

Fortsetzung aus Heft 170

Messungen an MPEG2- und DVB-T-Signalen (4)

Teil 3 befasste sich mit Masken

für die Außerbandanteile und der

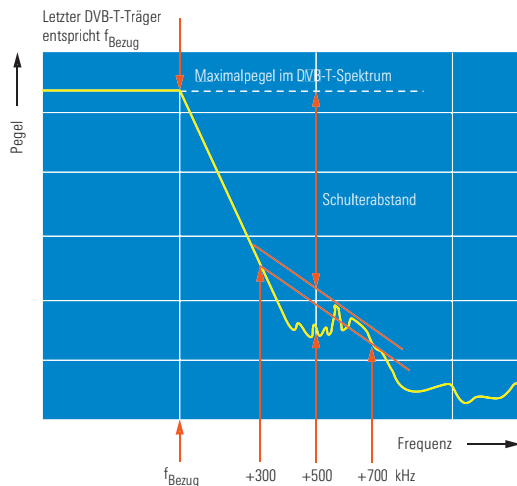
Messung des Schulterabstands. In

dieser Fortsetzung geht es nun um die

Bestimmung des Crest-Faktors und

um Leistungsmessungen an DVB-T-

Sendern mittlerer Leistung.



Zur Erinnerung: In Teil 3 ging es um die Messung des Schulterabstands nach ETR 290.

Siehe auch Mess-Tipp auf Seite 52: „Ermittlung der CCDF – Zwei Messmethoden im Vergleich“.

Der Crest-Faktor des DVB-T Signals

Definition

Der Crest-Faktor K_{CREST} ist der Quotient aus effektivem Spannungswert U_{eff} und Spitzenspannungswert U_s , ausgedrückt als logarithmisches Verhältnis:

$$K_{CREST} = 20 \cdot \log(U_s / U_{eff}) \text{ dB}$$

Am Crest-Faktor lässt sich direkt ablesen, bis zu welcher Aussteuerung ein Verstärker, wie er in DVB-T-Sendern eingesetzt ist, linear arbeitet bzw. wann die Signalbegrenzung einsetzt.

Bei Messungen mit Spektrumanalysatoren, die über CCDF-Messmöglichkeiten (Complementary Cumulative Distribution Function) verfügen, ist zu beachten, dass diese Messgeräte die Spitzenleistung der Signalhüllkurve bestimmen, und nicht die absoluten Spannungsspitzen, die im Verstärker auftreten. Deshalb muss in diesem Fall der ermittelte Wert um dem Faktor Wurzel 2 oder um 3,01 dB korrigiert werden. Die Unterschiede in der Signalbewertung erläutert ausführlich der Mess-Tipp auf Seite 52. Nachfolgend wird nur der von absoluten Spannungsspitzen abgeleitete Crest-Faktor behandelt.

Crest-Faktor und Pegelbegrenzung in DVB-T-Sendern

Im theoretischen Fall, dass alle Träger des COFDM-Signals – das weißem Rauschen sehr ähnlich ist – zum gleichen Zeitpunkt den Maximalwert und die gleiche Phase aufweisen, addieren sich alle Trägeramplituden zur größtmöglichen Spitzenamplitude $U_{s \text{ max}}$. Diese Spitzenamplitude bedingt im 8k-Modus einen Crest-Faktor von:

$$K_{CREST \text{ max.}} = 20 \cdot \log \sqrt{6817} = 38,3 \text{ dB}$$

und im 2k-Modus:

$$K_{CREST \text{ max.}} = 20 \cdot \log \sqrt{1705} = 32,3 \text{ dB.}$$

Diese Maximalwerte treten jedoch in der Praxis nie auf. Deshalb rechnet man für beide Modi mit einem realen Maximalwert von $K_{CREST} \geq 15,7 \text{ dB}$ bei einer Wahrscheinlichkeit der Amplitudenverteilung von $1 \cdot 10^{-7}$. Dies entspricht dem Verhältnis $U_s / U_{eff} \approx 6,1$ (BILD 25). Hinsichtlich der Senderleistung bedeutet das, dass als Reserve bezogen auf die mittlere Leistung eine 37,2fache Spitzenleistung vorgehalten werden müsste. Dabei könnten noch nahezu alle Signalanteile, die auch das resultierende Bitfehlerverhältnis BER beeinflussen, übertragen werden. Mit Blick auf den Wirkungsgrad ist dies jedoch nicht vertretbar. Weitere Untersuchungen ergaben, dass bei einem Crest-Faktor von $\approx 13 \text{ dB}$ noch keine relevante Beeinflussung des BER entsteht.

Aber auch das Vorhalten einer 20fachen Reserveleistung ist unrentabel, deshalb sind alle DVB-T-Sender auf einen Crest-Faktor von ca. 10 dB bis 11 dB begrenzt. Ein Spektrumanalysator mit CCDF-Funktion zeigt in diesem Fall einen Crest-Faktor von etwa 7 dB an, ein typischer und international gültiger Wert. Dieser Crest-Faktor hat allerdings eine messbare Verschlechterung des BER zur Folge. Es liegt hier – einschließlich des Einflusses der Kanalfilterung zur Anhebung des Schulterabstandes – im Bereich um $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ (vor dem Viterbi-Decoder) an der Sendeantenne.

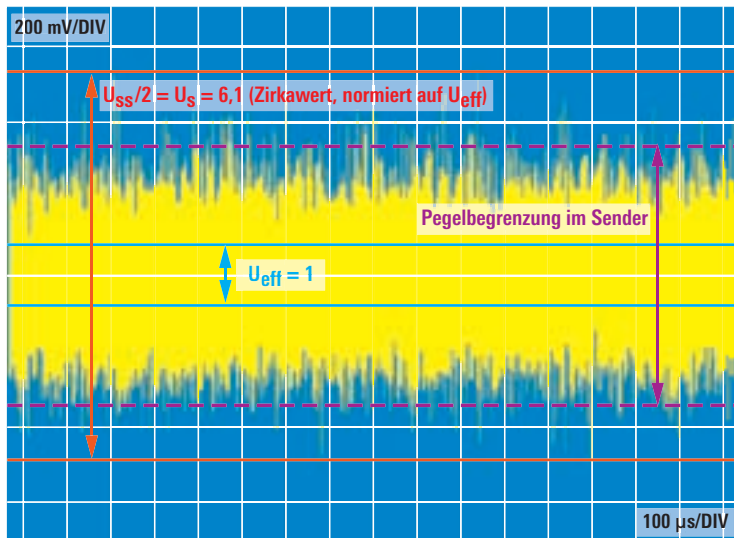


BILD 25
Das DVB-T-Zeitsignal.

Anders dagegen bei DVB: Durch den Funktionsblock „Sync 1 Inverter und Verwischung“ im DVB-Modulator (siehe EN 300 421, EN 300 429 oder EN 300 744) wird eine konstante mittlere Senderausgangsleistung erzeugt. Daher ist nicht die Spitzenleistung zu messen, die über den Crest-Faktor bestimmt werden könnte, sondern die mittlere Ausgangsleistung. Hierfür stehen drei Methoden zur Wahl:

1. Messung der mittleren Leistung mit dem thermischen Leistungsmesser NRVS (BILD 27)

Ein thermischer Leistungsmesser liefert die genauesten Ergebnisse, wenn das Gesamtspektrum nur das Spektrum eines Fernsehkanals enthält, was am DVB-T-Sender fast immer der Fall ist. Zudem lässt sich dieser Leistungsmesser sehr einfach mit einer hochgenau gemessenen Gleichspannung kalibrieren, sofern der Messkopf DC-Messungen zulässt.

2. Messung der mittleren Leistung mit einem Spektralanalysator FSEX oder FSP

Bei dieser Variante wird je ein Frequenz-Cursor an die Anfangs- und Endfrequenz des DVB-Kanals gesetzt und der Spek-

In den neuen Solid-State-Verstärkergenerationen von Rohde&Schwarz arbeiten hochlineare LDMOS-Transistoren. Damit sind die Ansprüche an den digitalen Vorentzerrer nicht mehr so hoch wie sie an die Vorgänger gestellt wurden, die noch mit bipolarer oder MOS-Technik ausgestattet waren. Die Begrenzung des Crest-Faktors auf etwa 10 dB bis 11 dB garantiert den Schutz der Transistoren, weil Spannungsspitzen sicher verhindert werden. Die für die Lebensdauer der Leistungstransistoren sehr wichtige Crest-Faktor-Messung am Senderausgang ist deshalb unverzichtbar.

Leistungsmessungen an DVB-T-Sendern

Messung der mittleren Leistung

Bei analogen Sendern ermittelt die Leistungsmessung die Spitzenleistung im Bereich des Synchronimpulsbodens des modulierten FBAS-Signals. Beim analogen Fernsehen ist der Synchronimpulsboden immer der Bezug, weil dieser Signalanteil ohne Stauchung und sonstige Verzerrungen übertragen werden muss.

Die Messung des Crest-Faktors

Als Messgerät dient wieder der TV-Mess-Empfänger EFA in den Varianten 40 bzw. 43. Er berechnet anhand der Wahrscheinlichkeit der Amplitudenverteilung (CCDF) den Crest-Faktor. An seinem Display lassen sich der Crest-Faktor im Zeitintervall der Messung ($10,24 \cdot 10^6$ Messwerte), der maximale Crest-Faktor seit Beginn der Messung und zusätzlich die aktuelle Messgrenze für die gewählte Mess-Einstellung ablesen (BILD 26).

BILD 26
Crest-Faktor-Messung mit dem TV-Mess-Empfänger EFA.

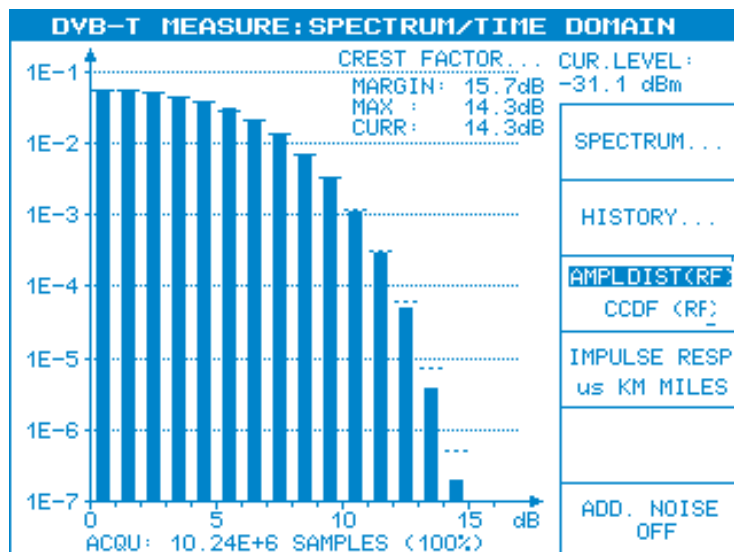




Foto 43225/3

BILD 27
Leistungsmesser NRVS (Datenblatt PD 0756.3182).

► trumanalysator errechnet die Leistung in dem dazwischen liegenden Frequenzband (BILD 28). Die Messgenauigkeit reicht aus, weil an der DVB-T-Sendeantenne im Normalfall die Nachbarkanäle nicht belegt sind.

3. Messung der mittleren Leistung mit dem Mess-Empfänger EFA

Die Statuszeile im Display des Mess-Empfängers zeigt ständig alle wichtigen Signalparameter an, so z. B. im rechten oberen Statusfeld die mittlere Leistung in verschiedenen umschaltbaren Einheiten (BILD 29). Untersuchungen an Kanalspektren mit groben Abweichungen vom ebenen Frequenzgang belegen die hohe Messgenauigkeit des Empfängers. Ein Vergleich mit Mess-Ergebnissen, die mit dem thermischen Leistungsmesser NRVS ermittelt wurden, ergab nach einer Messreihe mit verschiedenen EFA-Modellen bei unterschiedlichen Kanalfrequenzen und diversen nichtebenen Spektren eine maximale Abweichung von weniger als 1 dB. Die SAW-Filter mit 6, 7 und 8 MHz ZF-Bandbreite im Mess-Empfänger sorgen für eine präzise Messung auch bei belegten Nachbarkanälen.

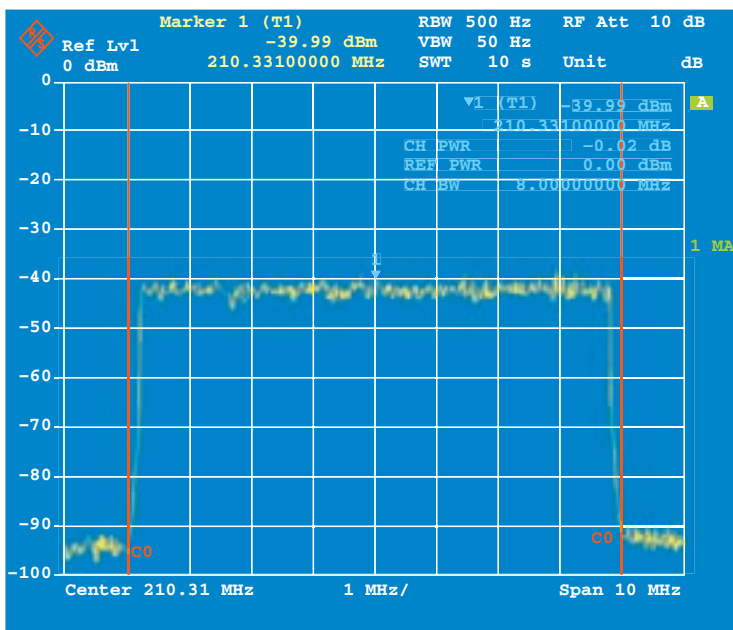


BILD 28
Messung der mittleren Senderleistung mit einem Spektralanalysator.

Ein Beispiel aus der Messreihe

Mit der Fading-Option im TV-Mess-Sender SFQ wird von einem Signal ein um 250 ns verzögertes und um 2 dB im Pegel verringertes Echo erzeugt. Beide Signale ergeben das Fading-Spektrum in BILD 30, in dem tiefe Frequenzgangeinbrüche zu sehen sind. Die Mess-Ergebnisse bei der größten Abweichung zwischen dem NRVS und dem EFA betragen $-33,79$ dBm (NRVS) und $-33,0$ dBm (EFA). Die ausführlichen Ergebnisse dieser Pegelmessungen sind in [11] dargelegt.

DVB-T MEASURE	
SET RF 330.000 MHz	ATTEN : LOW 100.2 dBuV
FREQUENCY/BER:	CONSTELL DIAGRAM...
FREQUENCY DEV -0.068 kHz	FREQUENCY DOMAIN...
SAMPL RATE DEV 1.0 µpsm	
BER BEFORE VIT 6.1E-5 (10/10)	
BER BEFORE RS 0.4E-9 (1000/1000)	
BER AFTER RS 0.0E-9 (1000/1000)	
OFDM/CODE RATE:	OFDM PARA- METERS...
FFT MODE 2K (TPS: 2K)	
GUARD INTERVAL 1/16 (TPS: 1/16)	
ORDER OF QAM 64 (TPS: 64)	
ALPHA 1 NH (TPS: 1 NH)	
CODE RATE 5/6 (TPS: 5/6)	
TPS RESERVED 0000h	RESET BER
	ADD. NOISE OFF

BILD 29
Display des TV-Mess-Empfängers EFA. Rot markiert: Anzeige der mittleren Senderleistung.

Ausgangsleistung beim Ausfall von Verstärkern

In modernen Sendern von Rohde & Schwarz [12] speist der Steuersender SV 700 das DVB-T-Signal in den Power Splitter, der die nachfolgenden Leistungsverstärker ansteuert. Die Leistungsverstärker sind als Zwillingsverstärker ausgelegt und die Leistungsstufen innerhalb der Verstärker mit Zwillingsleistungstransistoren in LDMOS-Technik aufgebaut (BILD 31). Je nach Sender-Nennleistung arbeiten eine Anzahl von Verstärkern parallel, jeweils zwei davon werden über Koppler zusammengeführt. Zur Erhöhung des Schulterabstandes filtert ein Bandpass das Ausgangssignal der Koppler, bevor es zur Sendeantenne gelangt. Je nach Weitabselektion des Bandpasses ist eventuell ein Filter zur Unterdrückung der LO-Oberwellen notwendig.

Fällt ein Zwillingsverstärker aus, so wird die Hälfte der Leistung des zweiten Senders in einen gekühlten Absorberwiderstand geleitet, so dass keine Überhitzung auftritt. Die abgegebene Restleistung des Senders mit defekten Verstärkern berechnet sich wie folgt:

$$P_{\text{aus}} = P_{\text{nenn}} \cdot \left(\frac{m-n}{m}\right)^2$$

P_{aus} ist die reale Ausgangsleistung, P_{nenn} die Nennausgangsleistung, m die Anzahl montierter Verstärker und n die Anzahl defekter Verstärker.

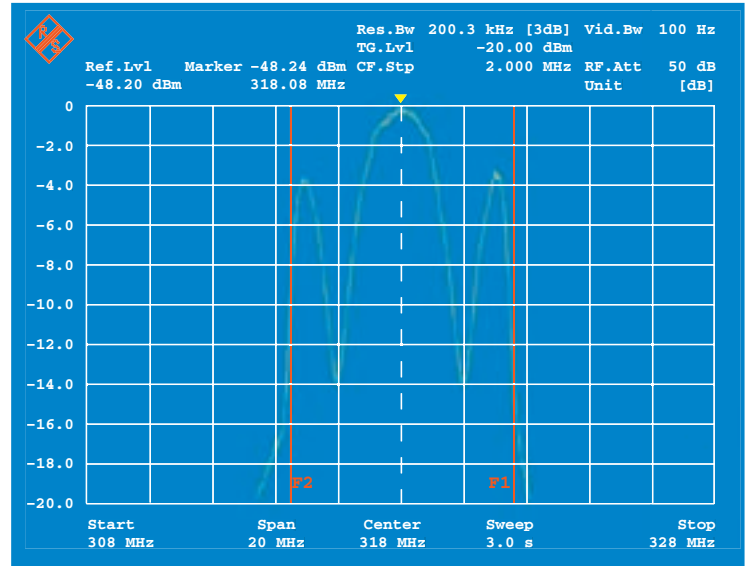
Beispiel: In einem 2,5-kW-DVB-T-Sender mit insgesamt sechs Verstärkern ist einer ausgefallen. Der Sender bleibt in Funktion, doch die Leistung verringert sich auf:

$$P_{\text{aus}} = P_{\text{nenn}} \cdot 0,694$$

(mit $m = 6$ und $n = 1$).

Die Kennlinie bleibt jedoch erhalten, sie verschiebt sich lediglich parallel hin

BILD 30
Fading-Spektrum.



zu niedrigerer Leistung. Alle anderen Qualitätsparameter bleiben unverändert. Dies gilt auch, wenn nur einzelne Leistungstransistoren in den Verstärkern ausfallen. Von Vorteil ist, dass weder Verstärker noch Leistungstransistoren überlastet werden, sich also die MTBF (Mean Time Between Failures) der funktionsfähigen Elemente nicht ändert.

Austausch von Verstärkern

Langzeit-Messungen

Den schematischen Aufbau von Langzeit-Messungen mit dem TV-Mess-Empfänger EFA zeigt BILD 32. Anhand des Histogramms für die Senderleistung am Display des Mess-Empfängers ist der Ausfall eines Verstärkers bei Fernüber-

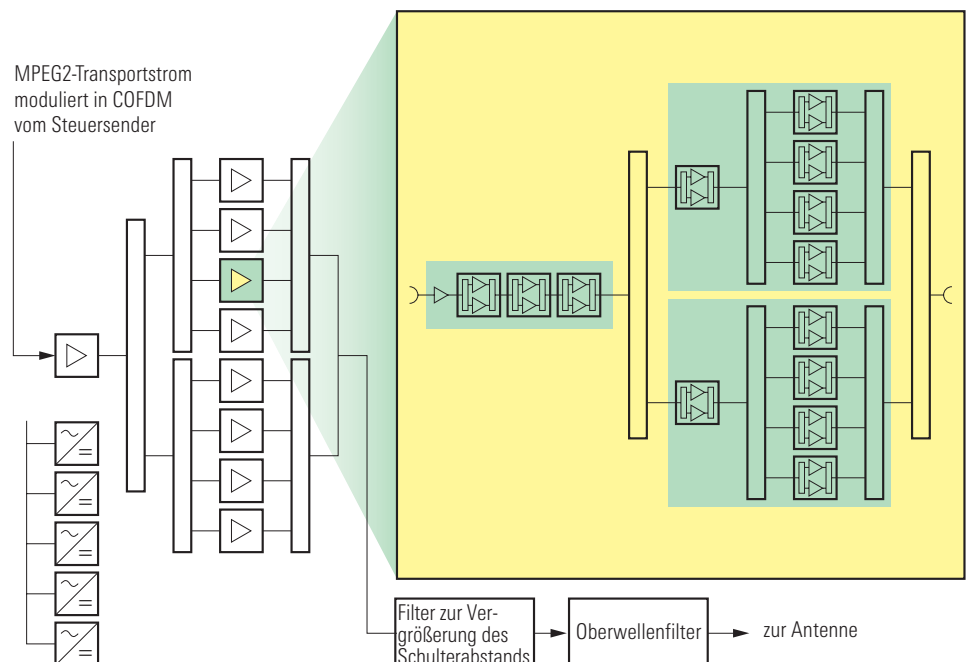


BILD 31 Prinzipieller Aufbau moderner Leistungssender mit Transistoren von Rohde & Schwarz.

- ▶ wachung leicht identifizierbar (BILD 33). Ist die Leistung, z. B. beim DVB-T-Sender NV 7250, um den konstanten Wert von 1,59 dB gesunken, so ist einer der sechs Verstärker ausgefallen. Bei höheren Senderleistungen verringert sich der Wert der Änderung, ist aber über das Histogramm immer noch eindeutig zu erkennen. Der jeweilige Leistungsabfall lässt sich mit der zuvor beschriebenen Gleichung berechnen.

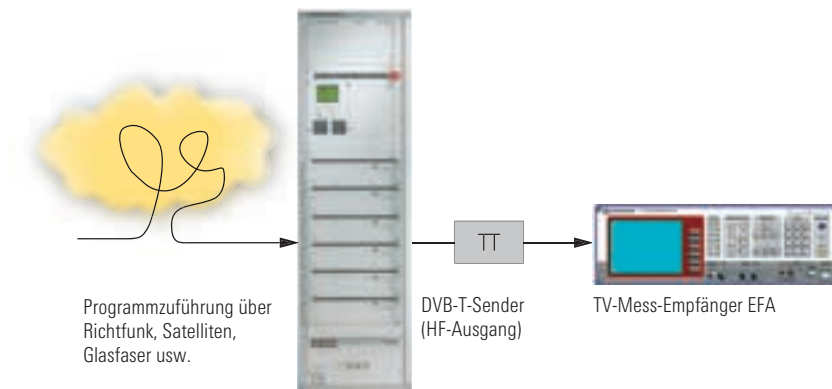


BILD 32 Langzeit-Messung der Senderleistung.

Was tun, wenn ein Verstärker ausgefallen ist?

Als erstes muss der defekte Verstärkereinschub aus dem Sendergestell herausgezogen und der Ersatz einsetzt werden. Dies ist bei Sendern von Rohde&Schwarz auch während des Sendebetriebs möglich. Danach sind Pegel und Phase des Ersatzverstärkers an die des Zwillings einsetzes anzupassen. Als Messmittel dienen hier wiederum ein Spektrumanalysator FSEx oder FSP oder ein zur Überwachung des DVB-T-Senders evtl. vorhandener Mess-Empfänger EFA. Der Abgleich gestaltet sich sehr einfach: Wenn die Phase korrekt abgeglichen ist, gibt der Sender die maximale Leistung ab. Die Phase wird also solange verstellt, bis die maximale Senderausgangsleistung erreicht ist.

Sigmar Grunwald

(wird fortgesetzt)

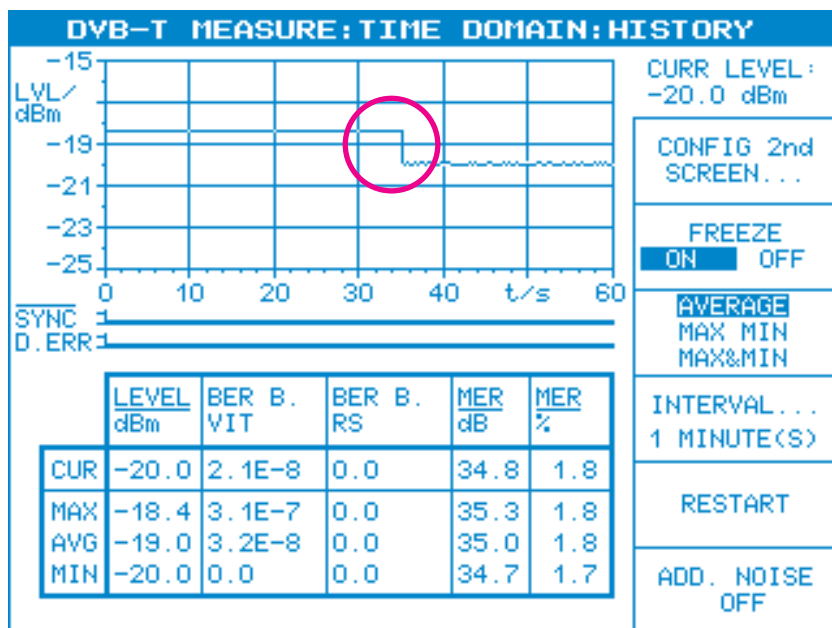


BILD 33 Leistungs-Histogramm am Mess-Empfänger EFA. Rot markiert: Deutlich ist der Leistungsabfall nach dem Aussetzen eines der sechs Verstärker erkennbar.

LITERATUR

- [11] Application Note 7BM12 (kostenlos auf der Web-Seite von Rohde&Schwarz).
- [12] UHF-Senderfamilie NV/NH 7000 – Flüssigkeitsgekühlte TV-Sender für das digitale terrestrische Fernsehen. Neues von Rohde&Schwarz Nr. 165 (1999), S. 11–13.