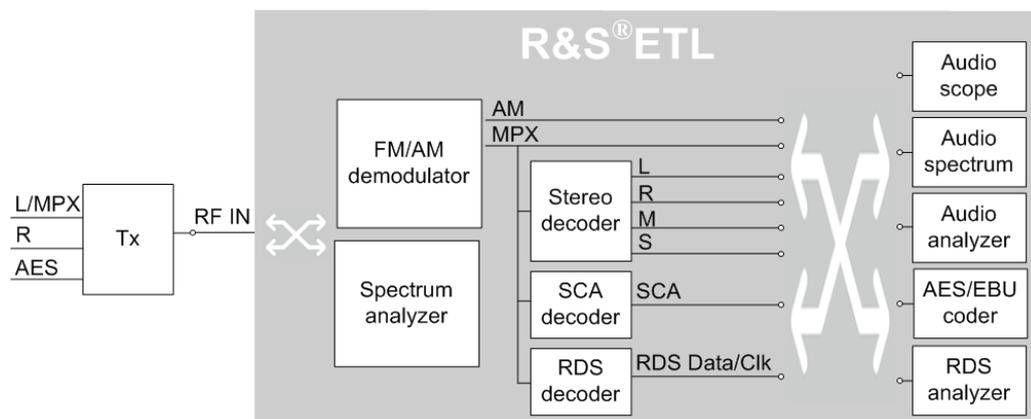


Abb. 6: Vereinfachte Übersicht der Analysefunktionen für die FM-Senderabnahme

Für alle Interessierten wird in diesem Kapitel ein Überblick über die zur Verfügung stehenden Einstellungen, deren Funktion und Wechselwirkung gegeben. Zur Durchführung der Messung ist dieses Hintergrundwissen nicht zwingend erforderlich, da alle notwendigen Einstellungen in Kapitel 5 bei den Messungen genannt werden, bei Bedarf kann deren Bedeutung hier (Kapitel 3) nachgelesen werden.

Grundsätzlich gibt es beim R&S®ETL für FM-Messungen folgende Konfigurationsdialoge:

- Radio Settings (3.1)
- Audiogenerator (3.2)
- Konfigurationsdialoge der einzelnen Messungen:
 - Audio-Analysis-Messungen (3.3):
 - Frequenzgang (Frequency Response)
 - Übersprechen (Crosstalk)
 - Senderausgangspegel (Level)
 - Signalrauschverhältnis (Signal to Noise - S/N)
 - Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion - THD)
 - Zweitonfaktor (Dual Frequency Distortion - DFD)
 - Modulation-Analysis-Messungen (3.4):
 - Audio Oszilloskop (Audio Scope)
 - Audio Spektrum (Audio Spectrum)
 - MPX Leistung & Spitzenhub (MPX Power & Peak Dev)
 - Verteilung des MPX Hubs (MPX Deviation Distribution)
 - Mehrwegeausbreitung Detektion (Multipath Detection)
 - RDS

Einstellungen in Konfigurationsdialogen sollen stets von oben nach unten durchgeführt werden, da Abhängigkeiten zwischen den Einstellungen möglich sind. Zum Beispiel steht die Einstellung des „Stereo Decoders“ unter „Radio Settings“ nur zur Verfügung wenn unter Radio Standard „FM Stereo“ ausgewählt wurde.

3.1 Allgemeine FM-Einstellungen – Radio Settings

Die grundlegenden FM-Einstellungen sind verfügbar, wenn der R&S®ETL im Radio Modus des „TV/Radio Analyzer/Receiver“ (MODE→TV/Radio Analyzer/ Receiver→Radio) ist und können unter „Radio Settings“ vorgenommen werden (siehe Abb. 7).

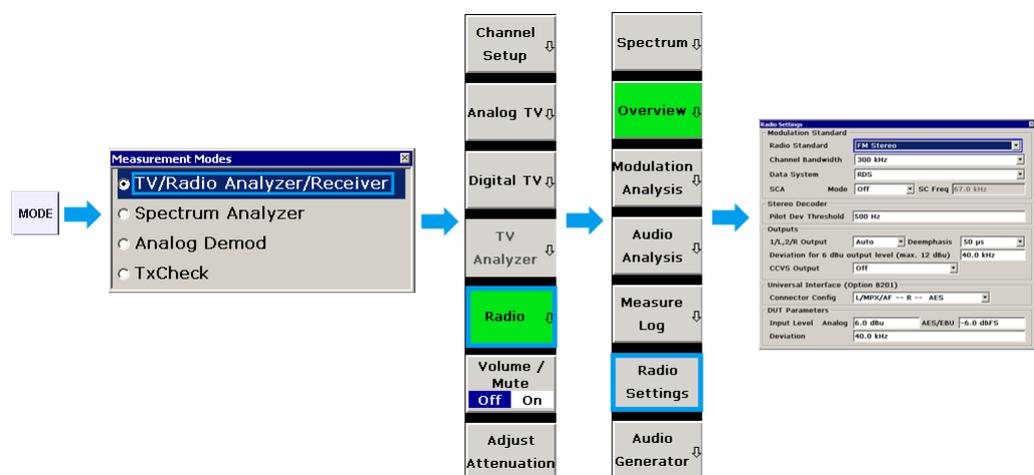


Abb. 7: Wechsel zum Radio Modus des R&S®ETLs und Aufruf des Konfigurationsdialogs „Radio Settings“

Die Einstellungen im Konfigurationsdialog „Radio Settings“ gliedern sich in die nachfolgend beschriebenen fünf Bereiche (siehe Abb. 8).

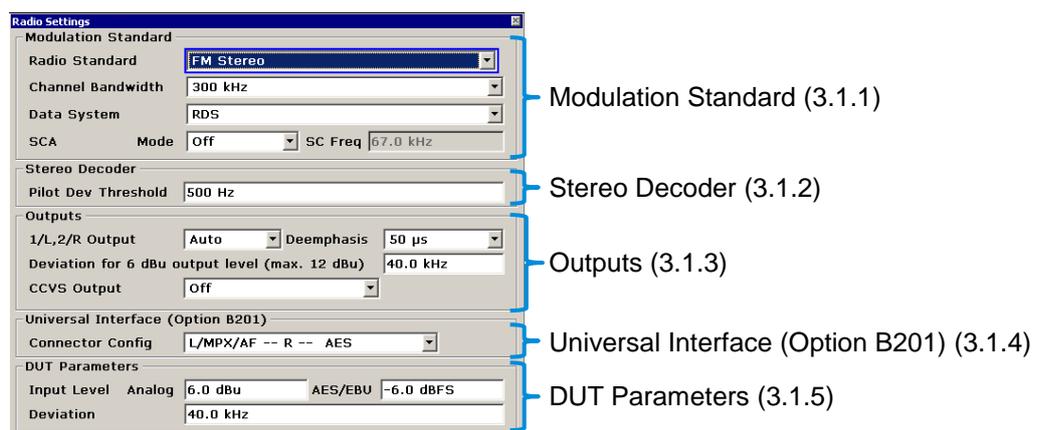


Abb. 8: Konfigurationsdialog „Radio Settings“, aufrufbar über MEAS→Radio Settings

3.1.1 Modulation Standard

Radio Standard

Der Radio Standard muss abhängig von der Senderbetriebsart ausgewählt werden:

- FM Mono: Soll für reine Monosender gewählt werden, da bei Monosendern nach einigen Spezifikationen (z.B. RaiWay) eine NF-Audiobandbreite bis zu 17,5 kHz notwendig. Diese Bandbreite kann prinzipbedingt im Stereobetrieb nicht realisiert werden. Durch die Auswahl „FM Mono“ werden im R&S®ETL Menü daher keine stereorelevanten Messungen angeboten. Für Messungen am Stereosender im Monobetrieb, bei denen eine NF-Bandbreite von 15 kHz ausreichend ist oder für Messungen am Summensignal M soll der Radio Standard dagegen auf „FM Stereo“ gestellt werden.
- FM Stereo: Der R&S®ETL verhält sich mit dieser Einstellung wie ein Empfänger mit Stereomessdecoder. Die NF-Audiobandbreite wird auf 15 kHz begrenzt.

Channel Bandwidth

Durch eine schmale Kanalselektion (= geringere Bandbreite) werden die Seitenbänder beschnitten. Mit schmaler werdenden Bandbreiten nehmen die Verzerrungen zu. Für präzise Messungen am Sender sollte die Bandbreite daher auf die größte verfügbare Bandbreite (1 MHz) eingestellt werden. Bei Messungen an einer Empfangsantenne mit Nachbarkanälen kann es dagegen notwendig sein, kleinere Bandbreiten zu wählen, um die Beeinflussung durch Nachbarkanäle so gering wie möglich zu halten.

Data System

Die Einstellung „Data System“ ermöglicht die Messungen an den Zusatzsignalen RDS (einschließlich der in USA eingesetzten Variante RBDS) oder DARC. Durch die Auswahl von „None“ unter Data System werden die entsprechenden Messungen nicht durchgeführt und nicht angezeigt.

Für DARC steht lediglich die Messung des Frequenzhubs (DARC Deviation) zur Verfügung. Für RDS und RBDS bietet der R&S®ETL einen Decoder (MEAS→Modulation Analysis→RDS→Extended RDS Analysis). Für RBDS muss „RBDS mode“ (siehe Abb. 9, oben rechts) aktiviert werden. Die „Extended RDS Analysis“ des R&S®ETL ermöglicht es u.a. Sendernamen und Alternativ-Frequenzen zu analysieren.

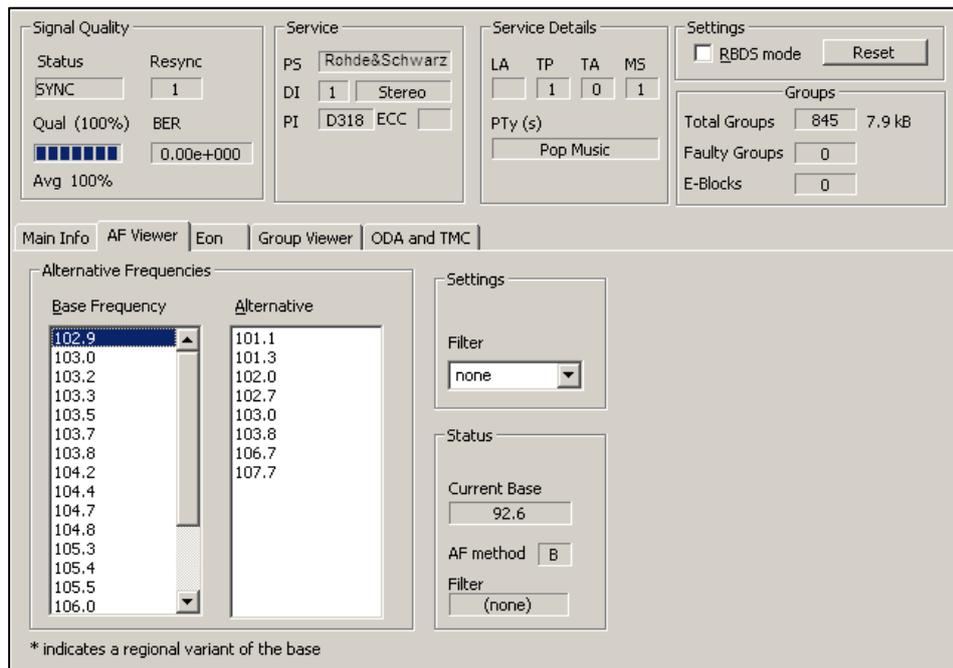


Abb. 9: RDS/RBDS Decoder

SCA Mode

Die Einstellung „SCA Mode“ ermöglicht die Demodulation und Messungen des SCA-Zusatzsignals. Unter „SCA Mode“ gibt es die Unterscheidung zwischen Narrow (ca. 14 kHz Bandbreite des modulierten Unterträgers, z.B. eingesetzt in der USA) und Wide (ca. 26 kHz Bandbreite des modulierten Unterträgers, z.B. eingesetzt in Italien). Durch die Auswahl von „Off“ werden die entsprechenden Messungen nicht durchgeführt und angezeigt. Ist SCA aktiviert, wird unter SC Freq (SC = Subcarrier) die Mittenfrequenz des zu demodulierenden Unterträgers eingegeben, diese ist standardmäßig mit 41 kHz (nur bei Monosendern anwendbar) bzw. 67 kHz vorbelegt. Für Stereosender ist auch 92 kHz üblich.

3.1.2 Stereo Decoder

Pilot Dev Threshold

Über „Pilot Dev Threshold“ kann eingestellt werden, wie groß der vom Pilotsignal verursachte Frequenzhub (Pilotheub) mindestens sein muss, damit das Signal als Stereo Signal erkannt wird. Dies beeinflusst zum einen die Anzeige rechts unten in der Statusleiste des Messbildschirms. Ist der Pilotheub kleiner, zeigt der R&S®ETL dort die rote Warnung „MONO“ an. Zum anderen wird über diese Einstellung das automatische Umschaltung des Ausgangssignals der 1/L, 2/R Ausgänge (siehe 3.1.3) von Stereo nach Mono gesteuert.

Die tatsächliche Synchronisierung des Stereodecoders auf den Piloten ist von dieser Einstellung unabhängig.

3.1.3 Outputs

Zur weitergehenden Audioanalyse können ausgewähltes Signal in analoger oder teilweise auch digitaler Form einem externen Audioanalysator zugeführt werden. Hierfür stehen zwei Ausgänge zur Verfügung (siehe Abb. 10):

- CCVS (Color composite video signal, welcher beim R&S®ETL auch zur Ausgabe analoger Fernsehsignale dient und deshalb diesen Namen trägt)
- Symmetrischen Ausgänge 1/L und 2/R



Abb. 10: Am R&S®ETL stehen zwei Ausgänge zur weitergehenden Audioanalyse zur Verfügung

Das demodulierte Signal im digitalen AES/EBU-Format (verfügbar am CCVS Ausgang) besitzt eine höhere Signalqualität als die analogen demodulierten Signale an den analogen 1/L, 2/R Ausgängen. Deswegen wird empfohlen bei Anschluss eines externen Audioanalysators nach Möglichkeit das AES/EBU-Format zu verwenden.

1/L, 2/R Output

Die Ausgänge 1/L und 2/R können für zwei Applikationen genutzt werden. Zum einen ist es möglich, an den Ausgängen 1/L und 2/R ein Generatorsignal zur Speisung des Senders auszugeben. Zum anderen kann zur weitergehenden Audioanalyse, z.B. mit einem externen Audioanalysator, das am HF-Eingang empfangene Signal als Mono Signal, als decodiertes Stereo Signal, als M- und S-Signal (M&S) oder das SCA-Signal ausgegeben werden. Die Auswahl von „Auto“ unter „1/L, 2/R Output“ bewirkt, dass abhängig von der eingestellten Pilotschwelle (siehe 3.1.2) das Mono- oder Stereo-Signal ausgegeben wird.

Das ausgewählte Signal erscheint auch auf dem Kopfhörerausgang (AF Out) und im AES/EBU-Signal welches ggf. am Ausgang CCVS ausgewählt werden kann.

Bei den 1/L, 2/R Ausgängen ist zu beachten, dass diese symmetrisch aber nicht erdfrei sind. Das heißt, dass es nicht möglich ist, durch Verbinden eines Ausgangs mit Masse ein unsymmetrisches Signal zu erzeugen.

Deemphasis

Die unter „Outputs“ eingestellte Deemphasis beeinflusst den Kopfhörerausgang (AF Out), die Ausgänge 1/L, 2/R und das AES-Signal. Für die Einstellungen „Auto“, „Mono“, „Stereo“ und „M&S“ unter „1/L, 2/R Output“ ist eine Deemphasis von 50 μ s oder 75 μ s bzw. off wählbar. Für die Einstellung SCA unter „1/L, 2/R Output“ ist eine Deemphasis von „100 μ s“ oder „150 μ s“ bzw. off wählbar.

Deviation for 6 dBu output level

Die Ausgangspegel der 1/L, 2/R Ausgänge sind aus technischen Gründen auf 12 dBu begrenzt. Über die Einstellung „Deviation for 6 dBu output level“ kann der Ausgangspegelbereich an die Erfordernisse angepasst werden. Dies bedeutet, dass bei einer Einstellung von 40 kHz, Signale bis 80 kHz Hub ohne Begrenzung ausgegeben werden können. Bei einer Einstellung von 75 kHz wiederum, können dementsprechend Signale bis zum maximalen Hub von 150 kHz ohne Begrenzung ausgegeben werden. Zu beachten ist jedoch, dass der an diesem Ausgang maximal erzielbare Rauschabstand mit zunehmendem Hub kleiner wird.

CCVS Output

Über den CCVS-Ausgang besteht die Möglichkeit, das MPX-Signal, das demodulierte Signal im digitalen AES/EBU-Format, den Piloten oder den RDS-/DARC- bzw. SCA-Unterträger auszugeben.

Das demodulierte Signal im digitalen AES/EBU-Format enthält das unter „1/L, 2/R Output“ gewählte Signal (Mono, Stereo, M&S).

3.1.4 Universal Interface (Option B201)

Connector Config

Die Einstellung „Connector Config“ ermöglicht die Belegung der Signalausgänge des Audiogenerators den Signaleingängen des Senders anzupassen und reduziert so notwendiges Umstecken.

Es stehen zwei mögliche Signalausgangsbelegung zur Verfügung:

- „L/MPX/AF – R – AES“
Zu verwenden, wenn der zu vermessende Sender einen kombinierten Eingang für L und MPX hat.
- „L – R – MPX/AF/AES“
Hat der Sender einzelne Eingänge für L, R und MPX kann diese Belegung verwendet werden, zur Messung des AES/EBU-Modulationseingangs ist dann umzustecken.

Treffen die Belegungen die Signaleingänge des Sender nicht, ist ein umstecken notwendig.

Eine dritte Auswahlmöglichkeit unter „Connector Config“ erlaubt die Ausgabe der empfangenen und decodierten RDS-Daten und des zugehörigen Clocks:

- RDS Clk – RDS Dat – none:
Diese Einstellung wird für die hier beschriebenen Messungen nicht benötigt.

Die Einstellung ist auch im Audiogenerator Konfigurationsdialog des R&S® ETLs verfügbar, siehe 3.2.3.

3.1.5 DUT Parameters

Die Einstellungen unter „DUT Parameters“ (DUT = Device Under Test, der zu prüfende FM-Sender) ermöglichen es dem R&S® ETL den notwendigen Signalpegel für einen gewünschten Frequenzhub automatisch zu berechnen. Hierzu wird entsprechend den Einstellungen am Sender die „Deviation“ und abhängig vom verwendeten Sendereingang der zugehörige analoge („Input Level Analog“) oder digitale Eingangspegel („AES/EBU“) eingegeben.

3.2 Einstellungen des Audiogenerators

Die notwendigen Einstellungen für den Audiogenerator sind verfügbar, wenn der R&S® ETL im Radio Mode des „TV/Radio Analyzer/Receiver“ (MODE→TV/Radio Analyzer/ Receiver→Radio) ist und können unter Audio Generator→Audio Generator Setup vorgenommen werden (siehe Abb. 11 und Abb. 12).

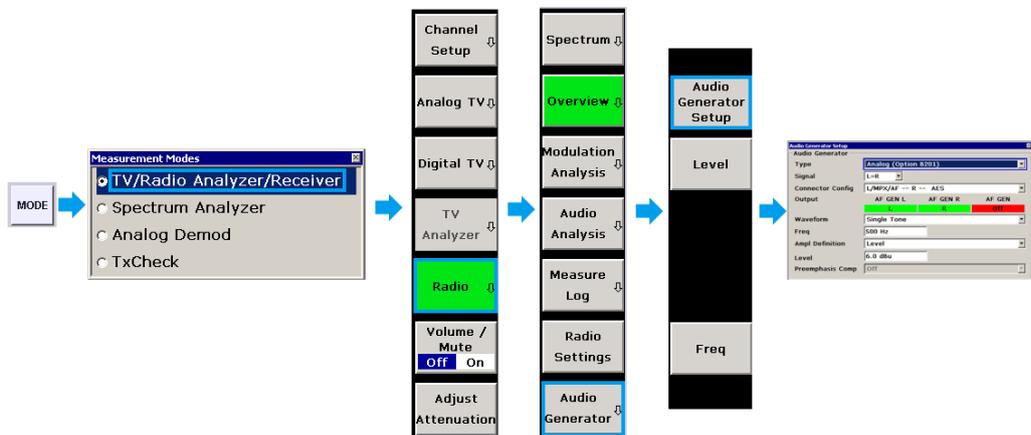


Abb. 11: Wechsel zum Radio Mode des R&S® ETLs und Aufruf des Konfigurationsdialogs „Audio Generator Setup“

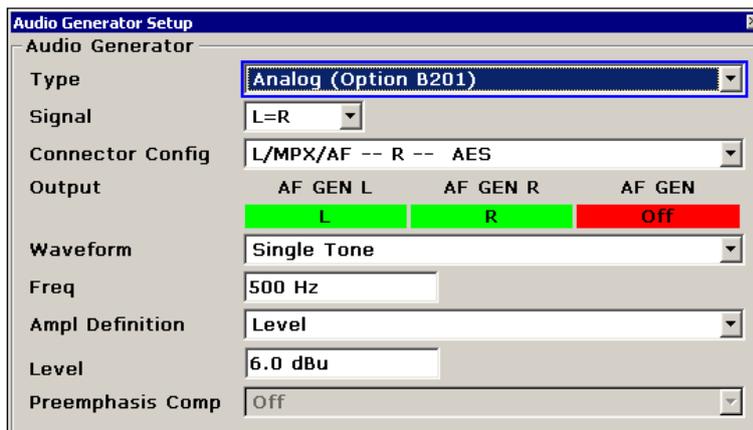


Abb. 12: Konfigurationsdialog des Audio Generator Setup, aufrufbar über MEAS→Audio Generator→Audio Generator Setup

Bei den Audio-Analysis-Messungen können die Generatoreinstellung auch im Konfigurationsdialog („Setup“) der jeweiligen Messung eingestellt werden (siehe 3.3). Dies wird empfohlen, da zur einfachen Bedienung dort nur relevante und sinnvolle Einstellungen angeboten werden. So wird z.B. im THD-Setup keine Waveform Einstellung angeboten, da die Messung grundsätzlich mit Single-Tone durchgeführt wird. Soll der Audio-Generator unabhängig von einer Audio-Analysis-Messung verwendet werden, müssen die Einstellungen im „Audio Generator Setup“ durchgeführt werden.

3.2.1 Type

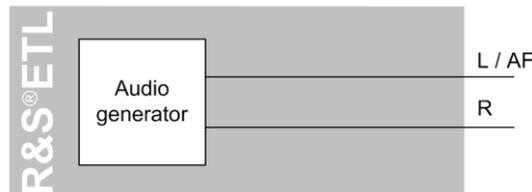
Über die Einstellung „Type“ des Audiogenerators wird festgelegt, welche Art von Signal erzeugt werden soll. Abhängig vom zu erzeugenden Signal, steht dieses entweder an der Hardwareoption R&S®ETL-B201 oder an den 1/L und 2/R Ausgängen zur Verfügung (siehe Abb. 13).



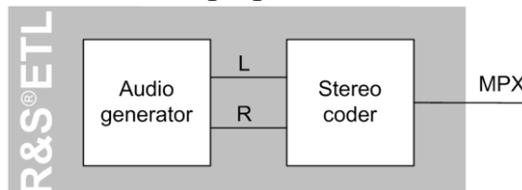
Abb. 13: Rückseitige Ansicht des R&S® ETLs mit Hardwareoption R&S® ETL-B201 und 1/L, 2/R Schnittstellen

Folgende Auswahl steht unter „Type“ zur Verfügung:

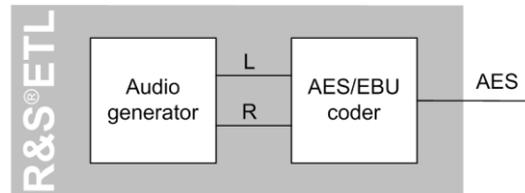
- Analog (Option B201):
Uncodiertes analoges Stereosignal (L, R) zur Speisung eines Betriebsstereocoders oder ein allgemeines Audiosignal (AF, Audio Frequency) bis 100 kHz zur direkten Speisung des Sender-MPX-Eingangs unter Umgehung des Stereocoders.



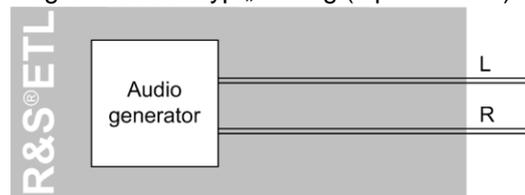
- MPX (Option 201):
Analoges MPX-Signal (M+S, Pilot und ggf. Zusatzssignale) zur Speisung des Sender-MPX-Eingangs.



- AES/EBU (Option B201):
Uncodiertes digitales Stereosignal, z.B. zur Speisung eines digitalen Betriebsstereocoders.



- Analog (1/L, 2/R):
Uncodiertes analoges Stereosignal unter der Verwendung der Schnittstellen 1/L und 2/R. Im Gegensatz zum Typ „Analog (Option B201)“ steht das Ausgangssignal symmetrisch zur Verfügung und es sind zusätzlich die Signale $L=R$ und $L<>R$ (siehe 3.2.2) verfügbar. Jedoch sind Störabstand und Bandbreite (15 kHz) geringer und der Frequenzgang größer, weswegen nach Möglichkeit der Typ „Analog (Option B201)“ verwendet werden soll.



3.2.2 Signal

Hier kann die Zusammensetzung des erzeugten Signals ausgewählt werden. Folgende Signale stehen zur Verfügung:

- AF (= Audio Frequency): allgemeines Audiosignal bis 100 kHz
- L: nur links, rechts abgeschaltet
- R: nur rechts, links abgeschaltet
- $L=R$: links und rechts mit gleicher Phase
- $L=-R$: links und rechts mit entgegengesetzter Phase
- $L<>R$: links und rechts mit unterschiedlicher Frequenz, Frequenz und Pegel sind getrennt wählbar

Die zur Verfügung stehende Auswahl ist abhängig von der unter „Type“ ausgewählten Einstellung (siehe 3.2.1):

- Analog (Option B201): AF, L, R, $L=R$
- MPX (Option B201): L, R, $L=R$, $L<>R$, $L=-R$, SCA
- AES/EBU (Option B201): L, R, $L=R$, $L=-R$, $L<>R$
- Analog (1/L,2/R): L, R, $L=R$, $L=-R$, $L<>R$

3.2.3 Connector Config

Diese Einstellung ermöglicht die Audiogenerator-Ausgänge der Hardwareoption R&S®ETL-B201 den Modulationseingängen des Senders anzupassen, wie bereits unter 3.1.4 beschrieben, kann diese Einstellung auch im Radio Setting Menü vorgenommen werden.

Die grafische Darstellung im „Audio Generator Setup“ (siehe Abb. 14) zeigt die momentan konfigurierten Signale an den Ausgängen der Hardwareoption R&S®ETL-B201 bzw. den 1/L, 2/R Ausgängen; grün bedeutet hierbei, dass ein Signal ausgegeben wird, rot bedeutet, dass kein Signal ausgegeben wird.

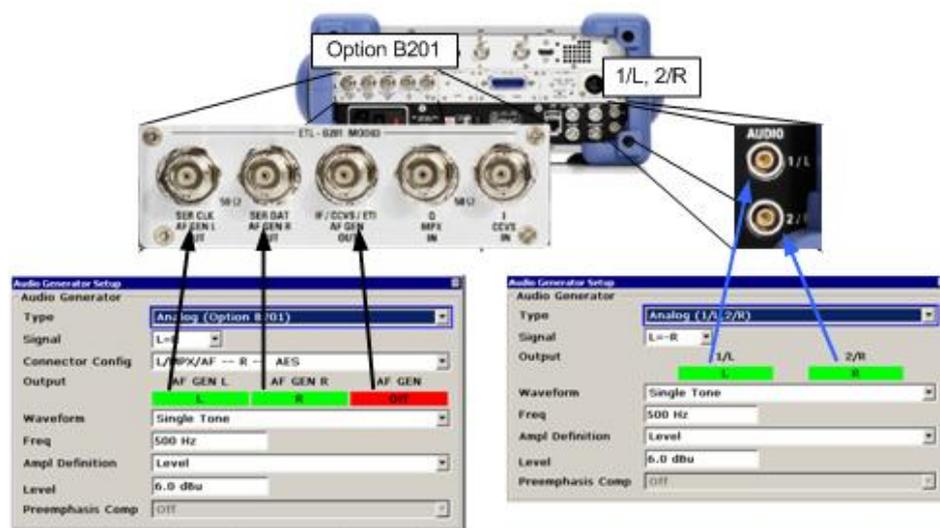


Abb. 14: Anzeige zweier möglicher Signalkonfigurationen des Audiogenerators (unten) und grafische Zuordnung zu den Generator-Ausgängen des R&S®ETLs (oben)

3.2.4 Waveform

Abhängig von den Messungen ist es notwendig ein Eintons- oder ein Zweitonsignal zu erzeugen. Hierfür stehen folgende Einstellungen zur Verfügung:

- „Single Tone“:
Eintonsignal, hierbei wird ein Sinuston pro Kanal mit der ausgewählten Frequenz erzeugt. Dies ist z.B. für die Frequenzgangmessung (5.4) oder der Klirrfaktormessung (5.6.1) notwendig.
- „Dual Tone, constant spacing“ oder „Dual Tone independent frequencies“:
Zweitonsignal, hierbei werden in jedem Kanal zwei Sinustöne erzeugt. Beide Töne haben die gleiche Amplitude. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderung, abhängig von Messvorschriften bietet der R&S®ETL hierfür zwei komfortable Eingabemöglichkeiten:
 - Dual Tone, constant spacing: Eingabe der Frequenz des höheren Tons und des Frequenzabstands, z.B. für die Messung des Zweitonsfaktors (5.6.2.1)
 - Dual Tone independent frequencies: Eingabe von zwei unabhängigen Frequenzen, z.B. für die Prüfung der Polarität von Eingängen (5.8)

3.2.5 Ampl Definition und Level

Unter „Ampl Definition“ erfolgt die Auswahl der einzustellenden Dimension (Einheit) der Generatoramplitude:

- Level:
Eingabe als Pegel in dBu ($0 \text{ dBu} = \sqrt{600 \Omega \cdot 1 \text{ mW}} \approx 0,7746 \text{ V}$).
- Peak Voltage:
Eingabe der Spitzenspannung in V. Die Eingabe der Spitze-Spitze-Spannung ist nicht möglich, kann aber hier einfach durch Umrechnung mit dem Faktor 2 erfolgen.
Bei einem Zweitonsignal (Dual Tone) ist die gewählte Peak Voltage die Summe der Amplituden beider Töne.
Der Grund für die Eingabe als Spitzenwert und nicht - wie in der allgemeinen Audioanalyse üblich – als RMS-Wert ist, dass bei FM der aus dem Generatorsignal resultierende Frequenzhub üblicherweise als Spitzenhub angegeben wird.
- Desired DUT Deviation:
Direkte Eingabe des aus dem Generatorpegel resultierenden gewünschten Senderfrequenzhubs in kHz. Diese Komfortfunktion rechnet anhand der unter „Radio Settings“ eingegebenen „DUT Parameters“ (siehe 3.1.5) den notwendigen Pegel aus und stellt diesen direkt ein. Zum Beispiel wird die Klirrfaktormessung u.a. mit 100 kHz Hub durchgeführt, die Eingabe der „Desired DUT Deviation“ erspart die Berechnung des dafür notwendigen Generatorpegels (siehe Anhang A).
Ist am Modulator die Preemphasis eingeschaltet, kann mit „Preemphasis Comp“ (siehe 3.2.6) eine kompensierende Absenkung des vom Audiogenerator erzeugten Pegels erreicht werden.

3.2.6 Preemphasis / Preemphasis Compensation

Preemphasis

Die Funktion Preemphasis steht nur beim Generator Typ „MPX (Option B201)“ zur Verfügung. Sie ist Teil des im MPX-Generator enthaltenen Stereomesscoders.

Preemphasis Compensation

Die Einstellung „Preemphasis Compensation“ steht für alle anderen Generator Typen („Analog (Option B201)“, „AES/EBU (Option B201)“ und „Analog (1/L, 2/R)“) zur Verfügung, falls als „Ampl Definition“ = „Desired DUT Deviation“ gewählt wurde. Entsprechend der gewählten Zeitkonstante wird der Pegel des Audiogenerators automatisch frequenzabhängig abgesenkt, so dass sich bei eingeschalteter Sender-Preemphasis ein konstanter Hub ergibt. Dies erleichtert das Arbeiten bei Messungen, die einen konstanten Frequenzhub erfordern, z.B. THD oder Crosstalk.

3.3 Konfigurationsdialoge der Audio-Analysis-Messungen

Folgende Messungen sind unter Audio-Analysis-Messungen angeordnet:

- Frequenzgang (Frequency Response)
- Übersprechen (Crosstalk)
- Senderausgangspegel (Level)
- Signalrauschverhältnis (Signal to Noise - S/N)
- Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion - THD)
- Zweitonfaktor (Dual Frequency Distortion - DFD)

Die Konfigurationsdialoge der Audio-Analysis-Messungen können im jeweiligen Messmodus aufgerufen werden und gliedern sich in drei Bereiche (siehe Abb. 15).

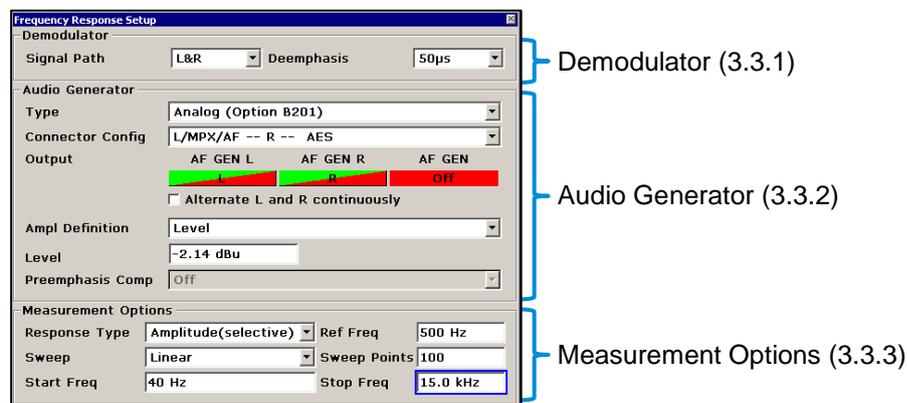


Abb. 15: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup

Die zur Verfügung stehenden Konfigurationen sind von der jeweiligen Messung abhängig und werden hier am Beispiel der Frequenzgangmessung erläutert.

3.3.1 Demodulator

Unter „Signal Path“ wird ausgewählt, welches Signal analysiert werden soll. Die zur Verfügung stehende Auswahl ist in den Audio-Analysier-Messungen auf die vom Generator erzeugbaren Signale eingeschränkt.

Für stereodecodierte Signale (L, R, L&R, M&S, M, S) kann eine Deemphasis von 50 µs oder 75 µs bzw. off ausgewählt werden.

3.3.2 Audio Generator

Unter „Audio Generator“ wird die Auswahl der Generatoreinstellungen im Hinblick auf für die ausgewählte Messung relevanten Generatoreinstellungen (siehe 3.2) eingeschränkt. Bei den Messungen, die ein automatisches Umschalten zwischen L-Pfad und R-Pfad erfordern (z.B. bei der Amplitudenfrequenzgang, 5.4.1), kommt die farbliche Markierung halb grün und halb rot zum Einsatz (siehe Abb. 15). Die Ausgänge werden im automatisierten Messablauf automatisch umgeschaltet.

Um die Lebensdauer der in der Option R&S®ETL-B201 verwendeten Relais nicht unnötig zu verkürzen, werden die entsprechenden Messungen in jeder Stellung nur einmalig ausgeführt (über den RUN-Hardkey kann eine Messung erneut gestartet werden). Soll das Generatorsignal z.B. zur längeren Beobachtung dauerhaft alternieren, kann in den entsprechenden Messungen „Alternate L and R continuously“ aktiviert werden.

3.3.3 Measurement Options

Die unter „Measurement Options“ zur Verfügung stehenden Konfigurationen sind von der jeweiligen Messung abhängig und werden in dieser Applikationsschrift bei den Messungen (Kapitel 5) erläutert.

3.4 Konfigurationsdialoge der Modulation-Analysis-Messungen

Folgende hauptsächlich für Betriebsmessungen gedachten Messungen stehen unter Modulation-Analysis zur Verfügung:

- Audio Oszilloskop (Audio Scope)
- Audio Spektrum (Audio Spectrum)
- MPX Leistung & Spitzenhub (MPX Power & Peak Dev)
- Verteilung MPX Hub (MPX Deviation Distribution)
- Mehrwegeausbreitung Detektion (Multipath Detection)
- RDS

Die Einstellungen in den Konfigurationsdialogen der Modulation-Analysis-Messungen können in der jeweiligen Messung aufgerufen werden. Die zur Verfügung stehenden Konfigurationen sind stark von der jeweiligen Messung abhängig.

Da in dieser Applikationsschrift nicht auf Betriebsmessungen eingegangen werden soll, werden die einzelnen Konfigurationsmöglichkeiten hier nicht erläutert.

4 Vorbereitung

4.1 Erforderliche Messausrüstung

Grundausrüstung



R&S® ETL TV Analyzer mit:

- entsprechender Optionierung (siehe Kapitel 8)
- aktueller Firmware (kostenlos auf www.rohde-schwarz.com/product/ETL.html)

Applikations- und messspezifische Messausrüstung



Für den Testbetrieb des Senders ohne Signalausstrahlung bei Senderabnahme oder Inbetriebnahme

Kunstantenne



Zur Messung des Senderausgangspegel mit einer Messgenauigkeit von <math><0.1\text{ dB}</math>

Zusätzlicher Leistungsmesskopf, zum Beispiel R&S® NRP-Z91



Falls Messrichtkoppler nicht Teil des Senders

Messrichtkoppler

4.2 Messaufbau

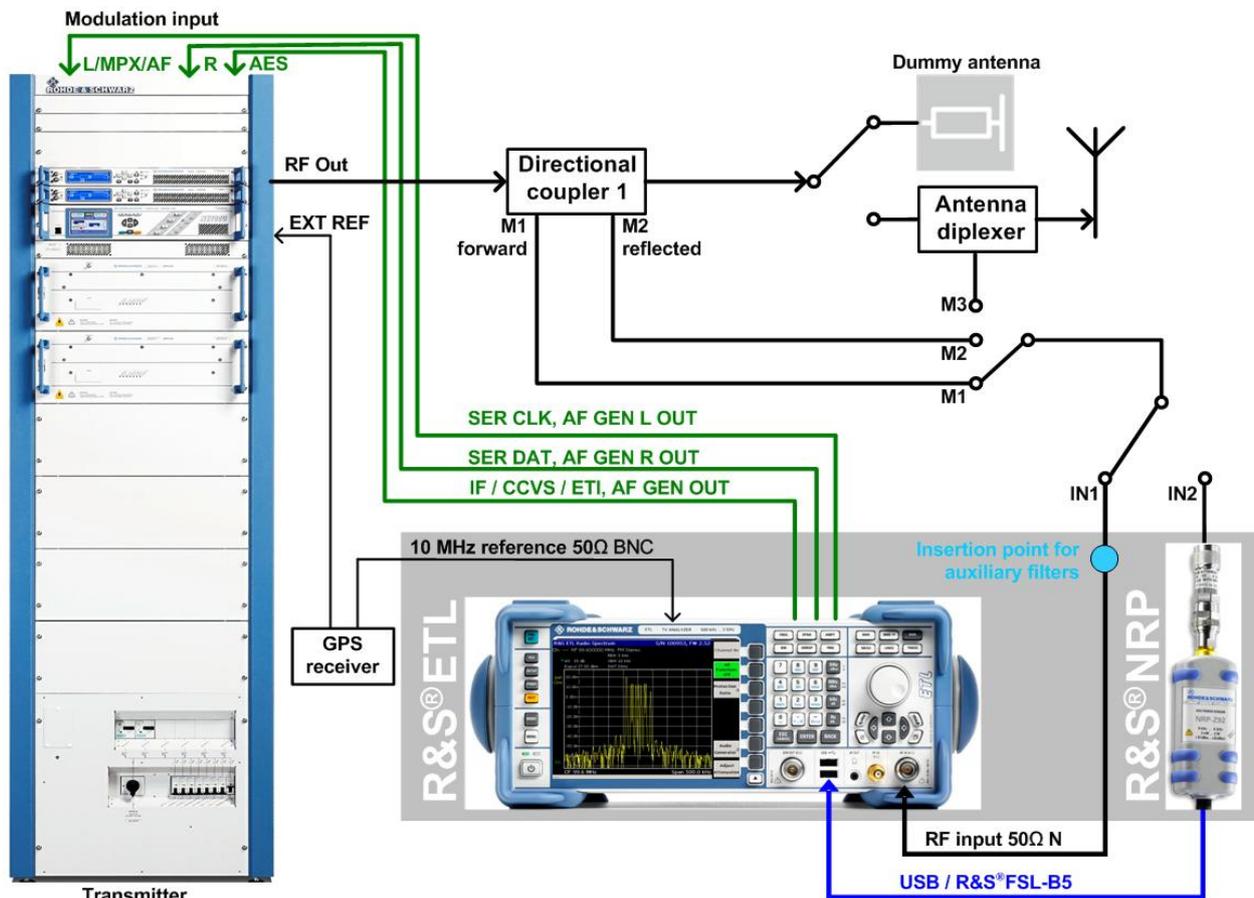


Abb. 16: Messaufbau

Der TV Analysator R&S® ETL ist über seinen rückseitigen Referenzeingang EXT REF mit der am Senderstandort verfügbaren 10 MHz GPS Zeitreferenz verbunden. Der optionale Leistungsmesskopf kann an den R&S® ETL über USB oder den Sensor Eingang der R&S® ETL Hardwareoption R&S® FSL-B5 angeschlossen werden.

Der HF Eingang des R&S® ETLs (IN1) bzw. der optionale Leistungsmesskopf (IN2) wird bei den verschiedenen Messungen an die Mess-Schnittstelle des Senderausgang (M1=Vorlauf, M2=Rücklauf) angeschlossen.

Zur Senderabnahme werden die rückseitigen Ausgänge des Audiogenerators des R&S® ETL mit den Sendereingängen verbunden (grün gezeichnet, siehe 3.1.4).

Der Senderausgang ist für die Messungen zuerst an einer Kunstantenne angeschlossen, bevor das Signal zur Ausstrahlung mit der Antennenweiche verbunden wird. Hierdurch steht als weiterer Messpunkt die Mess-Schnittstelle an der Antennenweiche (M3) zur Verfügung.

4.3 Schutz vor zerstörerischer Eingangsleistung

Für den R&S[®]ETL betragen die maximal zulässigen Eingangsleistungsspitzen 36 dBm (kurzzeitig für < 3 s), der empfohlene separate Leistungsmesskopf R&S[®]NRP-Z91 ist bis 23 dBm spezifiziert.

Daher wird empfohlen, die durchschnittliche anliegende Gesamtleistung an den einzelnen Mess-Schnittstellen gegebenenfalls durch zusätzliche Dämpfungsglieder auf 0 dBm - 10 dBm zu begrenzen. Dieser Bereich bietet einen ausreichenden Schutzabstand vor kurzzeitigen Leistungsspitzen und beeinträchtigt gleichzeitig nicht die Genauigkeit der Messgeräte. Die eingefügte Dämpfung ist natürlich bei bestimmten Messungen wie z.B. Senderausgangspegel entsprechend zu berücksichtigen.

4.4 Grundkonfiguration am R&S[®]ETL für Messungen

Die Beschreibung der Bedienschritte erfolgt gemäß folgender Syntax:

- Begriffe in Großbuchstaben bedeuten die Benutzung des gleichnamigen Hardkeys, z.B. „FREQ“ für 
- Aufgezählte Anweisungen (z.B. • Radio Standard) beziehen sich auf Einstellungen im aktuell angezeigten Konfigurationsdialog
- Die restlichen Begriffe referenzieren auf die aktuell am rechten Bildschirmrand angezeigten Softkeys. Dabei trennen Pfeile „→“ die nacheinander zu drückenden Tasten.

Allgemeine Einstellungen
SETUP→Reference Ext: Benutzung der externen 10 MHz Referenzfrequenz ¹
MODE→TV/Radio Analyzer/Receiver→Radio
MEAS→Radio Settings <i>Modulation Standard</i> <ul style="list-style-type: none"> • Radio Standard: FM Stereo • Channel Bandwidth: 400 kHz • Data System: None • SCA Mode: Off <i>Stereo Decoder</i> <ul style="list-style-type: none"> • Pilot Dev Threshold: 500 Hz <i>Outputs:</i> Einstellung nur notwendig, wenn die Ausgänge 1,L und 2,R bzw. CCVS verwendet werden um das Signal weiter zu analysieren (siehe 3.1.3) <i>Universal Interface (Option B201):</i> Je nach Senderbelegung einstellen (siehe 3.1.4) <i>DUT Parameters:</i> Entsprechend dem Sender einstellen (siehe 3.1.5)
FREQ→Channel RF: Entsprechend der Sendefrequenz wählen

Pegelung
MENU→Adjust Attenuation ²
AMPT→Preamp: Off
AMPT→More→Preselector: Off
AMPT→RF Atten Manual: Möglichst niedrig wählen ohne hierbei zu übersteuern ³

¹ Nur notwendig, falls Frequenzgenauigkeit mit sehr hoher Genauigkeit ($> 10^{-5}$) gemessen werden soll.

² Für die grobe Einpegelung.

³ Übersteuerungs-Warnungen erscheinen im Display oben mittig als „IFovl“ oder „Ovld“.

5 Messungen

Nachfolgend werden zuerst die Messungen am analogen Sendereingang erläutert, bevor unter Kapitel 5.9 auf die Unterschiede bei Verwendung des digitalen Sendereingangs (AES/EBU-Eingang) eingegangen wird.

5.1 Senderausgangspegel

Bei der Messung des Senderausgangspegels ist darauf zu achten, dass es sich bei der angezeigten Leistung nur um die vom Messrichtkoppler ausgekoppelte Leistung handelt. Über die „Ref Level Offset“-Funktion des R&S® ETL lässt sich die Auskoppel-dämpfung eingeben, die dann bei der Anzeige automatisch mit einberechnet wird.

Im Overview Menü kann der R&S® ETL direkt über den HF-Eingang den Signalpegel mit einer Genauigkeit von 1 dB messen. Durch Verwendung eines separaten Leistungsmesskopfes kann eine Genauigkeit von 0,1 dB erzielt werden.

Bei Verwendung des Overview Modus kann sowohl die Einheit als auch die vordefinierten Grenzwerte der Tabelle über MEAS→Overview→Edit Table eingestellt werden (siehe Abb. 17). Messwerte die außerhalb der eingegebenen Grenzen liegen werden rot dargestellt. Damit auch auf schwarz-weiß ausdrucken Grenzwertüberschreitungen schnell zu erkennen sind, sind diese Werte zusätzlich mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

	Pass	Limit <	Results <	Limit	Unit
Ext	Level	-47.0	20.7	30.0	dBm
	Carrier Freq Offset	-0.500	-0.004	0.500	dBm
	AM Depth	----- *	1.71	1.00	dBpW
	MPX Deviation	0.000	46.773	75.000	W
	L Deviation	0.000	40.137	67.500	dBmV
	R Deviation	0.000	40.078	67.500	V
	M Deviation	0.000	40.109	67.500	dBµA
	S Deviation	0.000	0.038	67.500	A
	Pilot Deviation	6.000	6.698	7.500	kHz

Abb. 17: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview→Edit Table: Auswahl der Einheit für den gemessenen Pegel

Nachfolgend wird beschrieben, wie der Senderausgangspegel eines mit maximalem Betriebshub (z.B. 75 kHz) modulierten Signals gemessen wird. Die hier vorgeschlagene Konfiguration verwendet für die Dimension (Einheit) der Generatoramplitude (Einstellung „Ampl Definition“) „Desired DUT Deviation“. Alternativ ist auch die Verwendung von „Level“ oder „Peak Voltage“ möglich.

Messablauf: Senderausgangspegel	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
Jeweils durchzuführen an der Mess-Schnittstelle: <ul style="list-style-type: none"> • M1, für vorlaufende Leistung • M2, für rücklaufende Leistung 	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	
MEAS→Overview→Audio Generator→Audio Generator Setup: <ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: L=R • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Single Tone • Freq: 500 Hz • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 75 kHz • Preemphasis Comp: entsprechend der Preemphasis am Sender einstellen 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Variante 1: „TV/Radio Analyzer/Receiver“	Variante 2: Leistungsmesskopf
AMPT→More→ExpectedLv Offset auf die gesamte Auskoppeldämpfung an der Mess-Schnittstelle zur direkten Verrechnung setzen	AMPT→More→Ref Level Offset auf die gesamte Auskoppeldämpfung an der Mess-Schnittstelle zur direkten Verrechnung setzen
Signal in den HF-Eingang des R&S [®] ETL (IN1) einspeisen	Leistungsmesskopf (IN2) (über USB oder Sensor Eingang verbunden mit R&S [®] ETL) an die Mess-Schnittstelle anschließen
	MODE→Spectrum Analyzer
MEAS→Overview	MENU→Power Meter→Frequency Coupling: Center
	MENU→Power Meter→Power Meter→On
Level ablesen, siehe Abb. 18	Level ablesen, siehe Abb. 19

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

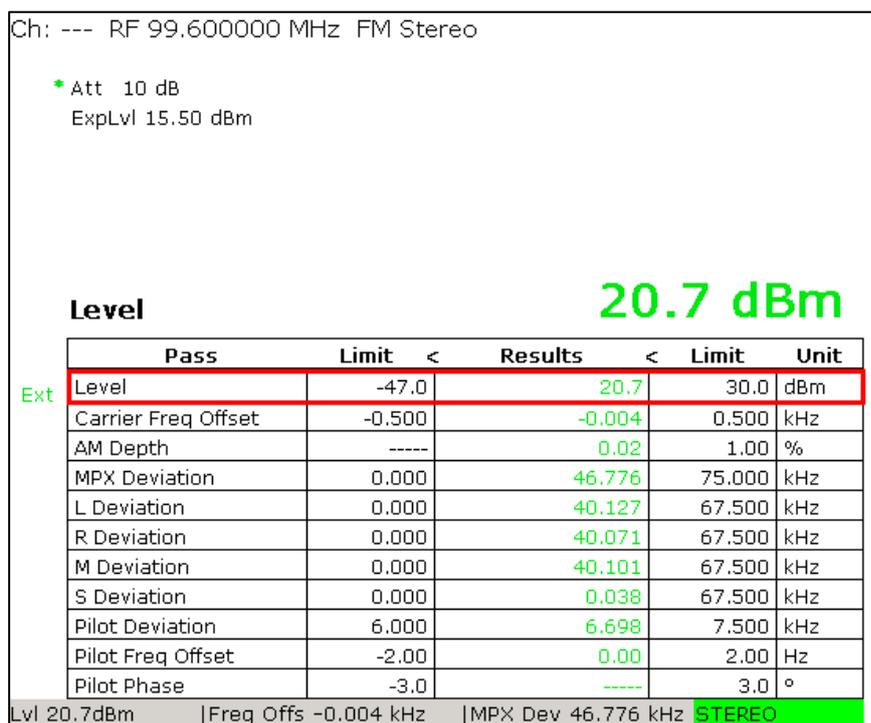


Abb. 18: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Pegel in der ersten Zeile der Tabelle, in der Statuszeile des Messbildschirms, sowie gezoomt (MEAS→Overview→Zoom)

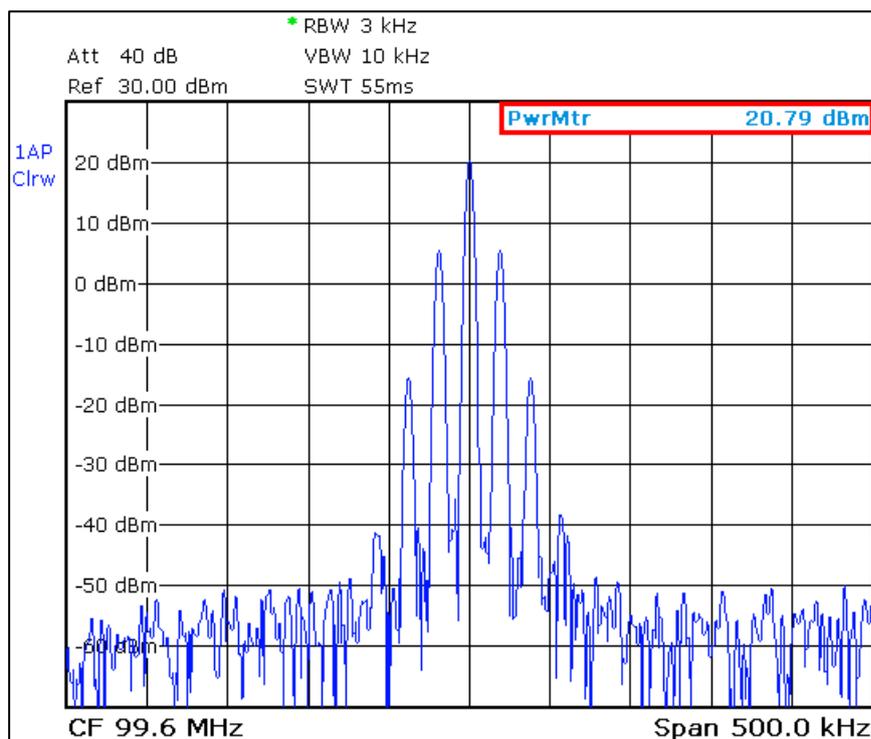


Abb. 19: Betriebsart Spektrum Analyzer: FM Spektrum mit eingeblendetem Messwert des Leistungsmesskopfes oben rechts

5.2 Frequenzgenauigkeit

Die Frequenzgenauigkeit kann mit und ohne Modulation gemessen werden. Der R&S® ETL ist darauf ausgelegt, die Frequenzgenauigkeit auch mit Modulation zu messen.

Die Genauigkeit der Messung der Frequenzgenauigkeit ist von der letzten Kalibrierung des Messgerätes abhängig. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass zur Messung mit einer Genauigkeit $> 10^{-5}$ eine externe Referenz verwendet werden muss (siehe Grundkonfiguration 4.4).

Messablauf: Frequenzgenauigkeit	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Variante 1: Mit Modulation	Variante 2: Ohne Modulation
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	Sendereingang auf MPX einstellen
MEAS→Overview→Audio Generator→Audio Generator Setup:	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: L=R • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Single Tone • Freq: 500 Hz • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: entsprechend der Preemphasis am Sender einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Signal: OFF <p>(alle anderen Einstellungen sind ohne Einfluss)</p>
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
MEAS→Overview	
Carrier Frequency Offset ablesen, siehe Abb. 20	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

Ch: --- RF 99.600000 MHz FM Stereo

* Att 10 dB
ExpLvl 15.50 dBm

Carr Freq Offset -4 Hz

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Ext	Level	-47.0		20.7		30.0	dBm
	Carrier Freq Offset	-0.500		-0.004		0.500	kHz
	AM Depth	-----		0.02		1.00	%
	MPX Deviation	0.000		46.773		75.000	kHz
	L Deviation	0.000		40.137		67.500	kHz
	R Deviation	0.000		40.078		67.500	kHz
	M Deviation	0.000		40.109		67.500	kHz
	S Deviation	0.000		0.038		67.500	kHz
	Pilot Deviation	6.000		6.698		7.500	kHz
	Pilot Freq Offset	-2.00		0.00		2.00	Hz
	Pilot Phase	-3.0		-----		3.0	°

Lvl 20.7dBm | Freq Offs -0.004 kHz | MPX Dev 46.773 kHz STEREO

Abb. 20: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Overview: Frequenzgenauigkeit in der 2ten Zeile der Tabelle, in der Statuszeile des Messbildschirms, sowie gezoomt (MEAS→Overview→Zoom) ablesbar

5.3 Hubkonstanz: Überprüfung der Modulatorkonstante des Senders

Ist die Modulatorkonstante des Senders korrekt eingestellt, ergibt sich bei einem Nennpegel (meist 6 dBu) der zugehörige Nennfrequenzhub (Nominal Deviation). Der Nennfrequenzhub wird laut TR 5/3.5 auch als Standardprüfhub bezeichnet. Der Nennfrequenzhub ist bei dieser Messung die zu überprüfende Messgröße.

Länder- und spezifikationsabhängig wird der Eingangspegel in dBu oder Volt eingegeben. Die Pseudoeinheit dBu, ist ein logarithmisches Maß für die Spannung ($\sqrt{600 \Omega \cdot 1mW} \approx 0,7746 V_{eff}$). Auch der Nennfrequenzhub ist länder- und spezifikationsabhängig, zum Beispiel ist dieser in Deutschland 40 kHz bei 6 dBu, in der Schweiz bei 6 dBu 50 kHz. Eingangspegel und Frequenzhub ergeben zusammen die Modulatorkonstante.

Zur schnellen Überprüfung wird der Frequenzhub des L, R, M, S sowie MPX-Signals in der Overview Ansicht angezeigt (siehe Abb. 20, Zeile 4-8). Die hier angezeigten Werte sind mit Peak-Detektor gemessen.

Zur genauen Überprüfung kann im Level Modus (MEAS→Audio Analysis→Level) gemessen werden. Hier stehen für die Frequenzhubmessung vier Detektoren mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung:

- Selective: FFT basierter Detektor, der die größte im NF-Spektrum auftretende Spektrallinie selektiv misst. Oberschwingungen werden nicht mitgemessen und Rauschen hat wegen der Schmalbandigkeit nur einen sehr geringen Einfluss auf das Messergebnis. Zusätzlich wird die Frequenz des gemessenen Signals angezeigt.
- PK: Spitzenwert- (Peak-) Detektor, dient der Spitzenhubmessung von Signalgemischen. Aufgrund der absoluten Spitzenwertmessung hat Rauschen einen relativ großen Einfluss auf das Messergebnis, d.h. der Messwert ist tendenziell etwas zu groß. Dieser Detektor wird auch für die Hubanzeige im R&S® ETL Overview-Menü verwendet.
- QPK: Quasi-Peak Detektor nach ITU-R BS.468-4, dieser Detektor zeigt bei einem Sinussignal den Effektivwert an, bei anderen Signalformen jedoch nicht. Er besitzt ein definiertes Reaktionsverhalten auf Pulse und Pulsgruppen. Er ist damit so ausgelegt, die ohrphysiologische Wirkung von Störungen messtechnisch möglichst gut abzubilden. Um bei den verschiedenen Detektoren Werte in der gleichen Größenordnung anzuzeigen, wird der gemessene Wert mit dem Faktor $\sqrt{2}$ multipliziert. Angezeigt wird $QPK \cdot \sqrt{2}$.
- RMS: Root mean square Detektor, zeigt den Effektivwert kurvenformunabhängig an. Der Einfluss von Rauschen ist relativ gering, wenn auch deutlich höher als beim selektiven Detektor. Wie auch beim QPK Wert wird der Wert mit dem Faktor $\sqrt{2}$ multipliziert. Angezeigt wird $RMS \cdot \sqrt{2}$.

Die gemessenen Werte der verschiedenen Detektoren werden gleichzeitig dargestellt (siehe Abb. 24 und Abb. 25).

Für die Anzeige des gemessenen Frequenzhubs bietet der R&S® ETL vier Möglichkeiten, die im „Audio Level Setup“ unter „Mode“ (siehe Abb. 21) ausgewählt werden können:

- Absolute: Absoluter Frequenzhub gemessen in Hz, z.B. 40,525 kHz
- Relative (dB): Abweichung des Frequenzhubs in dB relativ zum unter „Ref Deviation“ eingegebenen Referenzhub, z.B. 0,114 dB

$$\text{Deviation relative (dB)} = 20 \cdot \log \frac{\text{Deviation}}{\text{Reference Deviation}}$$

- Relative (%): Frequenzhub in Prozent des unter „Ref Deviation“ (Referenzhub) eingegebenen Wertes, z.B. 101,317 %

$$\text{Deviation relative (\%)} = 100 \cdot \frac{\text{Deviation}}{\text{Reference Deviation}}$$

- Relative Δ(%): Differenz zwischen dem Frequenzhub und des unter „Ref Deviation“ (Referenzhub) eingegebenen Wertes in %, z.B. 1,317 %

$$\text{Deviation relative } \Delta(\%) = 100 \cdot \frac{\text{Deviation} - \text{Reference Deviation}}{\text{Reference Deviation}}$$

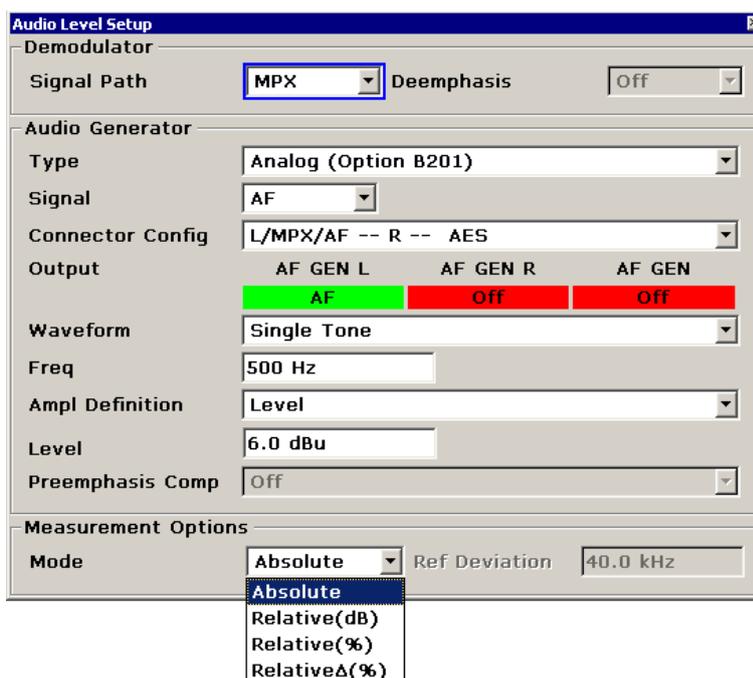


Abb. 21: Konfigurationsdialog des Audio Level Setups, aufrufbar über MEAS→Audio Analysis→Level→Level Setup

Die hier vorgeschlagene Konfiguration verwendet für die Dimension (Einheit) der Generatoramplitude (Einstellung „Ampl Definition“) „Desired DUT Deviation“. Alternativ ist auch die Verwendung von „Level“ oder „Peak Voltage“ möglich.

Messablauf: Überprüfung der Modulatorkonstante des Senders	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Fall 1: Ohne Stereocoder	Fall 2: Mit Betriebsstereocoder
Sendereingang auf MPX einstellen	Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis ausschalten
MEAS→Audio Analysis→Level→Level Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX 	<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: AF <ul style="list-style-type: none"> • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Single Tone • Freq: 500 Hz • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off 	<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: L=R
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Mode: Gewünschte Anzeige wählen z.B. Absolute 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
MPX Selective ablesen (siehe Abb. 24), bei Bedarf mit PRINT ausdrucken.	L Selective und R Selective ablesen (siehe Abb. 25), bei Bedarf mit PRINT ausdrucken.

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

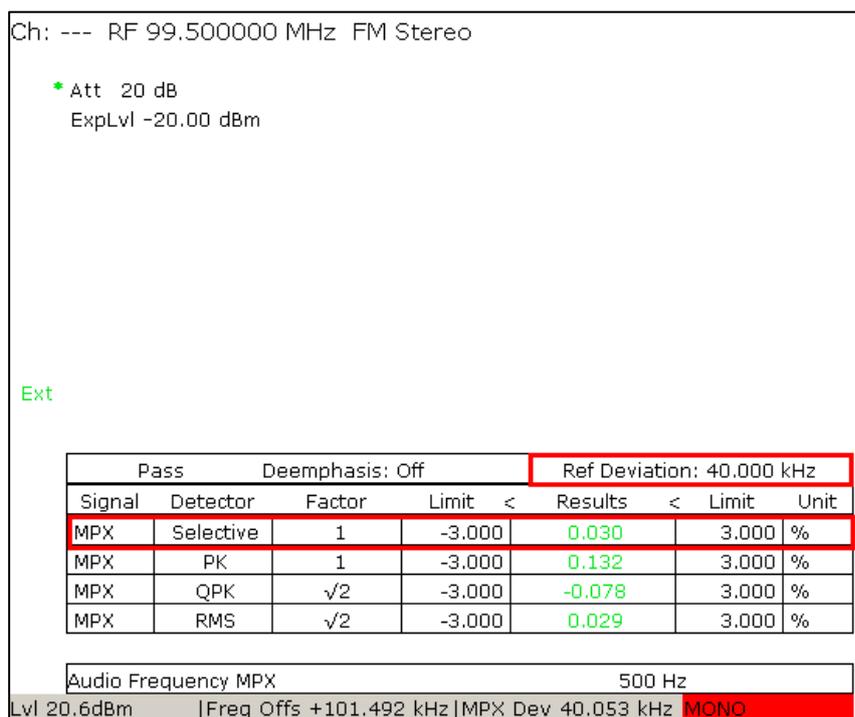


Abb. 24: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Audio Analysis→Level: Abweichung des Frequenzhubes des MPX-Signals zum eingegebenen Standardprüfhub in Prozent (Level Setup: Relative $\Delta(\%)$)¹

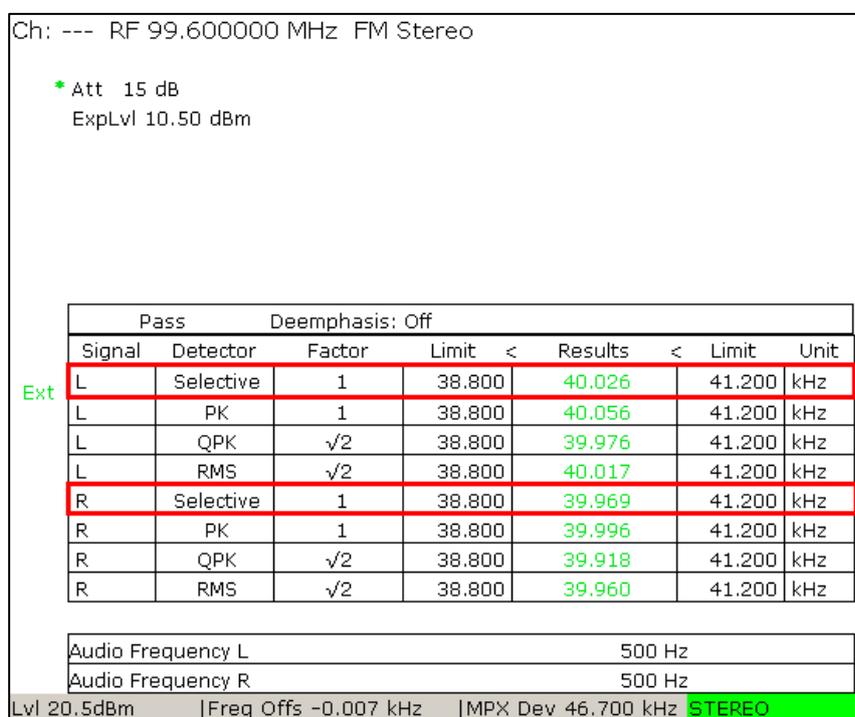


Abb. 25: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, Menü MEAS→Audio Analysis→Level: Frequenzhub des L&R Signals (Level Setup: Absolute)

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.4 Frequenzgang

Mit dem R&S[®]ETL kann der Amplitudenfrequenzgang und der Phasengang bis 100 kHz sowie die Balance, also die Differenz der Amplitudengänge des rechten und linken Kanals, gemessen werden.

5.4.1 Amplitudenfrequenzgang

Der Amplitudenfrequenzgang wird gemessen, um sicherzustellen, dass das Ausgangssignal über den verwendeten Frequenzbereich konstant ist. Mit dem R&S[®]ETL kann der Amplitudengang mit zwei verschiedenen Detektoren (RMS und Selective) gemessen werden. Der selektive Detektor ermöglicht gleichzeitig auch die Messung der Phase und besitzt aufgrund seiner kleineren Bandbreite Vorteile bei der Messdynamik, benötigt jedoch eine etwas größere Messzeit.

5.4.1.1 Audio-Frequenzcharakteristik (bis 15 kHz bzw. 17,5 kHz bei Monosendern)

Mit dem R&S[®]ETL kann bei der Darstellung des Audio-Frequenzgangs die Preemphase direkt abgezogen werden oder die Preemphase mit dargestellt werden. Wird die Preemphase mit dargestellt, kann mit Hilfe von Markern an Stützpunkten der Audio-Frequenzgang kontrolliert werden (siehe Abb. 26) z.B. bei einer Zeitkonstante von 50 μ s bei 15 kHz eine Amplitudenänderung um 13,66 dB (Berechnung siehe Anhang A.2). Der R&S[®]ETL kann die Preemphase direkt abziehen und die Abweichung zum idealen Verlauf auftragen, sowie die maximale positive und negative Abweichung in einer Tabelle anzeigen (siehe Abb. 28). Dies vereinfacht zum einen das Ablesen, zum anderen werden nicht nur einzelne Stützpunkte kontrolliert, sondern der gesamte Amplitudenverlauf.

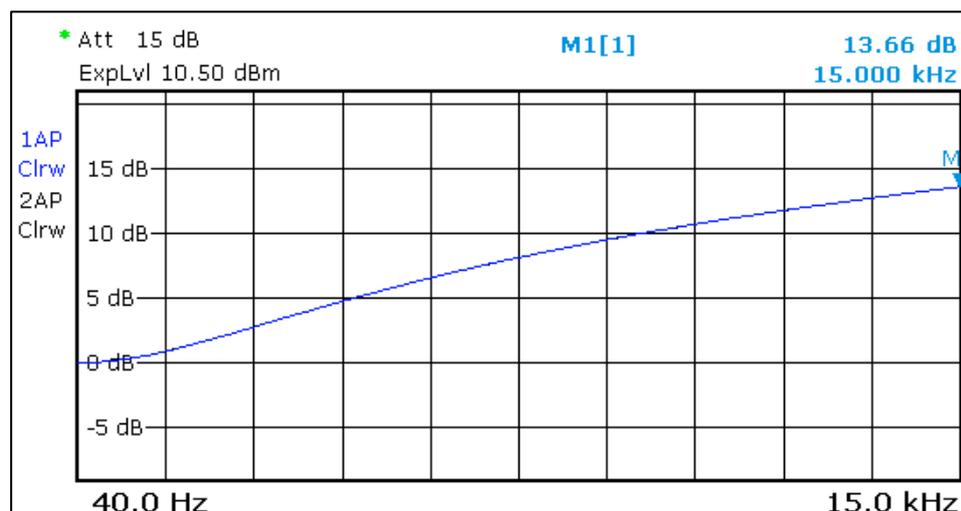


Abb. 26: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Typischer Amplitudenverlauf eines FM-Signals bei eingeschalteter Preemphasis am Sender und ohne Deemphasis am Empfänger (gemessen nach nachfolgender beschriebener Variante 1 mit Deemphasis = OFF)

Der Audio-Amplitudengang bis 15 kHz kann nacheinander separat für Eingangssignal L und Eingangssignal R gemessen werden. Alternativ kann der R&S®ETL automatisch zwischen den Kanälen umschalten. Hierzu wird unter „Signal Path“ L&R ausgewählt. Das Ergebnis wird in einem Diagramm mit zwei Traces dargestellt.

Nach IEC 244-13 ist die Preemphasis des Exciters einzuschalten und der Eingangspegel während der Messung konstant zu halten. Der Eingangspegel ist so zu wählen, dass der Frequenzhub bis 15 kHz den Spitzenhub nicht überschreitet.

Um bei einem Sender mit Nennfrequenzhub 40 kHz bei 6 dBu Eingangspegel einen Spitzenhub von 75 kHz nicht zu überschreiten ergibt sich rechnerisch ein max. Audioeingangspegel von: $20 \log \left(\frac{75}{40} \right) + 6 = 11,5 \text{ dBu}$. Bei eingeschalteter Preemphasis mit einer Zeitkonstante von 50 μs muss dieser für die Audiofrequenz 15 kHz um: $20 \log \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 15 \text{ kHz} \cdot 50 \mu\text{s})^2}} = 13,6 \text{ dBu}$ reduziert werden, hierdurch ergibt sich ein max. Audioeingangspegel von -2,1 dBu.

Der max. Audioeingangspegel für andere Senderkonfigurationen und Spitzenhübe sowie deren Berechnung kann im Anhang A nachgelesen werden.

Neben der Messung mit konstantem Pegel enthält nachfolgende Konfigurationstabelle auch die Einstellungen für eine Messung mit konstantem Frequenzhub. Als Bezugsfrequenz (Reference Frequenz) wird nachfolgend 500 Hz verwendet, in der Praxis kommt häufig auch 40 Hz als Bezugsfrequenz zum Einsatz.

Messablauf: Audio-Frequenzcharakteristik	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	
Variante 1: Mit konstantem Pegel (nach IEC 244-13)	Variante 2: Mit konstantem Frequenzhub
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup, siehe Abb. 27	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Output: Alternate L and R continuously: deaktivieren, siehe 3.3.2 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 75 kHz • Preemphasis Comp: entsprechend der Preemphasis am Sender einstellen
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Response Type: Amplitude (selective) • Ref Freq: z.B. 500 Hz • Sweep: Linear • Sweep Points: 100² • Start Freq: 40 Hz • Stop Freq: 15 kHz 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Diagram Range→Freq Response Range so einstellen, dass gesamter Frequenzgang gut sichtbar ist	
Abweichungen des Audio-Frequenzgangs in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 28) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, benötigt jedoch eine längere Messzeit.

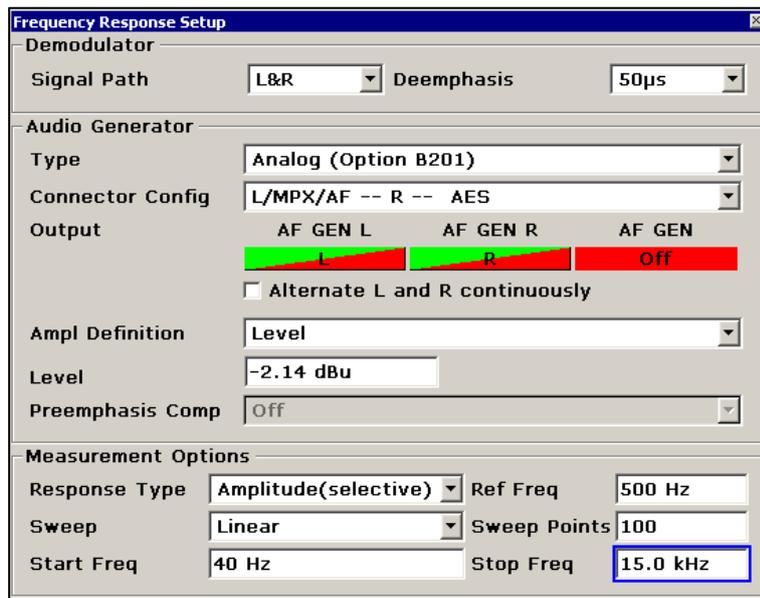


Abb. 27: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup: Konfiguration für die Messung des Audio-Amplitudenfrequenzgangs nach Variante 1

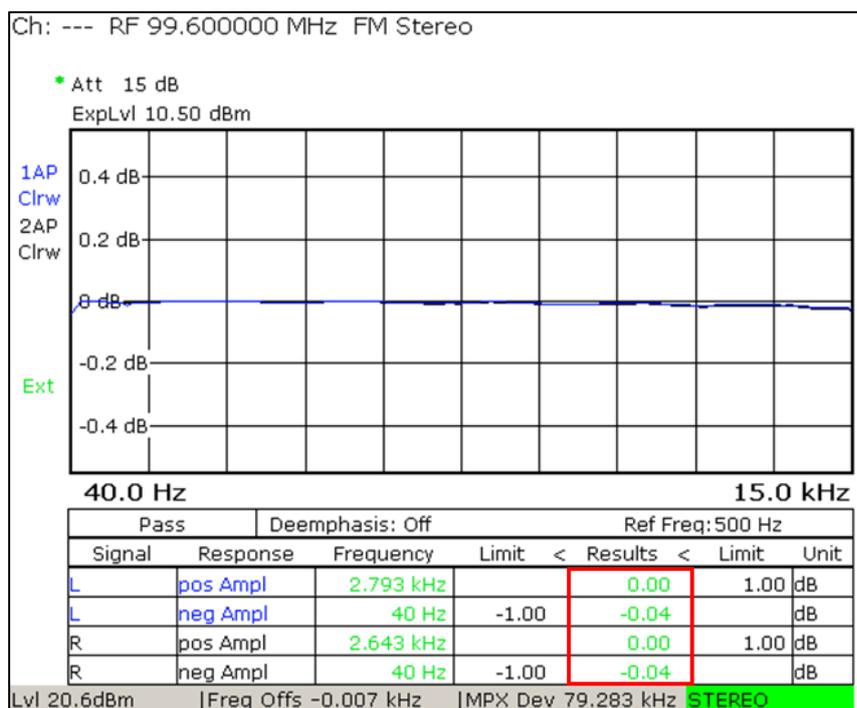


Abb. 28: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessener Audio-Frequenzgang nach Variante 2, maximale positive / negative Abweichung vom idealen Amplitudengang in der Tabelle

5.4.1.2 Basisband-Frequenzcharakteristik (bis 100 kHz)

Die Basisband-Frequenzcharakteristik wird auch als MPX-Amplitudengang bezeichnet und wird bis 100 kHz gemessen. Nach IEC 244-13 ist die Preemphasis des Exciters auszuschalten und der Eingangspegel während der Messung konstant zu halten.

Der R&S® ETL erlaubt sowohl die Eingabe des konstanten Audiopegels („Ampl Definition“ = „Level“) als auch alternativ die Eingabe des entsprechenden Frequenzhubs („Ampl Definition“ = „Desired DUT Deviation“).

Messablauf: Basisband-Frequenzcharakteristik	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf MPX einstellen	
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup, siehe Abb. 29:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX 	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. 6 dBu 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Response Type: Amplitude (selective) • Ref Freq: 500 Hz • Sweep: Linear • Sweep Points 100² • Start Freq: 10 Hz • Stop Freq: 100 kHz 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Diagram Range→Freq Response Range so einstellen, dass gesamter Frequenzgang gut sichtbar ist	
Abweichungen des Basisband-Frequenzgangs in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 30) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, erfordert jedoch eine längere Messzeit.

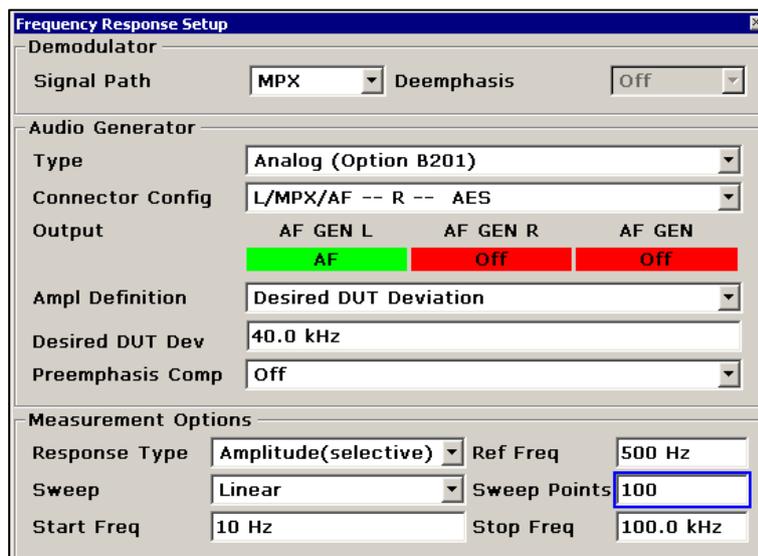


Abb. 29: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup: Konfiguration für Amplitudenfrequenzgangmessung bis 100 kHz

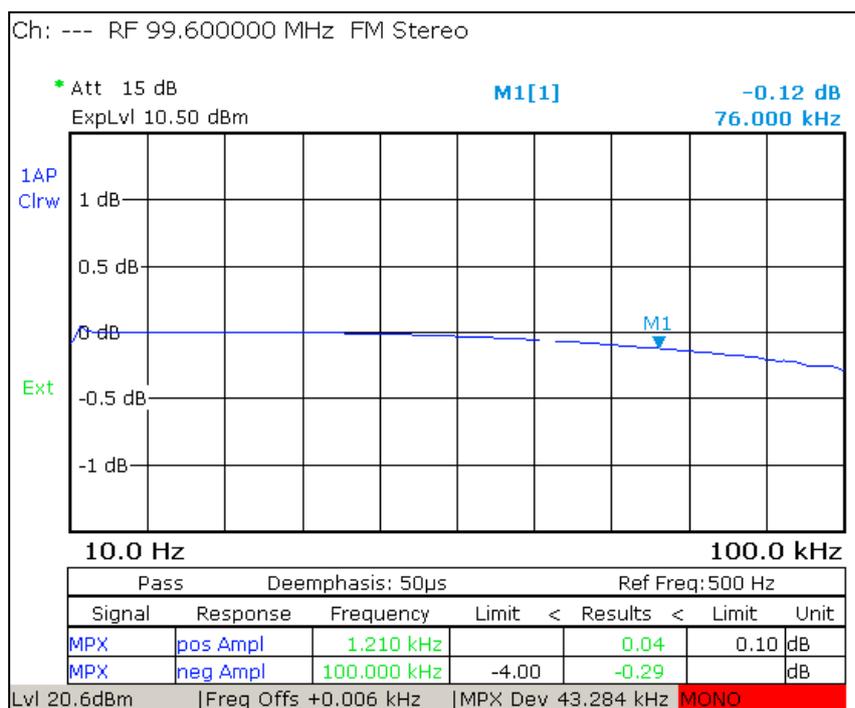


Abb. 30: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessener Frequenzgang mit MPX-Eingangssignal, maximale positive / negative Abweichung vom idealen Amplitudengang in der Tabelle¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.4.2 Phasengang

Der R&S® ETL erlaubt neben der Messung des Amplitudenfrequenzgangs auch die Messung des Phasenfrequenzgangs, wie sie z.B. in den TR „Stereocoder für das Pilottonverfahren“ (Nr. 5/3.2) und „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) gefordert wird. Gefordert wird die Messung des Phasengangs im Basisband (siehe 5.4.2.2).

Der Phasengang der Sender-Übertragungsfunktion beeinflusst das Übersprechen der Stereokanäle. In der Vergangenheit war die Messung des Phasenfrequenzgangs sehr aufwendig, weswegen man sich häufig auf die Messung der Auswirkung, nämlich des Übersprechens beschränkt hat. Der R&S® ETL erlaubt jedoch auf einfache Weise die direkte Messung des Phasengangs und ermöglicht hierdurch auch eine Analyse der Ursache für das Übersprechen.

In den TR ist angegeben, dass die Phasentoleranz mit einer Bezugsfrequenz von 500 Hz (bzw. 57 kHz für das RDS-Zusatzsignal) gemessen wird. Bei der Bezugsfrequenz von 500 Hz verursacht der Hochpass am Audioeingang des Senders auch bei sehr niedriger Eckfrequenz jedoch noch eine Rest-Phasenverschiebung, wodurch die gemessene Kurve eine fallende Tendenz aufweist (siehe Abb. 31, links) und die Grenzwerte bei hohen Frequenzen scheinbar nicht eingehalten werden. Zur Messung des Phasengangs wird in solchen Fällen eine höhere Bezugsfrequenz von z.B. 5 kHz empfohlen, die zu einem waagrechten Kurvenverlauf führt (siehe Abb. 31, rechts).

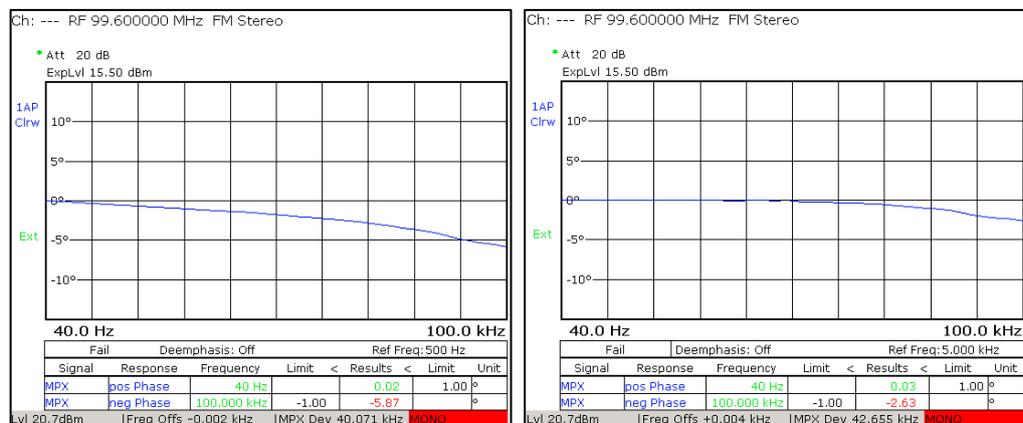


Abb. 31: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessener Phasengang bis 100 kHz mit der Bezugsfrequenz 500 Hz (links) bzw. mit der Bezugsfrequenz von 5 kHz (rechts)

Die Phase kann auch z.B. in L- und R-Signal gemessen werden (= Audio-Phasengang, siehe 5.4.2.1), dies ist in den TR „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) und „Stereocoder für das Pilottonverfahren“ (Nr. 5/3.2) nicht gefordert.

5.4.2.1 Audio-Phasengang

Messablauf: Audio-Phasengang	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	
Variante 1: Mit konstantem Pegel	Variante 2: Mit konstantem Frequenzhub
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Output: Alternate L and R continuously: deaktivieren, siehe 3.3.2 • Ampl Definition: Level • Level: z.B. -2,1 dBu (siehe Anhang A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: entsprechend der Preemphasis am Sender einstellen
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Response Type: Phase • Ref Freq: z.B. 5 kHz • Sweep: Linear • Sweep Points 100² • Start Freq: 40 Hz • Stop Freq: 15 kHz 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Diagram Range→Phase Range so einstellen, dass gesamter Phasengang gut sichtbar ist	
Abweichungen des Phasengangs in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 32) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, erfordert jedoch eine längere Messzeit.

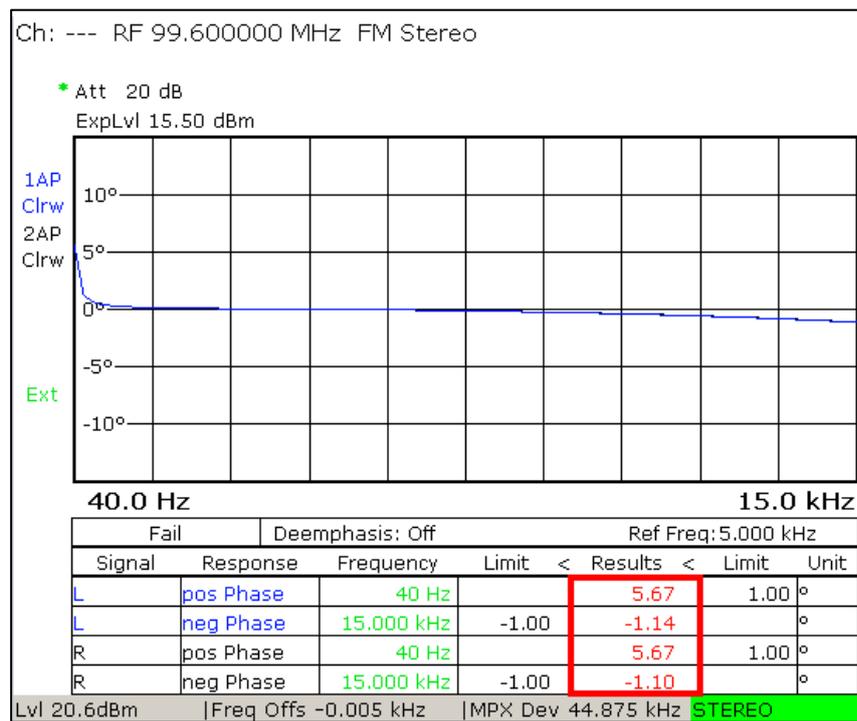


Abb. 32: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessener Phasengang von L&R-Signal mit Bezugsfrequenz 5 kHz, maximale positive / negative Abweichung vom idealen Phasengang in der Tabelle

5.4.2.2 Basisband-Phasengang

Messablauf: Basisband-Phasengang
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf MPX einstellen
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup:
<i>Demodulator:</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX
<i>Audio Generator:</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. 6 dBu (siehe Anhang A)
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off
<i>Measurement Options:</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Response Type: Phase • Ref Freq: z.B. 5 kHz • Sweep: Linear • Sweep Points 100² • Start Freq: 10 Hz • Stop Freq: 100 kHz
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Messung über RUN starten
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Diagram Range→Phase Range so einstellen, dass gesamter Phasengang gut sichtbar ist
Abweichungen des Phasengangs in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 33) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, erfordert jedoch eine längere Messzeit.

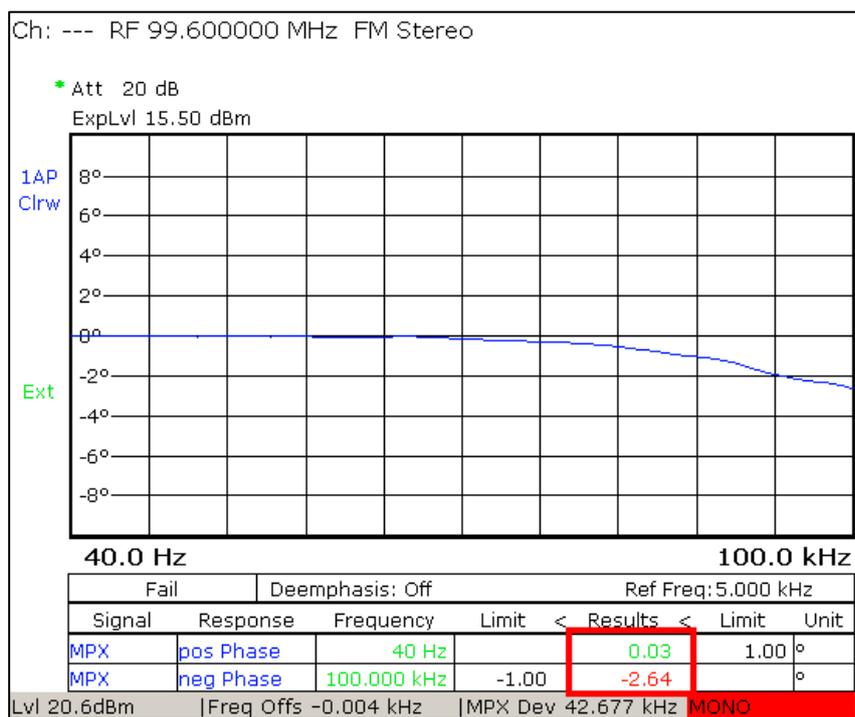


Abb. 33: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessener Phasengang von MPX-Signal bis 100 kHz mit der Bezugsfrequenz 5 kHz, maximale positive / negative Abweichung vom idealen Phasengang in der Tabelle¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.4.3 Balance

Die Differenz der Amplitudengänge von rechtem und linkem Kanal wird als Balance bezeichnet. Die einzelnen Frequenzgänge werden mit dem RMS-Detektor gemessen.

Messablauf: Balance	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	
Variante 1: Mit konstantem Pegel	Variante 2: Mit konstantem Frequenzhub
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup, siehe Abb. 34	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Output: Alternate L and R continuously: deaktivieren, siehe 3.3.2 • Ampl Definition: Level • Level: z.B. -2,1 dBu (siehe Anhang A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Entsprechend dem Sender einstellen
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Response Type: Balance (rms) • Sweep: Linear • Sweep Points 100² • Start Freq: 40 Hz • Stop Freq: 15 kHz 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Diagram Range→Freq Response Range so einstellen, dass gesamter Frequenzgang gut sichtbar ist	
Abweichungen der Balance in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 35) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

Wird als Audiogeneratortyp „MPX (Option B201)“ oder „Analog (1,L 2,R)“ verwendet, ist es möglich, die Balance M&S zu messen.

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, erfordert jedoch eine längere Messzeit.

Frequency Response Setup

Demodulator
Signal Path: L&R Deemphasis: Off

Audio Generator
Type: Analog (Option B201)
Connector Config: L/MPX/AF -- R -- AES
Output: AF GEN L (L), AF GEN R (R), AF GEN (Off)
 Alternate L and R continuously

Ampl Definition: Desired DUT Deviation
Desired DUT Dev: 40.0 kHz
Preemphasis Comp: 50 µs

Measurement Options
Response Type: Balance(rms)
Sweep: Linear Sweep Points: 100
Start Freq: 40 Hz Stop Freq: 15.0 kHz

Abb. 34: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup: Konfiguration für Balance Messung

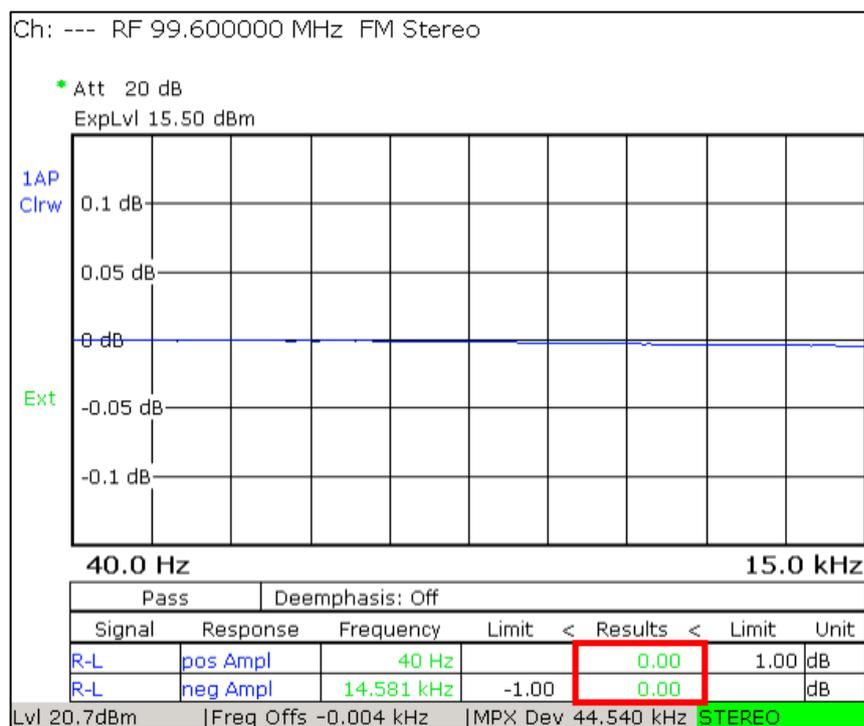


Abb. 35: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Gemessene Balance, maximale positive / negative Abweichung in der Tabelle

5.5 Stereoübersprechen (Crosstalk)

Die unerwünschte Übertragung des L- und R-Signals in den jeweils anderen Kanal bezeichnet man als Stereoübersprechen. Bei der Messung wird zuerst ein Eingangssignal L eingespeist und der Frequenzhub im R-Signal gemessen, anschließend wird ein Eingangssignal R eingespeist und der Frequenzhub im L-Signal gemessen.

Für die Messung des Stereoübersprechens bietet der R&S® ETL entsprechend IEC 244-13 drei Möglichkeiten, die im „Crosstalk Setup“ unter „Crosstalk Type“ (siehe Abb. 36) ausgewählt werden können:

- **Linear:**
Bei linearem Übersprechen wird aus Effektivwert des Modulationssignals am Ausgang des modulierten Kanals und Effektivwert der Grundwelle am Ausgang des unmodulierten Kanals das Verhältnis gebildet und in dB angegeben.
Ist also zum Beispiel die Amplitude des R-Signals im M- und S-Signal ungleich (= Lineare Verzerrung), so löscht sich der Anteil des R-Signals durch die Bildung von $L=M+S$ nicht mehr vollständig aus. Die durch die Ungleichheit des R-Signals zurückbleibenden Anteile im L-Signal sind durch lineares Übersprechen entstanden.
- **Nonlinear:**
Beim nichtlinearen Übersprechen werden Oberwellen vom Summensignal M im Differenzsignal S (Klirrdämpfung) und Intermodulation vom Differenzsignal S im Summensignal M (Differenztondämpfung) gemessen (= Nichtlineare Verzerrungen). Außerdem wird durch das Messprinzip Rauschen mitgemessen.
- **Linear and Nonlinear combined:**
Ist die Summe aus linearem und nichtlinearem Übersprechen, diese wird auch als Übersprechdämpfung oder stereofone Kanaltrennung bezeichnet.

Sinnvoll nach IEC 244-13 ist, entweder das lineare und nichtlineare Übersprechen kombiniert (Linear and Nonlinear combined) oder separat als lineares Übersprechen und nichtlineares Übersprechen zu messen.

Für das Messen des Übersprechens auf den SCA-Kanal bietet der R&S® ETL die Möglichkeit als „Reference“ (Ref Dev) einen fiktiven Kanal zu verwenden.

Nach IEC 244-13 soll Stereoübersprechen mit eingeschalteter Preemphasis und mit konstantem Frequenzhub gemessen werden, dies kann sich mit herkömmlichen Messmitteln als sehr aufwendig herausstellen, da der Audiopegel für jede Frequenz neu berechnet und eingegeben werden muss. Der R&S® ETL nimmt diesen Aufwand ab, hierzu muss „Desired DUT Deviation“ ausgewählt werden und „Preemphasis Comp“ aktiviert werden (siehe Variante 1).

Statt mit konstantem Frequenzhub wurde bisher, aufgrund des hohen Aufwands, häufig mit konstantem Pegel gemessen. Die Konfiguration hierfür zeigt Variante 2.

Messablauf: Stereoübersprechen	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten	
Variante 1: Mit konstantem Frequenzhub (nach IEC 244-13)	Variante 2: Mit konstantem Pegel
MEAS→Audio Analysis→Crosstalk→Crosstalk Setup, siehe Abb. 36:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Off 	<ul style="list-style-type: none"> • Deemphasis: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Output: Alternate L and R continuously: deaktivieren, siehe 3.3.2 • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 75 kHz • Preemphasis Comp: Entsprechend dem Sender einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. -2,1 dBu (siehe Anhang A)
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Crosstalk Type: Linear and Nonlinear combined • Reference: R&L • Sweep: Linear • Sweep Points 100² • Start Freq: 10 Hz • Stop Freq: 15 kHz 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
Falls notwendig, über MEAS→Audio Analysis→Crosstalk→Diagram Range→Crosstalk Range und Ref Position so einstellen, dass Verlauf gut sichtbar ist	
Stereoübersprechen in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 37) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

Soll das Übersprechen von M-Kanal und S-Kanal gemessen werden, müssen hierzu die Schnittstellen 1/L und 2/R verwendet werden und im „Audio Generator Setup“ unter Type „Analog (1/L, 2/R)“ ausgewählt werden. Anschließend steht im „Crosstalk Setup“ unter „Signal Path“ die Auswahlmöglichkeiten M, S bzw. M&S zur Verfügung.

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Eine Erhöhung der Sweep Points führt zu einer höheren Auflösung, erfordert jedoch eine längere Messzeit.

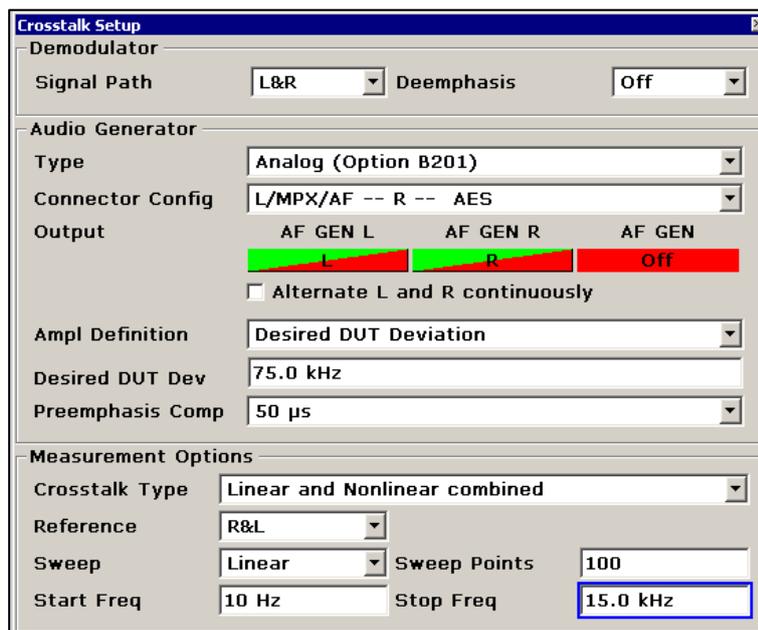


Abb. 36: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Crosstalk→Crosstalk Setup: Konfiguration der Messung für Stereoübersprechen nach Variante 1

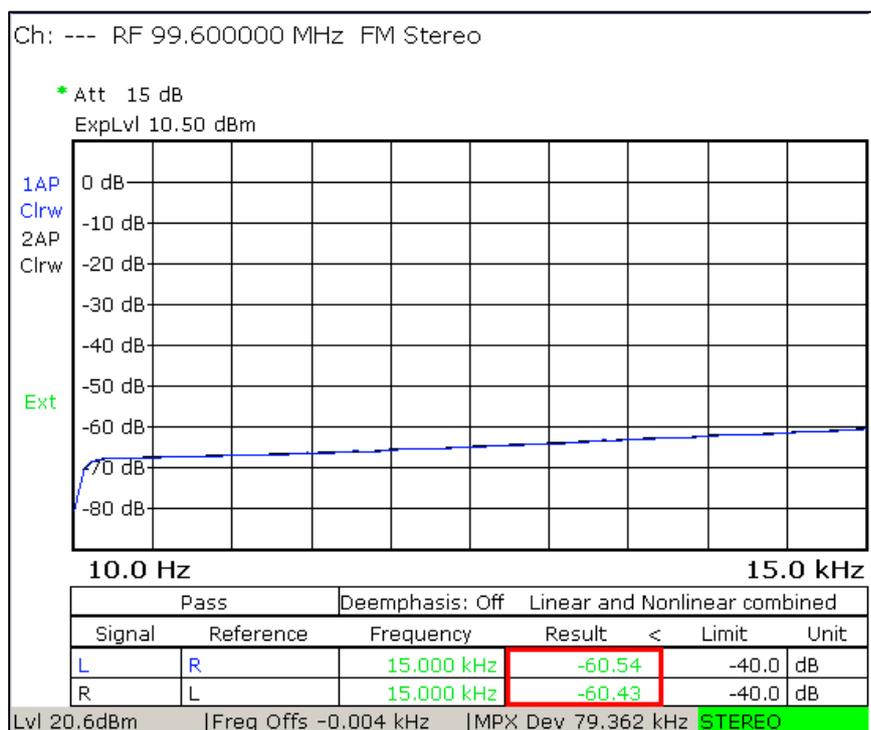


Abb. 37: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Crosstalk: Gemessenes Stereoübersprechen, max. Wert in der Tabelle

5.6 Nichtlineare Verzerrungen

5.6.1 Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion – THD)

Der Klirrfaktor ist ein Maß für nichtlineare Verzerrungen, er gibt an welchen Anteil die unerwünschten Harmonischen am Gesamtsignal haben und wird in % oder dB angegeben. Laut IEC 244-13 werden hierzu die Effektivwerte aller Harmonischen (d_2, d_3, \dots) ins Verhältnis zur Summe aus Effektivwert der Grundschwingung und Effektivwerte aller Harmonischen gesetzt:

$$\begin{aligned} THD_{Definition\ 1} &= \sqrt{\frac{U_{eff_d2}^2 + U_{eff_d3}^2 + \dots + U_{eff_dn}^2}{U_{eff_f1}^2 + U_{eff_d2}^2 + U_{eff_d3}^2 + \dots + U_{eff_dn}^2}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum(U_{eff_Harmonic})^2}{U_{eff_f1}^2 + \sum(U_{eff_Harmonic})^2}} \end{aligned}$$

Neben dieser Definition existiert eine weitere Definition, wonach die Effektivwerte aller Harmonischen (d_2, d_3, \dots) ins Verhältnis zum Effektivwert der Grundschwingung gesetzt werden:

$$THD_{Definition\ 2} = \sqrt{\frac{U_{eff_d2}^2 + U_{eff_d3}^2 + \dots + U_{eff_dn}^2}{U_{eff_f1}^2}}$$

Die Implementierung im R&S® ETL entspricht, wie auch die der meisten Audioanalyser, der Definition 1. Bei den in der Praxis vorkommenden Verzerrungen, liefern beide Definitionen gleiche Ergebnisse.

Die Spannungen der Oberwellen, und dadurch ihr Einfluss auf die gesamte harmonische Verzerrung, werden mit zunehmender Ordnung geringer.

Für die Messung der gesamten harmonischen Verzerrung bietet der R&S® ETL zwei Messwerte, die im Ergebnisbildschirm dargestellt werden:

- THD: Für die Summe der Harmonischen werden die ersten acht Harmonischen (d_2 - d_9) selektiv gemessen und addiert.
- THD+N (Total Harmonic Distortion + Noise): Für die Summe der Harmonischen werden nicht die einzelnen Oberwellen selektiv gemessen, stattdessen wird die gesamte Effektivspannung nach der unterdrückten Grundschwingung bis zur Cut-off-Frequenz (15 kHz) als Summe für die Harmonischen verwendet. Hierdurch werden alle Harmonischen bis zur Cut-off-Frequenz erfasst, jedoch werden auch andere Störungen wie z.B. Rauschen und Intermodulation (ähnlich wie beim nichtlinearen Stereoübersprechen, siehe 5.5) mitgemessen.

5.6.1.1 THD - Audio

Nach IEC 244-13 soll das Klirren mit eingeschalteter Preemphasis gemessen werden. Die Eingangsfrequenz soll zwischen 40 Hz und 7,5 kHz variiert werden. Der Frequenzhub soll für die verschiedenen Eingangsfrequenzen konstant gehalten werden, die aufgrund der eingeschalteten Preemphasis hierfür notwendige aufwendige Pegelberechnung wird vom R&S[®] ETL übernommen. Durch die Verwendung von „Desired DUT Deviation“ und „Preemphasis Comp“ kann der gewünschte Frequenzhub direkt eingegeben werden.

Messablauf: THD - Audio
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S [®] ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten
MEAS→Audio Analysis→THD→THD Setup:
<i>Demodulator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Output: Alternate L and R continuously: deaktivieren, siehe 3.2.3 • Freq: z.B. nacheinander 40 Hz, 500 Hz, 5 kHz und 7,5 kHz einstellen • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: entsprechend der Preemphasis am Sender einstellen
<i>Measurement Options:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Unit: dB oder %²
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Messung über RUN starten
MEAS→Audio Analysis→THD→Diagram Range→Auto Range
THD Werte in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 38) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Je nach gewünschter Darstellung der Ergebnisse.

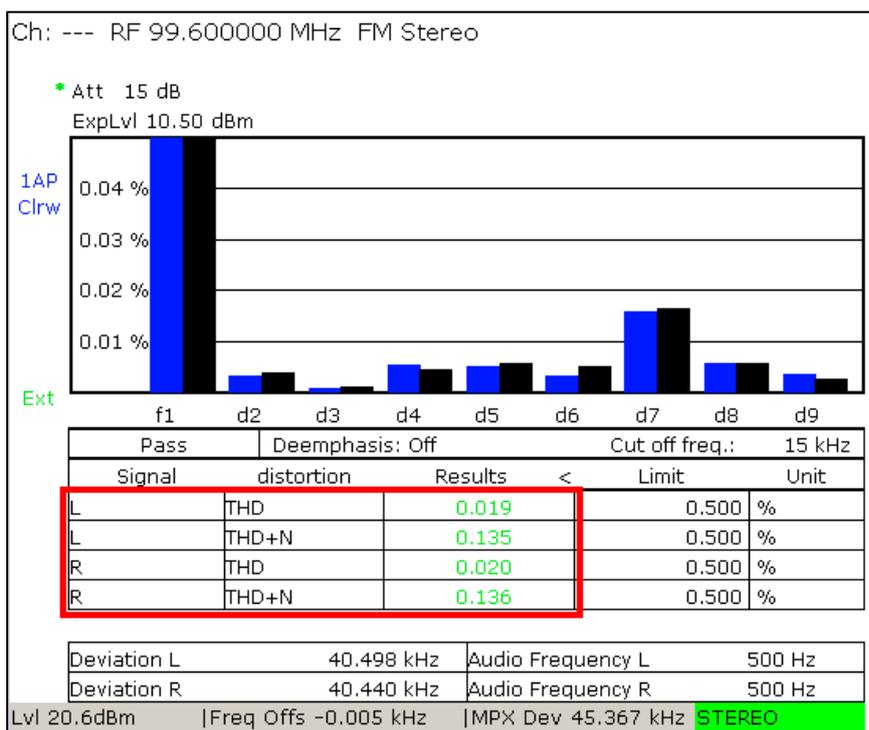


Abb. 38: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→THD: Klirrfaktormessung bei 500 Hz

5.6.1.2 THD – Basisband

Nach der TR „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) erfolgt die Messung ohne Stereocoder und –decoder.

Messablauf: THD – Basisband	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf MPX einstellen	
MEAS→Audio Analysis→THD→THD Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX 	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Freq: auf ausgewählte Frequenzen einstellen 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 75 kHz • Preemphasis Comp: Entsprechend dem Sender einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. -2,1 dBu (siehe Anhang A)
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Unit: dB oder %² 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
MEAS→Audio Analysis→THD→Diagram Range→Auto Range	
THD Wert in der Ergebnistabelle ablesen und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

² Je nach gewünschter Darstellung der Ergebnisse.

5.6.2 Zweitonfaktor (Dual Frequency Distortion – DFD)

Der Zweitonfaktor ist ein Maß für unerwünschte nichtlineare Verzerrungen zweiter und dritter Ordnung und wird als Verhältnis in % oder dB angegeben. Die Messung beruht auf dem Verfahren, zwei Signale f_1 und f_2 gleicher Amplitude mit einem Frequenzabstand von 1 kHz zu verwenden. Hierdurch kommt es zu quadratischen Verzerrungen (2. Ordnung) als Differenz- ($f_2 - f_1 = 1$ kHz) und Summenton ($f_1 + f_2$). Von Bedeutung sind neben den Produkten der zweiten Ordnung (abhängig von der Messvorschrift $d_2 = f_1 - f_2$ oder $d_2 = f_1 - f_2$ & $f_1 + f_2$) auch die Intermodulationsprodukte dritter Ordnung ($d_3 = 2f_2 - f_1$ & $2f_1 - f_2$):

$$d_2(F_2 - F_1) = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{eff}(F_2 - F_1)}{U_{eff}(F_1) + U_{eff}(F_2)} \right)$$

$$d_2(F_2 - F_1 \text{ \& } F_2 + F_1) = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{eff}(F_2 - F_1) + U_{eff}(F_2 + F_1)}{U_{eff}(F_1) + U_{eff}(F_2)} \right)$$

$$d_3(2F_2 - F_1 \text{ \& } 2F_1 - F_1) = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{eff}(2F_2 - F_1) + U_{eff}(2F_1 - F_1)}{U_{eff}(F_1) + U_{eff}(F_2)} \right)$$

5.6.2.1 Audiointermodulation

Nach IEC 244-13 ist die Preemphasis des Exciters einzuschalten, die Eingangsfrequenzen zu variieren und die Eingangspegel der Signale so zu wählen, dass die Signalkomponenten den gleichen Hub erzeugen. Die Eingabe der einzelnen Signalpegel des Zweitonsignals ist am R&S[®]ETL nicht notwendig, die Signalpegel werden automatisch so eingestellt, dass diese zusammen den gewünschten eingegebenen Frequenzhub bzw. Pegel ergeben und jede Signalkomponente den gleichen Frequenzhub erzeugt.

Im Gegensatz zur IEC 244-13 (nachfolgend Variante 1) wird in der TR „Stereocoder für das Pilottonverfahren“ (Nr. 5/3.2) gefordert, dass die Messung ohne Preemphasis und Deemphasis erfolgt (nachfolgend Variante 2).

Zu beachten ist, dass bei der Messung der Audiointermodulation (Signal-Path: L&R) die Obere Grenzfrequenz (Cut-off-Frequency) bei 15 kHz liegt. Intermodulationseinflüsse, die oberhalb dieser „Cut-off-Frequency“ auftreten werden nicht berücksichtigt. Die gemessenen Intermodulationsprodukte in dB beziehen sich auf den gemessenen Frequenzhub von $\frac{f_1 + f_2}{2}$.

Messablauf: Audiointermodulation	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Variante 1: Preemphasis eingeschalten (nach IEC 244-13)	Variante 2: Preemphasis ausgeschalten (nach TR 5/3.2)
Sendereingang auf AF Stereo einstellen	
Am Sender die Preemphasis einschalten	Am Sender die Preemphasis ausschalten
MEAS→Audio Analysis→DFD→DFD Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L&R • Deemphasis: Off 	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Dual Tone, constant spacing • Upper Freq: z.B. 6 kHz • Freq Spacing 1 kHz • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz 	
<ul style="list-style-type: none"> • Preemphasis Comp: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Preemphasis Comp: Off
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Unit: dB oder % 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
Intermodulationsprodukte (d_2 und d_3) in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 39) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

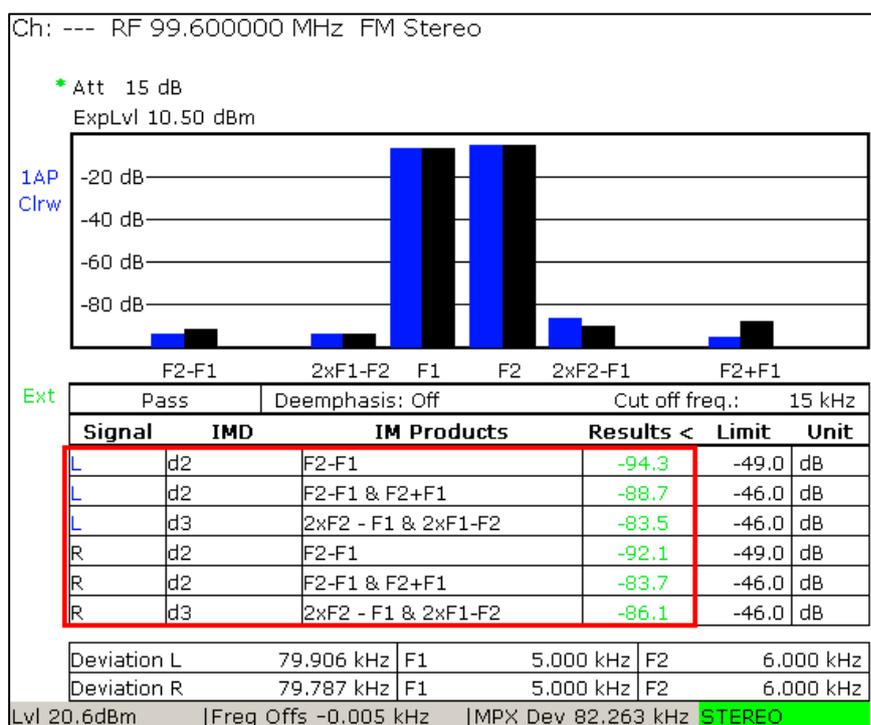


Abb. 39: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→DFD: Messung Zweitonfaktor mit Upper Frequency (f_2) 6 kHz

5.6.2.2 Intermodulation im Basisband (bis 100 kHz)

Nach IEC 244-13 ist die Preemphasis des Exciters auszuschalten, die Eingangsfrequenzen zu variieren und die Eingangspegel der Signale so zu wählen, dass die Signalkomponenten die gleiche Amplitude aufweisen. Die Eingabe der einzelnen Signalpegel des Zweitonsignals ist am R&S® ETL nicht notwendig, die Signalpegel werden automatisch so eingestellt, dass diese zusammen den gewünschten eingegebenen Frequenzhub bzw. Pegel ergeben und jede Signalkomponente den gleichen Frequenzhub erzeugt. Der Hub für die verschiedenen Eingangsfrequenzen soll konstant gehalten werden. Der R&S® ETL erlaubt sowohl die Eingabe des Audiopegels als auch alternativ die Eingabe des entsprechenden Frequenzhubs, beide Konfigurationen führen zum gleichen Ergebnis.

Nach der TR „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) soll im Frequenzbereich von 15 kHz bis 76 kHz gemessen werden.

Zu beachten ist, dass bei der Messung der Intermodulation im Basisband (Signal-Path: MPX) die obere Grenzfrequenz („Cut-off-Frequency“) bei 100 kHz liegt. Intermodulationsprodukte, die oberhalb dieser „Cut-off-Frequency“ auftreten werden nicht berücksichtigt. Die gemessenen Intermodulationsprodukte in dB beziehen sich auf den gemessenen Frequenzhub von $\frac{f_1 + f_2}{2}$.

Messablauf: Intermodulation im Basisband	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf MPX einstellen	
MEAS→Audio Analysis→DFD→DFD Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX • Deemphasis: Off 	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Dual Tone, constant spacing • Upper Freq: z.B. 16 kHz, 26 kHz, 41 kHz, 51 kHz, 76 kHz • Freq Spacing 1 kHz 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. 6 dBu 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Unit: dB oder % 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Messung über RUN starten	
Intermodulationsprodukte (d_2 und d_3) in der Ergebnistabelle ablesen (siehe Abb. 40) und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

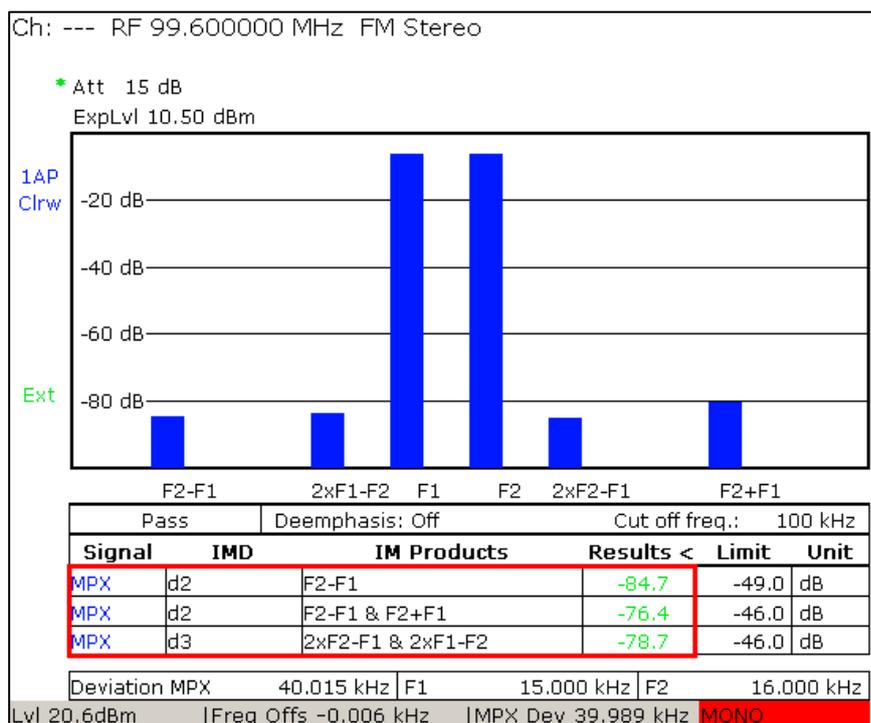


Abb. 40: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→DFD: Messung Zweitonfaktor mit Upper Frequency (f_2) 16 kHz¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.6.2.3 Intermodulation bei 57 kHz

In den TR „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) und „UKW-FM-Ballempfänger“ (Nr. 5/3.5) erfolgt die Messung der Intermodulation mit den Eingangssignalfrequenzpaaren 6,2 kHz und 31,6 kHz sowie 9,3 kHz und 47,7 kHz. Hierbei sollen die Intermodulationsprodukte bei 57 kHz analysiert werden:

$$f_1 = 6,2 \text{ kHz}, f_2 = 31,6 \text{ kHz}: d_3 = 2 \cdot f_2 - f_1 = 57 \text{ kHz}$$

$$f_1 = 9,3 \text{ kHz}, f_2 = 47,7 \text{ kHz}: d_2 = f_1 + f_2 = 57 \text{ kHz}$$

In den Richtlinien wird ein Frequenzhub von je $\pm 22,5$ kHz bzw. ± 10 kHz gefordert. Da am R&S® ETL der Gesamtfrequenzhub eingegeben wird, muss hier also 45 kHz bzw. 20 kHz eingegeben werden. Die TR 5/3.1 definiert, dass die Intermodulationsprodukte auf einen rechnerischen Frequenzhub von 40 kHz Hub bezogen werden. Da es sich bei den Bezug auf einen rechnerischen Frequenzhub um einen Sonderfall handelt, werden die Intermodulationsprodukte nicht mit der DFD-Funktion (bei welcher die Intermodulationsprodukte auf den gemessenen Frequenzhub bezogen werden) des R&S® ETLs gemessen, sondern im Audio Spektrum.

Messablauf: Intermodulation bei 57 kHz									
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3									
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen									
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen									
Sendereingang auf MPX einstellen									
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Spectrum Setup: <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX 									
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Generator→Audio Generator Setup <ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: AF • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Dual Tone independent frequencies • Freq 1: 6,2 kHz bzw. 9,3 kHz • Freq 2: 31,6 kHz bzw. 47,7 kHz • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 20 kHz bzw. 45 kHz • Preemphasis Comp: Off 									
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen									
MKR→Marker 1: 57 kHz									
TRACE→Trace Mode: Average									
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Diagram Range→Ref Deviation: 40 kHz									
<table border="1"> <tr> <td>THD MPX</td> <td>-79.1 dB</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lvl 20.7dBm</td> <td> Freq Offs +0.007 kHz</td> <td> MPX Dev 45.054 kHz</td> <td>MONO</td> </tr> </table>		THD MPX	-79.1 dB			Lvl 20.7dBm	Freq Offs +0.007 kHz	MPX Dev 45.054 kHz	MONO
THD MPX	-79.1 dB								
Lvl 20.7dBm	Freq Offs +0.007 kHz	MPX Dev 45.054 kHz	MONO						
Abb. 41, ablesen und Messbildschirm bei Bedarf mit PRINT ausdrucken.									

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

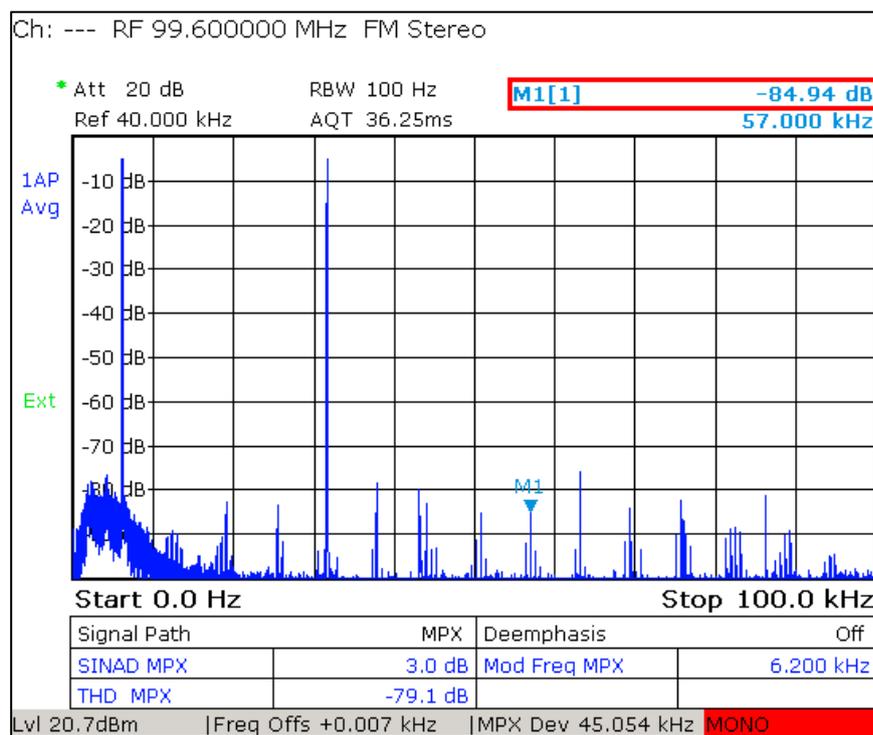


Abb. 41: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum: Messung Intermodulationsprodukte bei 57 kHz mit Markerfunktion (oben rechts)¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.7 Störmodulation – S/N

Bei der Störmodulation wird zwischen Störfrequenzmodulation und Störamplitudenmodulation unterschieden. Je größer der S/N Wert desto besser ist die Qualität des Signals. Die Störmodulation ist definiert als das Verhältnis von Audiosignal (Nutzsignal) zu Rauschen und wird in dB angegeben:

$$\frac{S}{N} = 20 \log \frac{U_{\text{Signal}}}{U_{\text{Rauschen}}}$$

5.7.1 Störfrequenzmodulation

5.7.1.1 Unbewertete und bewertete Störspannung

Nach der IEC 244-13 wird die unbewertete und die bewertete Störspannung mit QPK Detektor gemessen. Bei der bewerteten Störspannungsmessung kommt zusätzlich der Filter nach ITU-R BS.468-4 zur Anwendung. Dieser berücksichtigt die ohrphysiologische Wirkung von Störungen und bildet diese messtechnisch möglichst gut ab. Neben dem QPK Detektor, welcher ebenfalls die ohrphysiologische Wirkung berücksichtigt, bietet der R&S[®]ETL auch die Messung mit einem RMS Detektor an. Welcher Detektor zur Messung verwendet wird, ist in der Messvorschrift vorgegeben.

Mit welchem Frequenzhub das Signal erzeugt werden soll, ist bei der Messung des Störabstandes in der Messvorschrift angegeben. Damit ist die Signalamplitude (U_{Signal}) vorgegeben und braucht nicht gesondert gemessen zu werden, die Messung des Störhubs (U_{Rauschen}) ist ausreichend. Eine Messung der Signalamplitude würde dazu führen, dass das Ergebnis überbestimmt ist.

Beim R&S[®]ETL wird U_{Signal} über die Eingaben der „DUT Parameters“ (siehe 3.1.5) und des Bezugshubs (Frequenzhub aus der Messvorschrift) berechnet. Bei der Eingabe der „Deviation“ unter „DUT Parameters“ ist darauf zu achten, dass am R&S[®]ETL stets der Spitzenhub eingegeben wird. Durch die zuvor durchgeführte Überprüfung der Modulatorkonstante des Senders (siehe 5.3) ist sichergestellt, dass eine Messung von U_{Signal} zu dem gleichen Wert wie rechnerisch bestimmt führt.

Wird die FM-Störleistung mit dem R&S[®]ETL für die Kanäle L und R kombiniert gemessen (Signal Path: L&R), muss ausgewählt werden, ob die Messung bewertet oder unbewertet („Weighting Filter ITU-R BS.468-4“) durchgeführt werden soll. Werden die Kanäle nacheinander gemessen (Signal Path: L bzw. Signal Path: R) werden stets beide Werte angezeigt.

Nachfolgend werden beispielhaft die Einstellungen zur Messung für den linken Kanal angegeben.

Messablauf: Unbewertete und bewertete Störspannung
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis einschalten
MEAS→Audio Analysis→ S/N→S/N Setup, siehe Abb. 42:
<i>Demodulator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L • Deemphasis: Entsprechend der Preemphasis des Senders einstellen
<i>Audio Generator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal: Off • Konfiguration des Signals (u.a. Waveform, Ampl Definition) ist nicht notwendig, da Signal nicht gemessen wird
<i>Measurement Options:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Ref Deviation: Frequenzhub des Bezugsaudiosignals z.B. 40 kHz
MEAS→Audio Analysis→S/N: Messwerte ablesen, siehe Abb. 43

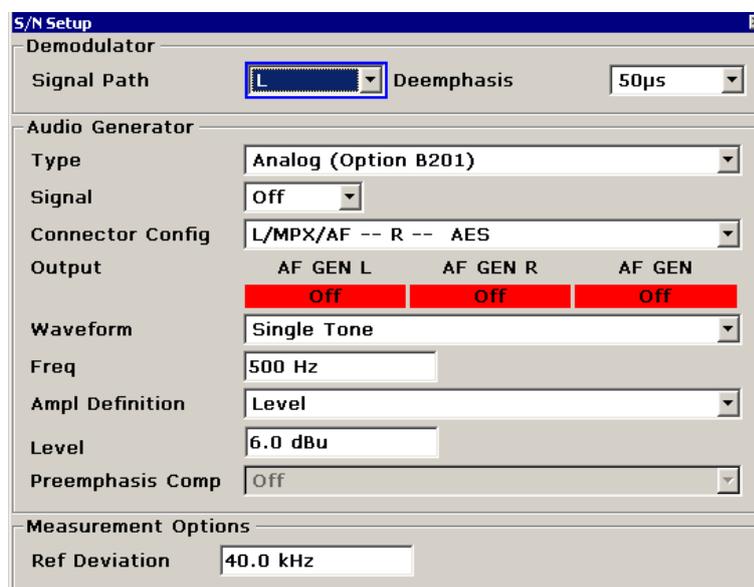


Abb. 42: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→S/N→S/N Setup: Konfiguration für die Messung der Störfrequenzmodulation

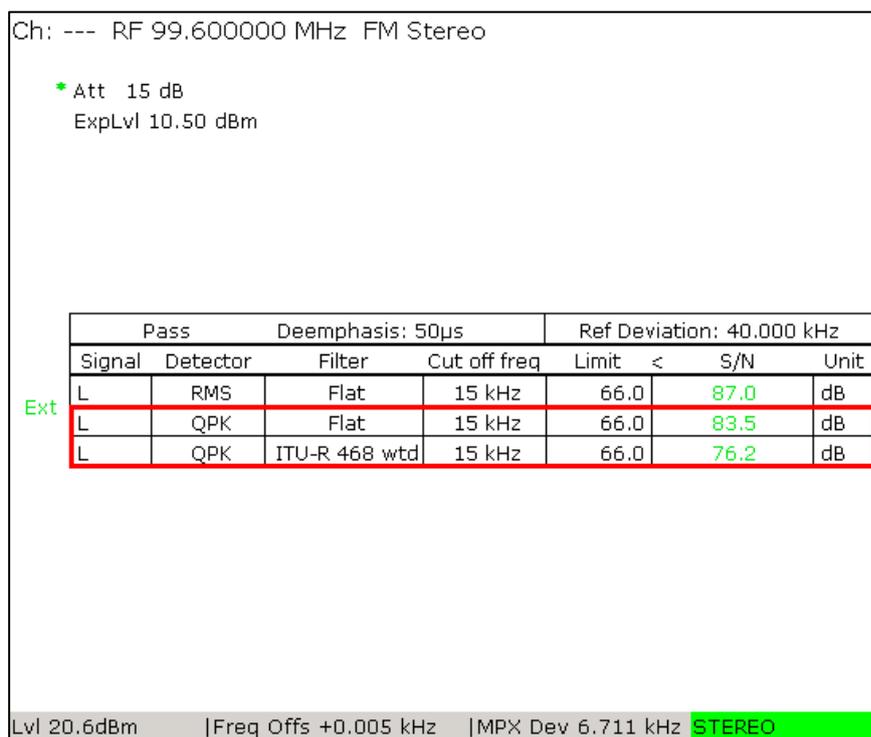


Abb. 43: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→S/N: Unbewerteter und bewerteter Störabstand des L-Kanals in der 2./3. Zeile

5.7.1.2 Selektive Störspannung

Die selektive Störspannung (auch periodisches Rauschen) erfasst alle diskreten unerwünschten Störfrequenzen im Audiofrequenzband und ist das Verhältnis in dB zwischen einer unerwünschten Komponente und einem Bezugspegel bzw. Bezugshub.

Neben der manuellen Untersuchung im Spektrum mit Markern, unterstützt der R&S® ETL auch das automatische Erstellen einer Liste aller Peaks. Hierbei können zusätzlich bestimmte Bedingungen (z.B. Frequenz oberhalb 150 Hz oder Peak > -80 dB) eingestellt werden. Die Liste kann wahlweise nach Frequenz oder Level sortiert werden.

Messablauf: Selektive Störspannung
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf MPX einstellen
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Spectrum Setup: <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Generator→Audio Generator Setup: <ul style="list-style-type: none"> • Signal: Off • Konfiguration des Signals (u.a. Waveform, Ampl Definition) ist nicht notwendig, da Signal nicht gemessen wird
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio BW: 20 Hz
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Diagram Range→Ref Deviation: z.B. 40 kHz
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Diagram Range→Ref Position: so einstellen, dass Signal gut sichtbar ist, z.B. 130%
TRACE→Trace Mode→Average
MKR→More→Marker Peak List
MKR→More→Marker Peak List→Left Limit: z.B. 150 Hz
MKR→More→Marker Peak List→Threshold: z.B. 80 dB
MKR→More→Marker Peak List
Gemessene Peakwerte, siehe Abb. 44, ablesen und Messbildschirm, siehe Abb. 45, bei Bedarf mit PRINT ausdrucken.

Peak List (2 entries)		
#	Frequency	Level
1	43.201 kHz	-89.723 dB
2	86.602 kHz	-103.824 dB

Abb. 44: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum: Liste der selektiven Störspannungen (Peak List: MKR→More→Marker Peak List) größer als -105 dB (rechts)

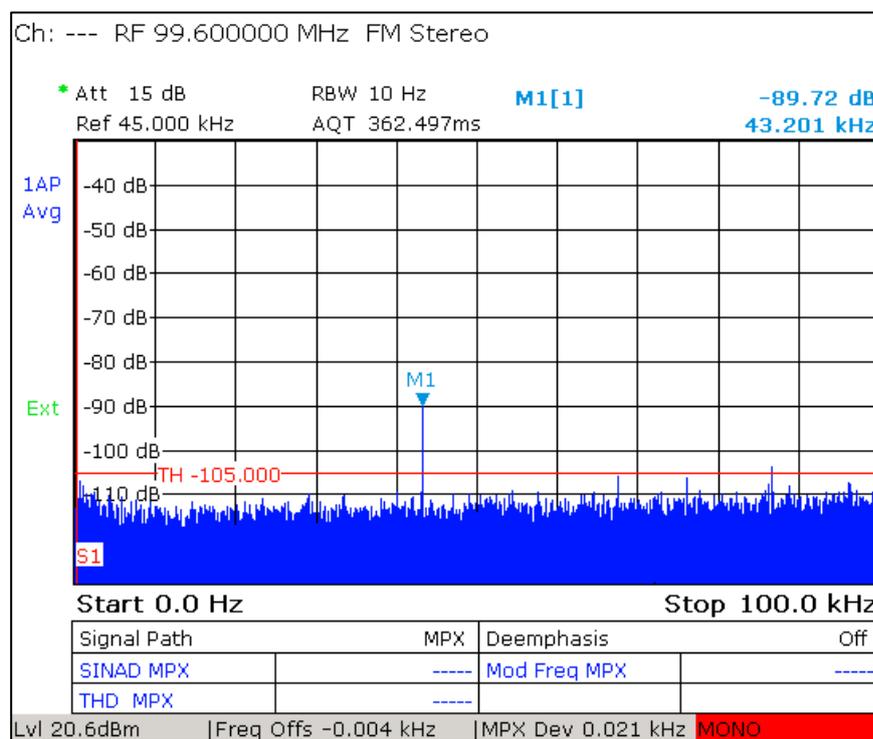


Abb. 45: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum: Selektiven Störspannung im Spektrum mit Limit größer als -105 dB

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.7.2 Störampplitudenmodulation

Die Konfiguration für die Messung der Störampplitudenmodulation ist von den Messvorschriften abhängig. Nach IEC 244-13 erfolgt die Messung mit einem PK Detektor und ohne Bandbegrenzung. Nach ETSI EN 302 018-1 erfolgt die Messung ebenfalls mit PK Detektor, jedoch mit Bandbegrenzung auf 20 kHz. Nach TR 5/3.1 wird die Messung mit und ohne Bewertungsfilter nach ITU-R 468 wtd mit QPK Detektor und mit Bandbegrenzung auf 20 kHz durchgeführt. Der R&S® ETL unterstützt jede dieser vier Konfigurationen.

Die Störampplitudenmodulationsmessung wird ohne FM-Modulation gemessen hierbei wird immer eine Modulationstiefe (Mod Depth) von 100% als Referenz angenommen.

5.7.2.1 Störampplitudenmodulation ohne Eingangssignal

Bei der Störampplitudenmodulation wird die Spitzenspannung am Ausgang eines linearen Hüllkurvendetektors ohne Modulationssignal gemessen, das Ergebnis wird in % der Gleichstromkomponente des Hüllkurvendetektorausgangs angegeben.

Messablauf: Störampplitudenmodulation ohne Eingangssignal
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf MPX einstellen
MEAS→Audio Analysis→ S/N→S/N Setup:
<i>Demodulator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: AM • Deemphasis: Off
<i>Audio Generator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal: Off • Konfiguration des Signals (u.a. Waveform, Ampl Definition) ist nicht notwendig, da Signal ausgeschaltet
<i>Measurement Options:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Ref Mod Depth: Ist fix auf 100 % eingestellt
MEAS→Audio Analysis→S/N: Messwerte ablesen, siehe Abb. 46

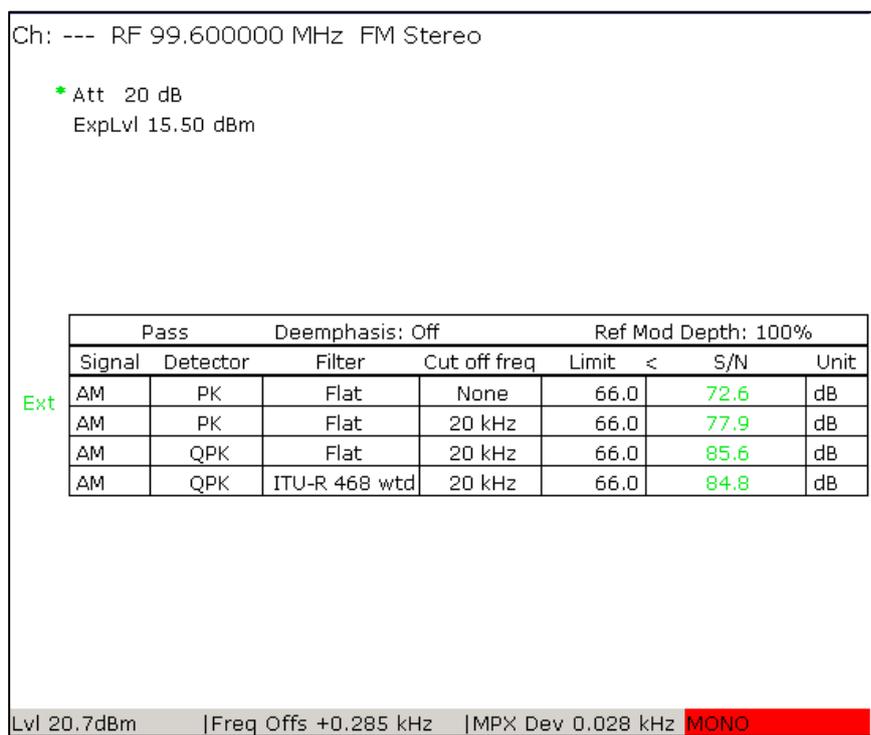


Abb. 46: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→S/N: Störampplitudenmodulation nach IEC 244-13 in Zeile 1, nach ETSI EN 302 018-1 in Zeile 2 und nach TR 5/3.1 mit und ohne Bewertungsfiler in Zeile 3/4¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.7.2.2 Synchrone Amplitudenmodulation

Die synchrone Amplitudenmodulation wird mit FM-Modulation gemessen. Sie ist ein Maß für die FM-AM Konversion, z.B. durch RF-Frequenzgang im Sender.

Messablauf: Synchrone Amplitudenmodulation	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf MPX einstellen	
MEAS→Audio Analysis→ S/N→S/N Setup:	
<i>Demodulator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: AM • Deemphasis: Off 	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: AF • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Freq: z.B. 500 Hz 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Deviation¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. 6 dBu (siehe Anhang A)
<i>Measurement Options:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Ref Mod Depth: Ist fix auf 100 % eingestellt 	
MEAS→Audio Analysis→S/N: Messwerte ablesen	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

5.7.3 Rauschleistungsdichte bei 57 kHz

Die TR „UKW-FM-Tonrundfunksender“ (Nr. 5/3.1) fordert, dass die gemessene Rauschleistungsdichte am Ausgang eines nach TR 5/3.4 realisierten und mit 600 Ω abgeschlossenen Messdemodulators bei 57 kHz nicht größer als $-100 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}}$ ist. Mit dieser Messung wird sichergestellt, dass der Störabstand im RDS-Kanal ausreichend ist.

Durch den Lastwiderstand von 600 Ω ergibt sich aus der Rauschleistung eine Spannung. Abhängig von Spannung und Modulatorkonstante entsteht ein Hub. Die physikalisch am Senderausgang tatsächlich existierende Messgröße ist also nicht die Rauschleistungsdichte sondern die „Störhubdichte“. Die TR 5/3.1 beschreibt also eine mittelbare Messung der „Störhubdichte“ als Rauschleistungsdichte am Ausgang einer speziellen Messanordnung (Demodulatorkonstante 6 dBu für 40 kHz Hub, Lastwiderstand 600 Ohm). Da diese Messanordnung nicht international genormt ist, ist dieses so gewonnene Messergebnis nicht allgemein gültig.

Aus diesem Grund geht der R&S[®] ETL einen anderen Weg. Die „Störhubdichte“ wird ohne Umweg direkt auf einen Referenzhub (den Referenzhub des Audio-Spektrumsanalysators) bezogen. Diese Angabe ist allgemein gültig und unabhängig von einer speziellen Messeinrichtung.

Der Unterschied beider Methoden liegt in der Dimension der Ergebnisgröße. Die Rauschleistungsdichte nach TR 5/3.1 beschreibt den Quotienten aus Rauschleistung und Bandbreite, bezogen auf 1 mW ($\text{dB}(\frac{1}{1 \text{ mW} \cdot 1 \text{ Hz}})$, abgekürzt $\frac{\text{dBm}}{\text{Hz}}$). Die „Störhubdichte“ beim R&S[®] ETL dagegen beschreibt den Quotienten aus Effektivstörhub und Wurzel der Bandbreite¹, bezogen auf den Referenzhub ($\text{dB}(\frac{1}{\text{Referenzhub} \cdot \sqrt{1 \text{ Hz}}})$, abgekürzt $\frac{\text{dB}}{\sqrt{\text{Hz}}}$). Beide lassen sich wie folgt ineinander überführen:

$$20 \log\left(\frac{\text{Effektivstörhub}}{\sqrt{\text{Bandbreite}}}\right) + 20 \log\left(\frac{1}{\text{Referenzhub}}\right) = 10 \log\left(\frac{\text{Rauschleistung}}{\text{Bandbreite}} \cdot \frac{1}{1 \text{ mW}}\right) + 20 \log\left(\frac{\text{Demodulatorkonstante} \cdot \text{Referenzhub}}{\sqrt{\text{Lastwiderstand}}}\right)$$

$$\text{mit } \text{Demodulatorkonstante} = \frac{\text{Demodulatorausgangsspannung}}{\text{Nennhub}}$$

In der Praxis lässt sich die Umrechnung umgehen, indem man am R&S[®] ETL einfach den passenden Referenzhub einstellt. Die angezeigte Hubdichte in $\frac{\text{dB}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ (bezogen auf den Referenzhub) entspricht der Rauschleistungsdichte in $\frac{\text{dBm}}{\text{Hz}}$, wenn der Referenzhub so gewählt wird, dass sich an dem geforderten Widerstand 0 dBm ergeben würden. Bei einem Nennfrequenzhub von 40 kHz, der an einem 600 Ohm Widerstand 6 dBu verursacht (wie in der TR 5/3.1 gefordert), müsste also 20 kHz (entspricht 0 dBm an 600 Ohm) als Referenzhub eingegeben werden. Der Zahlenwert der angezeigten „Störhubdichte“ entspricht dann dem der Rauschleistungsdichte nach TR 5/3.1.

¹ Für die Wurzel der Bandbreite ergibt sich die physikalisch korrekte Einheit $\sqrt{\text{Hz}}$ die sich aus der Umrechnung von Leistungsdichte in „Spannungsdichte“ ergibt:

$$\tilde{U} \left[\frac{\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right] = \sqrt{\tilde{P} \left[\frac{\text{W}}{\text{Hz}} \right] \cdot R[\Omega]} \quad \text{bzw. mit SI-Einheiten: } \tilde{U} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^3 \cdot \sqrt{\text{s}^{-1}}} \right] = \sqrt{\tilde{P} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \right] \cdot R \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3} \right]}$$

Messablauf: Rauschleistungsdichte bei 57 kHz
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen
Sendereingang auf MPX einstellen
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Generator→ Audio Generator Setup: <i>Audio Generator:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Signal: OFF • Konfiguration des Signals (u.a. Waveform, Ampl Definition) ist nicht notwendig, da Signal ausgeschaltet
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Audio Spectrum Setup: <ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: MPX
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→Diagram Range→Ref Deviation: z.B. 20 kHz
MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum→MKR→More→Noise Meas: On
MKR→Marker 1: 57 kHz
TRACE→Trace Mode→Average
MEAS→Audio Analysis→S/N: Messwerte ablesen, siehe Abb. 46
Markerwert ablesen, siehe Abb. 47, und bei Bedarf mit PRINT ausdrucken

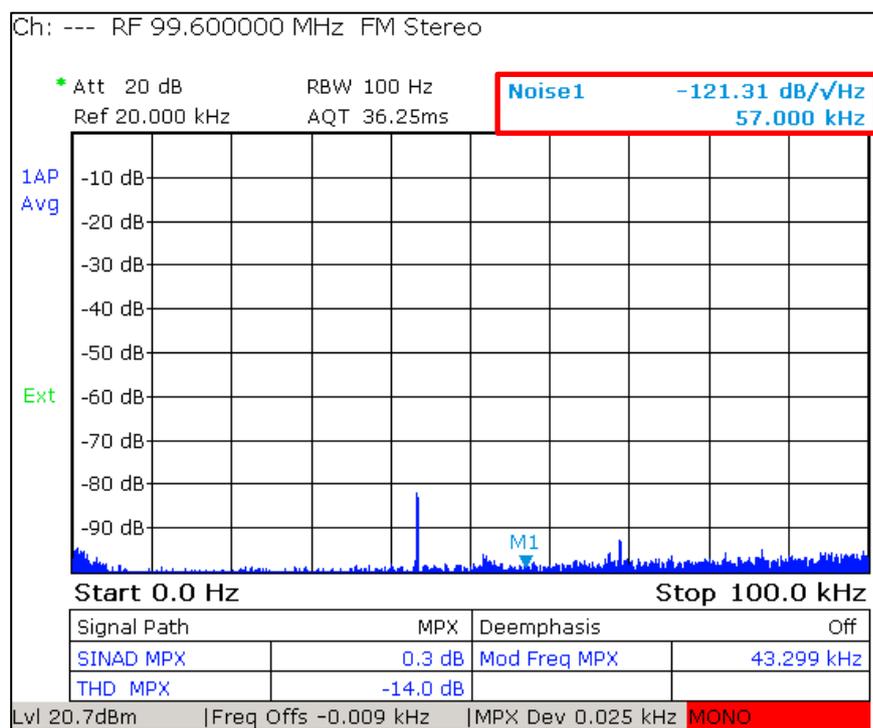


Abb. 47: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Spectrum: Rauschleistungsdichte bei 57 kHz¹

¹ Die rote „MONO“ Warnung in der Statusleiste muss nicht beachtet werden, da diese nur darauf hinweist, dass kein Pilot gefunden wurde.

5.8 Polarität des Eingangs

Mit dieser Messung wird überprüft, ob die Aussteuerung mit einem positivem Momentanwert des Eingangssignals eine Frequenzerhöhung der Ausgangsfrequenz bewirkt. Dies kann einfach mit dem R&S[®]ETL überprüft werden, indem zwei Audiotöne eingespeist werden, wobei gelten muss $f_2 = 2 \cdot f_1$. Da die Signale phasensynchron erzeugt werden, kommt es zu einer Überlagerung bei welcher der Betrag der positiven Peakwerte größer als der Betrag der negativen Peakwerte ist (siehe Abb. 48).

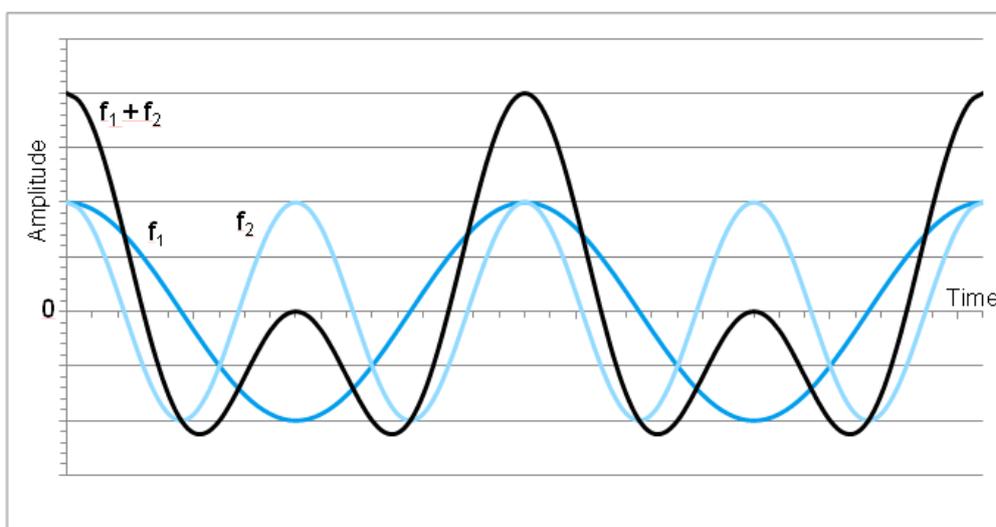


Abb. 48: Überlagerung der phasensynchron erzeugten Signale führt zu Signal mit betragsmäßig größeren positiven Peak als negativen Peak

Nachfolgend werden die Einstellungen zur Prüfung des linken Kanals angegeben, der rechte Kanal kann entsprechend geprüft werden. Bei einer Verpolung nur eines Kanals werden M und S-Signal vertauscht und Mono-Empfänger würden „stumm“ bleiben. Eine separate Prüfung von L und R ist notwendig, da ansonsten die Verpolung von beiden Eingängen nicht festgestellt werden könnte.

Messablauf: Polarität des Eingangs	
⚠ Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3	
R&S® ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen	
Allgemeine Einstellungen gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
Sendereingang auf AF Stereo einstellen Am Sender die Preemphasis ausschalten	
MEAS→Modulation Analysis→Audio Scope→Audio Generator→ Audio Generator Setup, siehe Abb. 49:	
<i>Audio Generator:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Type: Analog (Option B201) • Signal: L • Connector Config: Entsprechend dem Sender einstellen, siehe 3.2.3 • Waveform: Dual Tone independent frequencies • Freq 1: z.B. 500 Hz • Freq 2: z.B. 1 kHz 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Level • Level: z.B. 6 dBu (siehe Anhang A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampl Definition: Desired DUT Devia- tion¹ • Desired DUT Dev: z.B. 40 kHz • Preemphasis Comp: Off
MEAS→Modulation Analysis→Audio Scope→Audio Scope Setup:	
<ul style="list-style-type: none"> • Signal Path: L 	
Pegelung gemäß Abschnitt 4.4 vornehmen	
MEAS→Modulation Analysis→Audio Scope→Diagram Range→Trigger Level: so einstellen, dass sich ein stehendes Bild ergibt z.B. 30 Hz	
Kontrollieren ob der Betrag der positiven Peakwerte größer ist als der Betrag der negativen Peakwerte (siehe Abb. 50), falls ja, liegt keine Verpolung vor.	

¹ Hierfür müssen, wie unter Grundkonfiguration beschrieben (Abschnitt 4.4), die Sollbetriebsparameter des Senders unter „DUT Parameters“ korrekt eingestellt sein.

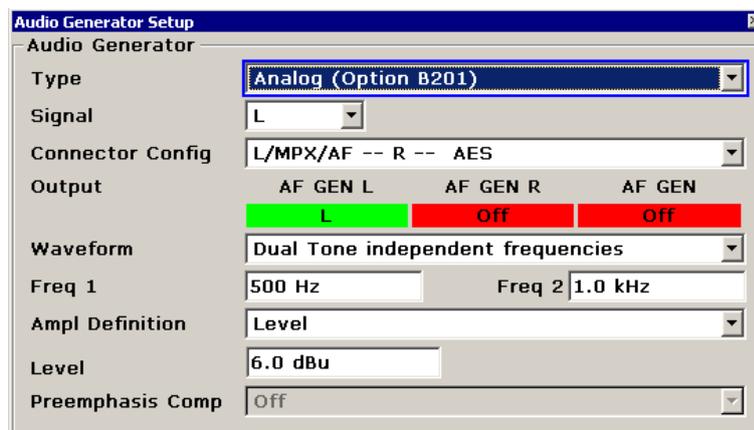


Abb. 49: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Scope→Audio Generator→Audio Generator Setup: Konfiguration zur Überprüfung der Polarität

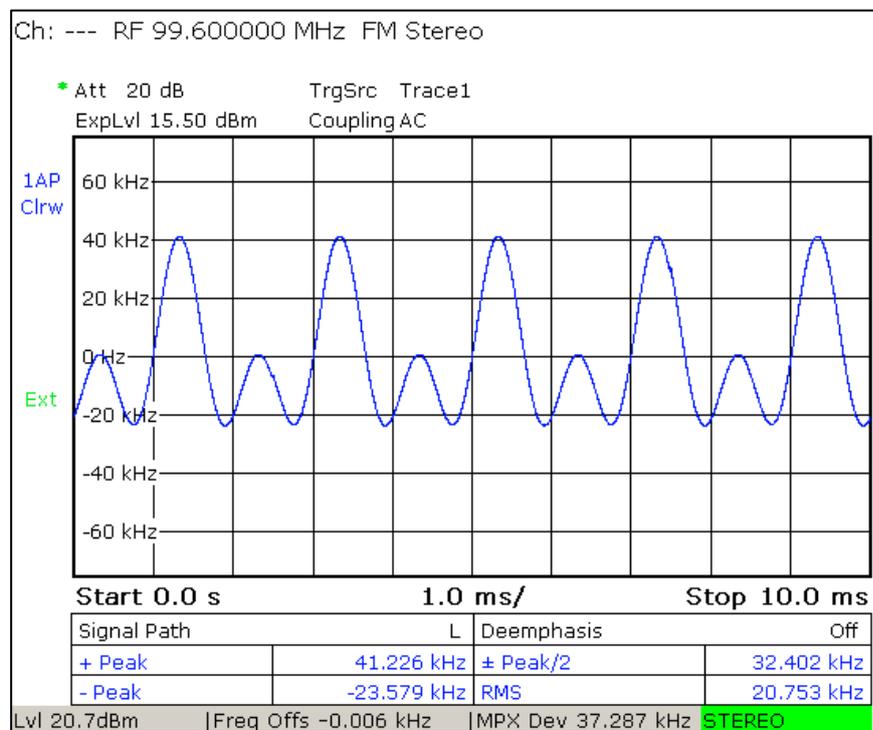


Abb. 50: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Modulation Analysis→Audio Scope: Bei Einspeisung eines Dual Tones mit $f_2 = 2 \cdot f_1$, ist der Betrag des positiven Peakwerts (+Peak) größer als der Betrag des negativen Peakwerts (- Peak), falls ein positiver Momentanwert des Eingangssignals eine Frequenzerhöhung zur Folge hat.

5.9 Digitales Eingangssignal (AES/EBU)

Die meisten Sender bieten auch den AES/EBU-Eingang, über welchen dem Sender digitale Stereo- oder Mono-Audiosignale zugeführt werden können. Zur Prüfung des AES/EBU-Eingangs können die Messungen, wie sie für die L&R-Eingänge durchgeführt wurden (z.B. Amplitudengang 5.4.1.1, Stereoübersprechen 5.5), wiederholt werden. Welche Messungen erneut durchgeführt werden sollen, muss individuell entschieden werden. Die Konfiguration der einzelnen Messungen wird an dieser Stelle nicht erneut aufgeführt, stattdessen werden nur die Unterschiede und Besonderheiten beschrieben.

Für die Messungen wird der Sendereingang auf AES Stereo gestellt und der AES-Coder des R&S[®] ETL verwendet. Zur Verwendung des AES-Coders des R&S[®] ETL wird als Audio Generator Type „AES/EBU (Option B201)“ ausgewählt, die „Impedance“ wird entsprechend dem Sender AES-Eingang auf 75 Ω oder 110 Ω gestellt (siehe Abb. 51). Der Signalpegel für AES/EBU wird in dBFS angegeben. Es besteht alternativ auch die Möglichkeit durch Auswahl von „Desired DUT Deviation“ unter Type den gewünschten Frequenzhub einzugeben. Alle bisher beschriebenen Messungen können mit diesen angepassten Einstellungen erneut für den AES/EBU-Eingang durchgeführt werden.

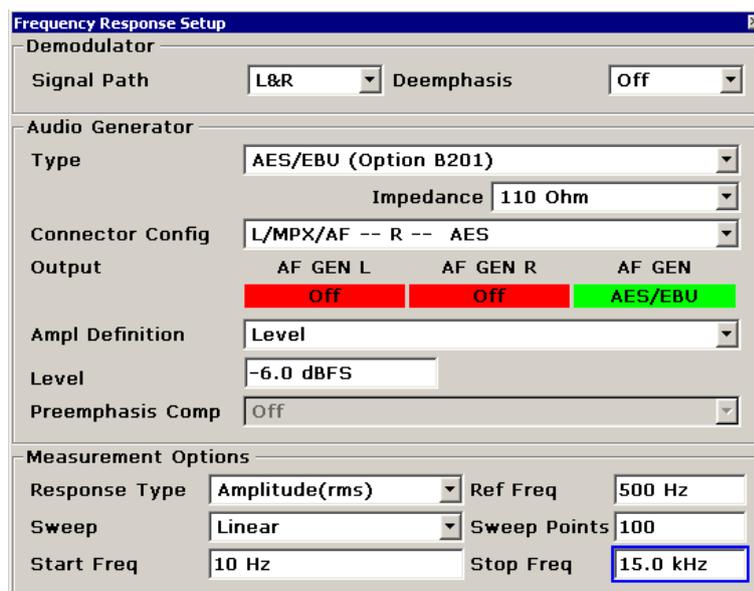


Abb. 51: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response→Frequency Response Setup: Konfiguration für die Messung des Audio-Amplitudenfrequenzgangs für den AES/EBU-Eingang des Senders

Bei der Phasenmessung ist zu beobachten, dass der Verlauf dreieckförmige Ausreißer aufweist kann (siehe Abb. 52). Dies liegt daran, dass die Taktfrequenzregenerierung mancher AES Coder eine zu große momentane Abweichung haben und die Phase während der Messung wegläuft und immer wieder korrigiert wird.

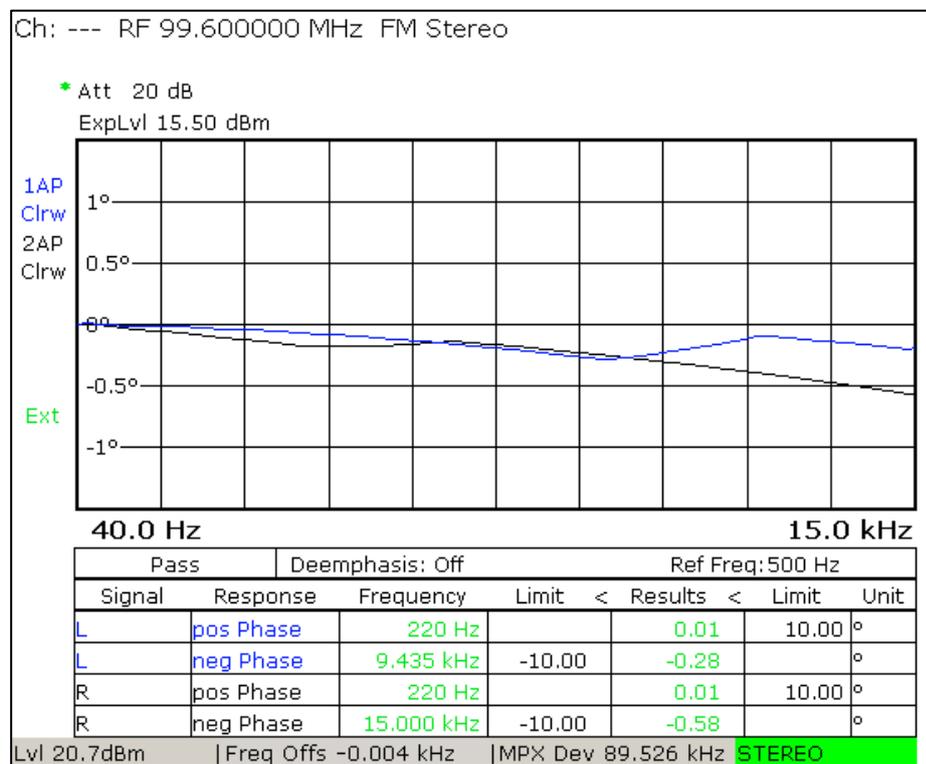


Abb. 52: Betriebsart „TV/Radio Analyzer/Receiver“, MEAS→Audio Analysis→Frequency Response: Audio-Phasenfrequenzgang für den AES/EBU-Eingang des Senders

6 Abkürzungen

AES/EBU	Audio Engineering Society/European Broadcasting Union
AF	Audiofrequenz
AM	Amplitudenmodulation
ARI	Autofahrer-Rundfunk-Information
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications
DARC	Data Radio Channel
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequenzmodulation
IRT	Institut für Rundfunktechnik
IEC	International Electrotechnical Commission
PK	Peak
QPK	Quasi-Peak
RDS	Radio Data System
RMS	Root mean square
SCA	Subsidiary Communication Authorization
TR	Technische Richtlinien der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland

7 Zusatzinformation

Unsere Applikationsschriften werden von Zeit zu Zeit überarbeitet, und auf den neuesten Stand gebracht. Bitte überprüfen Sie unter <http://www.rohde-schwarz.com> etwaige Änderungen.

Kommentare und Anregungen im Zusammenhang mit dieser Applikationsschrift bitte an: Broadcasting-TM-Applications@rohde-schwarz.com.

8 Bestellinformationen

Bestellbezeichnung	Typ	BestellNr.
Gerät		
TV Analysator, 500 kHz to 3 GHz, mit Mitlaufgenerator	R&S®ETL	2112.0004.13
Average Power Sensor; 9 kHz to 6 GHz, 200 mW ¹	R&S®NRP-Z91	1168.8004.02
Benötigte Optionen		
FM (radio) Firmware	R&S®ETL-K110	2112.0410.02
FM (radio) Audio Analyzer/Generator	R&S®ETL-K111	2112.0427.02
DTV, ATV, FM Universal Interface	R&S®ETL-B201 (MOD3)	2112.0304.03
RF Preselector	R&S®ETL-B203	2112.0327.03
Eine der nachfolgenden beiden FM Frontends		
<ul style="list-style-type: none"> High SNR FM-Frontend 	R&S®ETL-B110	2112.0233.02
<ul style="list-style-type: none"> FPGA External Board, High SNR FM 	R&S®ETL-B310	2112.0340.02
Leistungsmesskopfmessungen mit NRP ¹	R&S®FSL-K9	1301.9530.02
Eine der folgenden drei Power Sensor Schnittstellen ¹		
<ul style="list-style-type: none"> Zusätzliche Schnittstellen 	R&S®FSL-B5	1300.6108.02
<ul style="list-style-type: none"> Aktiver USB Adapter 	R&S®NRP-Z3	1146.7005.02
<ul style="list-style-type: none"> Passiver USB Adapter 	R&S®NRP-Z4	1146.8001.02

¹ Nur für die Messung des Senderausgangspegels falls eine Genauigkeit besser als 1 dB erforderlich ist.

A Eingangspiegel und Frequenzhub

A.1 Tabellarische Übersicht

Folgende Tabellen stellen dar, welcher Audiopegel eingegeben werden muss, um einen gewünschten Frequenzhub bei 15 kHz zu erzeugen. Die hier verwendeten Senderkonfigurationen (Nennpegel 6 dBu und Nennfrequenzhub 40 kHz bzw. 50 kHz) decken die am häufigsten verwendeten FM-Senderkonfigurationen ab. Werden andere Konfigurationen benötigt, lassen sich die Werte einfach mit den entsprechenden Formeln (siehe A.2) berechnen.

Nennfrequenzhub 40 kHz, Nennpegel 6 dBu						
gewünschter Hub [kHz] bei 15 kHz	Audiopegel ohne Preemphasis		Audiopegel Preemphasis 50 µs		Audiopegel Preemphasis 75 µs	
	[dBu]	[V]	[dBu]	[V]	[dBu]	[V]
20	0	0,77	-13,6	0,16	-17	0,11
25	1,9	0,97	-11,7	0,20	-15,1	0,14
40	6	1,55	-7,6	0,32	-11	0,22
50	7,9	1,93	-5,7	0,40	-9,1	0,27
75	11,5	2,90	-2,1	0,60	-5,5	0,41
100	14	3,86	0,4	0,80	-3	0,54

Nennfrequenzhub 50 kHz, Nennpegel 6 dBu						
gewünschter Hub [kHz] bei 15 kHz	Audiopegel ohne Preemphasis		Audiopegel Preemphasis 50 µs		Audiopegel Preemphasis 75 µs	
	[dBu]	[V]	[dBu]	[V]	[dBu]	[V]
20	-2	0,62	-15,6	0,13	-19	0,09
25	0	0,77	-13,6	0,16	-17	0,11
40	4,1	1,24	-9,5	0,26	-12,9	0,17
50	6	1,55	-7,6	0,32	-11	0,22
75	9,5	2,32	-4,1	0,48	-7,5	0,32
100	12	3,09	-1,6	0,64	-5	0,43

A.2 Rechnerischer Zusammenhang Eingangsspegel und Frequenzgang

Länder- und spezifikationsabhängig wird der Eingangsspegel in dBu oder Volt eingegeben. Die Pseudoeinheit dBu, ist ein logarithmisches Maß für die Spannung ($0 \text{ dBu} = \sqrt{600 \Omega \cdot 1 \text{ mW}} \approx 0,7746 V_{\text{eff}}$). entsprechen. Die Umrechnung von Volt in dBu und umgekehrt erfolgt demnach:

$$\text{Pegel [V]} = \sqrt{600 \cdot 10^{\frac{\text{Pegel [dBu]}}{10}} \cdot 10^{-3}} \quad \text{Pegel [dBu]} = 10 \cdot \log\left(\frac{\text{Pegel}^2 [\text{V}]}{600 \cdot 10^{-3}}\right)$$

Durch die Einstellung der Modulatorkonstante des Senders ergibt sich bei einem Nennpegel der zugehörige Nennfrequenzhub (Nominal Deviation). Auch der Nennfrequenzhub ist länder- und spezifikationsabhängig. Für die Umrechnung welcher Eingangsspegel im Audiogenerator für einen gewünschten Frequenzhub eingestellt werden muss gilt folgende Beziehung:

$$\text{Pegel [V]} = \frac{\text{gewünschter Frequenzhub}}{\text{Nennfrequenzhub}} \cdot \text{Nennpegel [V]}$$

$$\text{Pegel [dBu]} = 20 \log\left(\frac{\text{gewünschter Frequenzhub}}{\text{Nennfrequenzhub}}\right) + \text{Nennpegel [dBu]}$$

Für die Preemphasis kommt als Zeitkonstante in Europa und Japan üblicherweise $50 \mu\text{s}$, in USA $75 \mu\text{s}$ zum Einsatz. Ist die Preemphasis am Sender eingeschaltet, entsteht Frequenzabhängig eine Anhebung des Audiopegels, dieser muss bei der Eingabe am Audiogenerator entsprechend reduziert werden.

$$\text{Faktor der Anhebung} = \sqrt{1 + (2\pi \cdot \text{Audiofrequenz} \cdot \text{Zeitkonstante})^2}$$

$$\text{Anhebung [dBu]} = 20 \log \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot \text{Audiofrequenz} \cdot \text{Zeitkonstante})^2}}$$

Anhebung des Audiopegels für eine Zeitkonstante von $50 \mu\text{s}$:

Audio-frequenz	40 Hz	100 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	6 kHz	7,5 kHz	10 kHz	15 kHz
Faktor der Anhebung	1,00	1,00	1,01	1,05	1,86	2,13	2,56	3,30	4,82
Anhebung in dB	0	0	0,1	0,4	5,4	6,5	8,1	10,3	13,6

Anhebung des Audiopegels für eine Zeitkonstante von $75 \mu\text{s}$:

Audio-frequenz	40 Hz	100 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	6 kHz	7,5 kHz	10 kHz	15 kHz
Faktor der Anhebung	1,00	1,00	1,03	1,11	2,56	3,00	3,67	4,82	7,14
Anhebung in dB	0	0	0,2	0,8	8,1	9,5	11,3	13,6	17

A.3 Beispiel zur Berechnung des nötigen Audiopegels

Bei einem Sender mit Nennfrequenzhub 50 kHz bei 6 dBu (entspricht in etwa 1,54 Volt) Eingangsspegel soll ein Hub von 100 kHz erreicht werden. Rechnerisch ergibt sich ein Audioeingangsspegel von:

$$20 \log \left(\frac{100}{50} \right) + 6 = 12 \text{ dBu} \quad \frac{100}{50} \cdot 1,54 = 3,09 \text{ V}$$

Am R&S[®] ETL kann im Audiogenerator Setup mit der entsprechenden Auswahl unter „Ampl Definition“ (siehe 3.2.5) sowohl entweder der gewünschte Spitzenhub („Desired DUT Deviation“), der Audiogeneratorpegel in dBu (Level) oder der Audiogeneratorpegel in Volt („Peak Voltage“) eingegeben werden. Durch die Auswahl von „Ampl Definition“ ist also keine Umrechnung notwendig.

Kommt bei diesem Sender eine Preemphasis von 50 µs zum Einsatz, muss der einzugebende Audiopegel entsprechend abgesenkt werden. Soll der Hub von 100 kHz bei 15 kHz Audiofrequenz erreicht werden, so muss der Audiopegel folgendermaßen reduziert werden:

$$20 \log \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 15 \text{ kHz} \cdot 50 \mu\text{s})^2}} = 13,6 \text{ dBu}$$

$$\sqrt{1 + (2\pi \cdot 15 \text{ kHz} \cdot 50 \mu\text{s})^2} = 4,82$$

Der einzugebende Audiopegel ist:

$$12 \text{ dBu} - 13,6 \text{ dBu} = -1,6 \text{ dBu} \quad \frac{3,09 \text{ V}}{4,82} = 0,64 \text{ Volt}$$

B Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck

Die Software R&S®TxCheck ist auf jedem R&S®ETL kostenlos verfügbar und bietet den automatisierten Ablauf von Messungen inklusive der Erzeugung eines gewichteten Reports der Ergebnisse. Mit Unterstützung von R&S®TxCheck können die folgenden Messungen automatisiert durchgeführt werden:

- Senderausgangspegel (5.1)
- Frequenzgenauigkeit (5.2)
- Audio-Frequenzcharakteristik (bis 15 kHz bzw. 17,5 kHz bei Monosendern) (5.4.1.1)
- Basisband-Frequenzcharakteristik (bis 100 kHz) (5.4.1.2)
- Audio-Phasengang (5.4.2.1)
- Basisband-Phasengang (5.4.2.2)
- Stereoübersprechen (Crosstalk) (5.5)
- Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion – THD) (5.6.1)
- Audiointermodulation (5.6.2.1)
- Intermodulation im Basisband (bis 100 kHz) (5.6.2.2)
- Digitales Eingangssignal (AES/EBU) (5.9)

Bestandteil dieser Application Note ist die Datei „7BM105.ETLtxi“. Wird diese in R&S®TxCheck geöffnet, so kann mit der Software alle automatisierbaren Messungen am L&R-Eingang und MPX-Eingang des Senders durchgeführt werden:

Automatisierte Messungen mit R&S®TxCheck durchführen
Kopieren der 7BM105.ETLtxi auf den R&S®ETL
 Prüfen, dass max. Eingangsleistung nicht überschritten wird, siehe Abschnitt 4.3
R&S®ETL (IN1) an die Mess-Schnittstelle M1 anschließen
MODE→TxCheck
Im R&S®TxCheck Menü File/Open Profile (*.ini) das zuvor kopierte Profile „7BM105.ETLtxi“ auswählen
In der Registerlasche “Settings” Parameter wie z.B. Frequenz und Senderparameter anpassen, siehe Abb. 53
Über den Knopf „Write Settings to ETL“ Grundkonfigurationen setzen
In der Registerlasche “Measurements” gegebenenfalls die Konfiguration der einzelnen Messungen (z.B. Desired DUT Deviation, Preemphasis Compensation) und die Grenzen für die einzelnen Messparameter anpassen, siehe Abb. 54
Über das Menü „Measurement/Start Measurement“ die Messung starten
Nach Abschluss der Messungen die Ergebnisse über das Menü „File/Save“ abspeichern

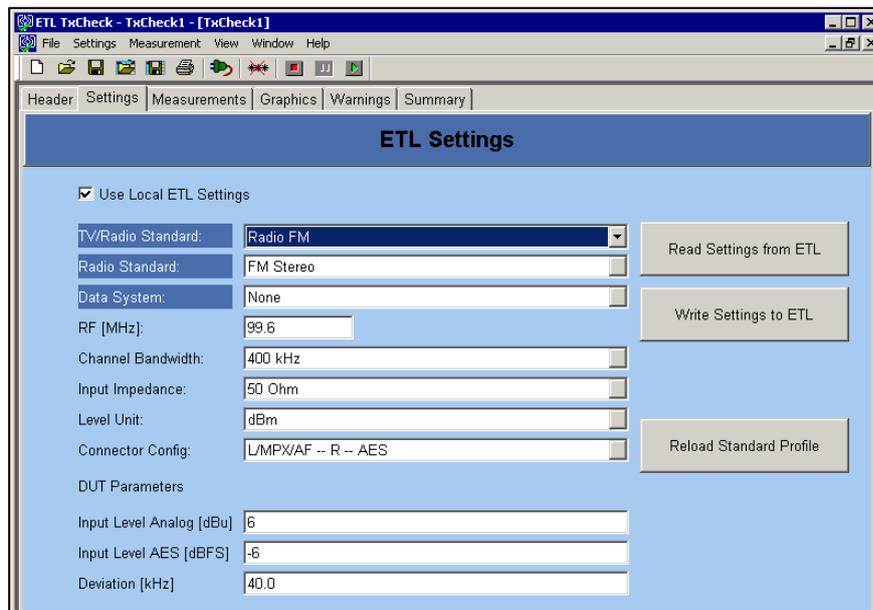


Abb. 53: R&S®TxCheck User Interface, Registerlasche "Settings"

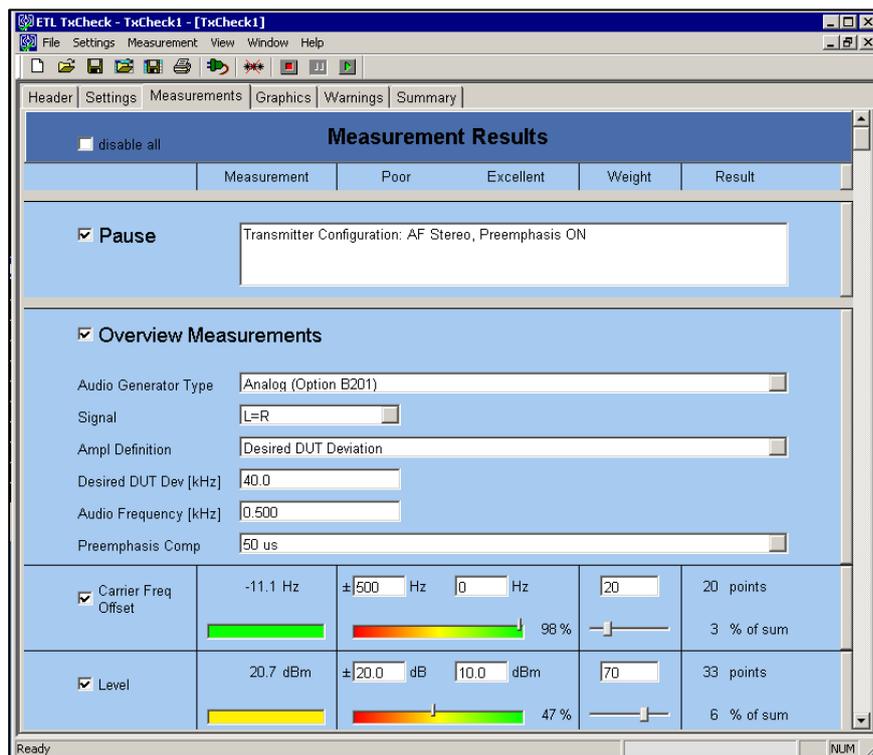


Abb. 54: R&S®TxCheck User Interface, Reiter "Measurements"

Die Ergebnisse der automatisierten Messung werden in den Registerlaschen „Measurements“ und „Graphics“ angezeigt. Zum Betrachten der abgespeicherten Ergebnis-Dateien auf einem externen Rechner ist R&S®TxCheck dort zunächst zu installieren (siehe hierzu R&S®TxCheck Menü „Help/Installation Info...“). Der Ergebnisreport kann schließlich über die Menüfunktion „File/Print“ erzeugt werden (siehe Abb. 55).

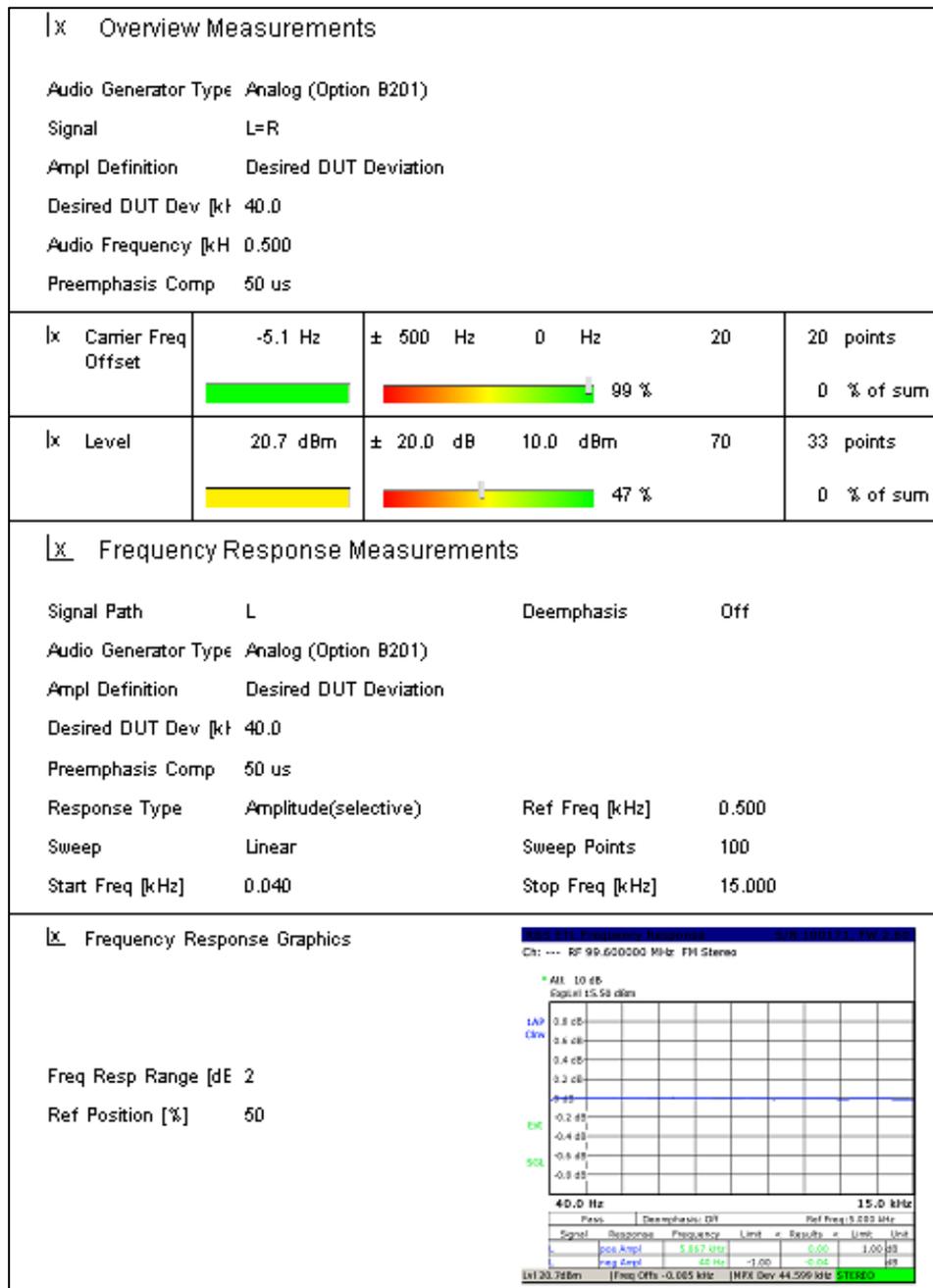


Abb. 55: R&S®TxCheck: Auszug aus dem Report

About Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz is an independent group of companies specializing in electronics. It is a leading supplier of solutions in the fields of test and measurement, broadcasting, radiomonitoring and radiolocation, as well as secure communications. Established more than 75 years ago, Rohde & Schwarz has a global presence and a dedicated service network in over 70 countries. Company headquarters are in Munich, Germany.

Environmental commitment

- Energy-efficient products
- Continuous improvement in environmental sustainability
- ISO 14001-certified environmental management system



Regional contact

Europe, Africa, Middle East

+49 89 4129 12345

customersupport@rohde-schwarz.com

North America

1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

Latin America

+1-410-910-7988

customersupport.la@rohde-schwarz.com

Asia/Pacific

+65 65 13 04 88

customersupport.asia@rohde-schwarz.com

China

+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896

customersupport.china@rohde-schwarz.com

This application note and the supplied programs may only be used subject to the conditions of use set forth in the download area of the Rohde & Schwarz website.

R&S® is a registered trademark of Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Trade names are trademarks of the owners.

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühlhofstraße 15 | D - 81671 München

Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

www.rohde-schwarz.com