



TV-Meßsender R&S SFQ

Kurzdaten

Frequenzbereich	0.3 MHz...3.3 GHz
MPEG2-Eingänge	ASI SPI TS PARALLEL
Fehlersimulation	
I/Q Amplitudenfehler	± 25%
I/Q Phasenfehler	± 10°
Restträger	0...50 %
Spezialfunktionen	Scambler, Reed Solomon, alle Interleaver abschaltbar
DVB-C	
Modulation	16, 32, 64, 128, 256 QAM
DVB-S	
Modulation	QPSK
Code Rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Modulation	8PSK
Code Rate	2/3, 5/6, 8/9
Modulation	16QAM
Code Rate	3/4, 7/8
DVB-T	
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
FFT Mode	nicht hierarchisch, hierarchisch
Bandbreiten	8k und 2k
Punktzierung	6, 7, 8 MHz
Punktzierung	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
ATSC	
Modulation	8 VSB
Bandbreite	6 MHz
Datenrate	19.392658 Mbit/s ± 10%
Symbolrate	10.762 MSymbols/s ± 10 %
ITU-T J.83 B	
Bandbreite	6 MHz
Modes	64 QAM, 256 QAM
Eingangsdatenrate	26.970 Mbit/s for 64 QAM, 38.8107 Mbit/s for 256 QAM,
Symbolrate	5.0569 MS/s for 64 QAM, 5.3605 MS/s for 256 QAM
Bereich	Symbolrate ±10 %
Daten Interleaver	Level1 und Level2
Interne Testsignale	NULL TS PACKETS NULL PRBS PACKETS PRBS (2 ²³ -1 und 2 ¹⁵ -1)
Optionen	Fading Rauschgenerator Input Interface BER Messung



TV-Meßsender R&S SFL-J

Kurzdaten

Frequenzbereich	5 MHz...1.1 GHz
Pegelbereich	0....-140 dBm
MPEG2-Eingänge	ASI SPI TS PARALLEL
Fehlersimulation	
I/Q Amplitudenfehler	± 25%
I/Q Quadraturfehler	± 10°
Restträger	0...50 %
Spezialfunktionen	Scambler, Reed Solomon, alle Interleaver abschaltbar
Modulation	64, 256 QAM
Interne Testsignale	NULL TS PACKETS NULL PRBS PACKETS PRBS (2 ²³ -1 und 2 ¹⁵ -1)
Option	Rauschgenerator R&S SFL-N auf Anfrage

5.4 Wichtige Anforderungen an einen ITU-T J.83 B Meßsender

In diesem Abschnitt werden speziell die Anforderungen an einen TV-Meßsender für ITU-T J.83 B beschrieben.

Ein Testsender wird zur Simulation von möglichen Fehlern im DTV-Modulator und zur Nachbildung von Verzerrungen im Übertragungskanal benötigt. Beide Arten der Signalbeeinflussung bestimmen unter welchen Bedingungen ein Empfänger störungsfrei arbeiten muß. Nimmt man als Beispiel den Test einer ITU-T J.83 B STB, so muß der Meßsender neben üblichen Parameteränderungen, wie Sendefrequenz und Ausgangspegel, über einige Einstellungen mit definierten Abweichungen von der Norm verfügen.

Eine STB ist zumindest in drei Frequenzbereichen in ihrer Funktion zu testen:

- im untersten HF-Kanal
- in einem mittleren HF-Kanal und
- im obersten HF-Kanal.

Die TV-Meßsender R&S SFQ und R&S SFL-J können beispielsweise alle Frequenzen zwischen 0.3 MHz und 3.3 GHz einstellen und gehen damit weit über den ITU-T J.83 B Frequenzbereich hinaus. Die Kanäle können auch in Kanaltabellen gespeichert sein.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM	

RF FREQUENCY	EDIT
FREQUENCY →	1000.000 MHz
FREQUENCY SHIFT →	0.000 MHz
CHANNEL →	
CHANNEL TABLE →	NONE

F2=STATUS

Bild 5.26 Frequenzeinstellung beim R&S SFQ

Ein weiterer Test betrifft den störungsfreien Empfang bei einem Minimalpegel von typ -70 dBm. Der Einstellbereich des R&S SFQ liegt zwischen + 6dBm und -99 dBm und beim R&S SFL-J zwischen 0 und -140 dBm und umfaßt in jedem Falle den gewünschten Minimalpegel.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER
RF LEVEL →	EDIT		
RF LEVEL SHIFT →	-30.0 dBm		
RF LEVEL MODE	0.00 dB		
	NORMAL		
RF ALC MODE →	AUTO		
RF ALC OFF MODE →	TABLE		
RF ALC SEARCH ONCE	PASSED		
RF ALC LEARN TABLE			

F2=STATUS

Bild 5.27 Pegeleinstellung beim R&S SFQ

In der Modulationsart ITU-T J.83 B sind modulator- und übertragungsspezifische Parameter einschließlich Rauschüberlagerung und Fadingprofile zu verstellen. Damit sind alle realen Signalveränderungen für das ITU-T J.83 B System simulierbar. Die mit dem "Streßsender" R&S SFQ definiert erzeugte schlechte Signalqualität kann auf diesem Wege die Empfindlichkeit einer STB gegenüber Störungen testen.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM	5.057 Msym/s

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	EXTENDED
		ITU-T J.83/B	EDIT	
DUB-S GPM	→	DAB	→	64
DUB-C GPM	→	I/Q	→	NORMAL
DUB-T CUFM	→	I/Q PHASE ERROR	→	0.5 DEG
ITU-T J.83/B	→	CARRIER SUPPRESSION	→	0.0 %
ATSC 8PSK	→	I/Q AMPL. IMBALANCE	→	0.0 %
I/Q EXTERNAL	→	NOISE	→	
FM	→	FADING	→	
CH 2/12/20/24	→	CH/MODULATION	→	MOD.

F2=STATUS

Bild 5.28 Einstellungen für modulator- und übertragungsbedingte Parameter in ITU-T J.83 B

Erklärungen zu den Parametern sind unter 5.8 "Die QAM Parameter" zu finden.

Weitere wichtige Anpassungen an die ITU-T J.83 B Möglichkeiten sind im Menüpunkt "I/Q CODER" vorgesehen. Hier werden die TS-Parameter für den Modulator bestimmt.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM	5.057 Msym/s

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	EXTENDED
			EDIT (INFO)	MEASURE
I/Q CODER →		ASB		26.971 MBIT/s
INPUT SELECT →		(MAX. 26.970 MBIT/s)		9.666 MBIT/s
INPUT DATA RATE →		5.057 Msym/s		
USEFUL DATA RATE →				
ROLL OFF →		DATA		
INTERLEAVER MODE →		(12B, 1) (0001 LEVEL 1+2)		
SPECIAL →				

F2=STATUS F3=PRESET...

Bild 5.29 Einstellungen im Menü I/Q für ITU-T J.83 B

Als großen Unterschied zu den DVB Systemen sind die Einstellungen im "INTERLEAVER MODE" zu sehen.

Während bei DVB der "Convolutional Interleaver"

mit 12 Zweigen und der FIFO Speichertiefe $M = 17$ fest vorgegeben ist, lässt sich der "Convolutional Interleaver" bei ITU-T J.83 B in vielfältigen Modi betreiben. Der "Convolutional Interleaver" ist in 5.1.4 Der Interleaver genau beschrieben.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOL RATE
1000.000 MHz	-30.0 dBm	J.83/B 64QAM	5.057 MSym/s
RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER
I/Q CODER			
INPUT SELECT	(1,0) (CTRL WORD)	(0,0) (CTRL WORD)	(0,0) (CTRL WORD)
INPUT DATA RATE	(16,2) (0011,LEVEL2)	(16,2) (0011,LEVEL2)	(16,2) (0011,LEVEL2)
USEFUL DATA RATE	(32,4) (0101,LEVEL2)	(32,4) (0101,LEVEL2)	(32,4) (0101,LEVEL2)
SYMBOL RATE	(16,8) (0111,LEVEL2)	(16,8) (0111,LEVEL2)	(16,8) (0111,LEVEL2)
MODE	(8,16) (1001,LEVEL2)	(8,16) (1001,LEVEL2)	(8,16) (1001,LEVEL2)
ROLL OFF	(1,0) (CTRL WORD)	(1,0) (CTRL WORD)	(1,0) (CTRL WORD)
INTERLEAVER MODE	(1,0) (CTRL WORD)	(1,0) (CTRL WORD)	(1,0) (CTRL WORD)
SPECIAL	(128,1) (0000,LEVEL1+2)	(128,1) (0000,LEVEL1+2)	(128,1) (0000,LEVEL1+2)
	(128,2) (0010,LEVEL2)	(128,2) (0010,LEVEL2)	(128,2) (0010,LEVEL2)
			[F2=STATUS]

Bild 5.30 Die Interleaver-Einstellungen

Alle Zustände der Tabelle 5.2 "Interleaver Level und Steuerworte" sind wählbar.

5.5 Leistungsmessung

Die Ausgangsleistung eines DTV-Senders lässt sich nicht so einfach wie die eines analogen Senders messen. In der analogen Welt wird mit ausreichender Bandbreite die effektive Leistung im Bereich des Synchronimpuls-Bodens ermittelt und als effektive Synchronimpuls-Spitzenleistung angezeigt. Bei DTV ist jedoch durch die Energieverwischung und die Symbolformung im DTV-Modulator innerhalb der Nyquist-Bandbreite des Signals eine konstante Leistungsdichte vorhanden (BILD 5.31). Zu messen ist also nur die Gesamtleistung innerhalb des DTV-Kanals.

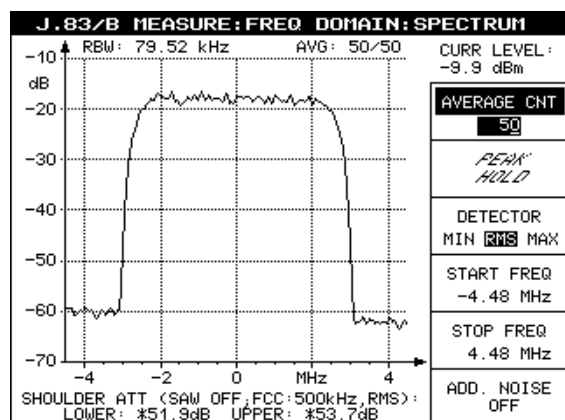


Bild 5.31 Konstante Leistungsdichte im ITU-T J.83 B - Kanal

Zur Messung der ITU-T J.83 B Signalleistung sind heute drei Methoden bekannt:

5.5.1 Messung der mittleren Leistung mit einem thermischen Leistungsmesser Typ R&S NRVS



Kurzdaten R&S NRVS mit Leistungsmeßkopf R&S NRV-Z51

R&S NRVS	
Frequenzbereich	DC...40 GHz,
Pegelbereich	100 pW...30 W (je nach Meßkopf)
Meßwertdarstellung	
absolut	W, dBm, V, dBmV
relativ	dB, %W oder %V bezogen auf einen gespeicherten Referenzwert, IEC 625 Bus
Fernsteuerschnittstelle	50 V
max. Eingangsspannung	
R&S NRV-Z51	
Leistungsmeßkopf	thermisch
Impedanz	50 O
Anschluß	System N
Frequenzbereich	DC ... 18 GHz
Pegelbereich	1 µW ... 100 mW

Ein thermischer Leistungsmesser liefert die genauesten Ergebnisse, wenn nur ein ITU-T J.83 B - Kanal im Gesamtspektrum vorhanden ist. Zudem ist die Kalibrierung eines solchen Leistungsmessers mit einer hochgenau gemessenen Gleichspannung sehr einfach, wenn der Meßkopf auch DC-Messungen zulässt. Allerdings sollten bei der Bestimmung der ITU-T J.83 B - Leistung das ITU-T J.83 B -Signal absolut gleichspannungsfrei sein.

5.5.2 Messung der mittleren Leistung mit einem Spektrumanalysator R&S FSEx , R&S FSP oder R&S FSU

Nutzt man zur Leistungsmessung einen herkömmlichen Spektrumanalysator, reicht die maximale Meßbandbreite für einen 6-MHz-QAM-Kabelkanal nicht aus. Moderne Spektrumanalysatoren erlauben aber die breitbandige Leistungsmessung zwischen zwei frei definierbaren Frequenzen. So spielt die große Nyquist-Bandbreite des DTV-Signals keine Rolle mehr. Obendrein werden alle Arten von Amplitudenfrequenzgängen, wie sie in Kabelnetzen auftreten können, mit berücksichtigt, egal ob es sich um Echoeinflüsse oder „Schräglagen“ des Frequenzgangs handelt. Nach diesem Prinzip messen die Rohde & Schwarz-Spektrumanalysatoren R&S FSEx, R&S FSP oder R&S FSU die mittlere Leistung in DTV-Kanälen auf $\leq 1.5\text{ dB}$ genau.

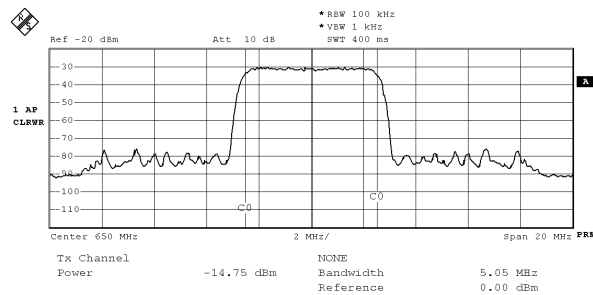


Bild 5.32a Leistungsmessung mit Frequenzcursor in der Nyquist-Bandbreite

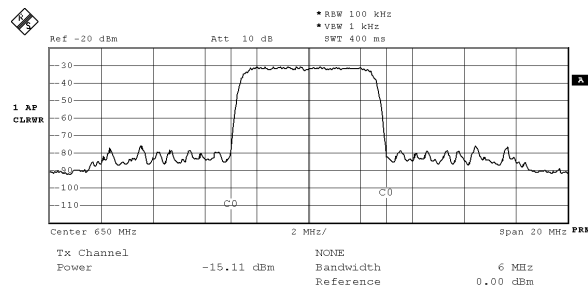


Bild 5.32b Leistungsmessung mit Frequenzcursor in der Kanal-Bandbreite

Je ein Frequenzcursor wird an Anfangsfrequenz und Endfrequenz des ITU-T J.83 B Kanals gesetzt. Der Spektrumanalysator errechnet dann die Leistung in der dazwischenliegenden Bandbreite. Die Meßgenauigkeit dieser Methode ist solange ausreichend, wie durch genügend Kanal-Abstand in der Frequenzebene, die Kanäle genau zu trennen sind. Bei der normalen ITU-T J.83 B Kanalbelegung - ohne Schutzkanal - kann die Messung fehlerbehaftet sein. Daher wird empfohlen, die Leistungsmessung

automatisch mit einem Meßdemodulator, wie in 5.5.3 beschrieben, durchzuführen.



SPECTRUM ANALYSER R&S FSP

Kurzdaten R&S FSP

Frequenzbereich (R&S FSP3/7/13/30)	9kHz...3/7/13/30 GHz
Amplitudenmessbereich	-140...+30 dBm
Amplitudendarstellbereich	10...200 dB, 10 dB Schritte, linear
Amplitudenmessfehler	< 0.5 dB bis 3 GHz <2.0 dB von 3...13 GHz <2.5 dB von 13...20 GHz
Auflösebandbreiten	1 Hz...30 kHz (FFT Filter) 10 Hz...10 MHz, Stufung 1,3 EMI Bandbreiten: 200 Hz, 9 kHz, 120 kHz Kanalfilter
Detektoren	Max. Peak, Min. Peak Auto Peak Sample, Average, RMS Quasi Peak
Darstellung	21 cm (8.4") Farb TFT LC Display VGA Auflösung
Fernsteuerung	IEC 625-2 (SCPI 1997.0) oder RS 232 C
Abmessungen (B x H x T)	412 x 197 x 417 mm
Gewicht (R&S FSP3/7/13/30)	10.5/11.3/12/12 kg



SPECTRUM ANALYSER R&S FSEx

Kurzdaten R&S FSEA/R&S FSEB

Frequenzbereich	20Hz / 9kHz...3.5 / 7 GHz
Amplitudenmessbereich	-155/-145...+30 dBm
Amplitudendarstellbereich	10...200 dB, 10 dB Schritte, < 1 dB bis 1 GHz
Amplitudenmessfehler	<1.5 dB über 1 GHz
Auflösebandbreiten	1 Hz / 10 Hz...10 MHz, Stufung 1,2,3,5
Kalibrierung	Amplitude Bandbreite Gleichrichterkehllinie
Darstellung	24 cm (9.5") Farb oder SW - TFT LC Display VGA Auflösung
Fernsteuerung	IEC 625-2 (SCPI 1997.0) oder RS 232 C

5.5.3 Messung der mittleren Leistung mit einem TV Meßempfänger R&S EFA Modelle 70 und 73

In der Statuszeile des R&S EFA-Displays sind immer alle wichtigen Signalparameter angezeigt. Im rechten oberen Statusfeld findet sich die mittlere Leistung in verschiedenen wählbaren Einheiten.

J. 83/B MEASURE			
SET RF	CHANNEL	ATTEN : 35 dB	
477.25 MHz		-8.3 dBm	
MODULATION:		84BAM	CONSTELL. DIAGRAM...
FREQUENCY:			
FREQUENCY OFFSET			
SET SYMBOL RATE	5.057		
SYMBOL RATE OFFSET			
BER:			
BER BEFORE RS	0.0E-8 (44/1000)		
BER AFTER RS	0.0E-8 (111/1000)		
TS BIT RATE 26.971 Mbit/s			
		QAM PARA-METERS...	
		RESET BER	
		ADD. NOISE OFF	

Bild 5.33 Leistungsmessung mit TV-Meßempfänger R&S EFA Mod. 70 oder 73



R&S EFA Modelle 70 und 73

Kurzdaten R&S EFA Varianten 70/73

Frequenzbereich	45...862 MHz, 5...1000MHz mit Option Selektion (R&S EFA-B3)
Eingangspegelbereich	-47...+14 dBm -84...+14 dBm (low noise) mit Option Selektion (R&S EFA-B3)
Bandbreiten	2/6/8 MHz
Demodulation	64/256 QAM
BER Auswertung	vor und nach Reed Solomon
Meßfunktionen/ Graphiken	Pegel, BER, MER, Trägerunterdrückung, Quadraturfehler, Phasenjitter, Amplitudenimbalance, Konstellationsdiagramm, Spektrum
Ausgangssignale Optionen	MPEG2 TS: ASI, SPI MPEG2 Meßdekoder, HF Vorselektion

Untersuchungen an Kanalspektren, die sogar grobe Abweichungen vom ebenen Frequenzgang zeigten, belegen die hohe Meßgenauigkeit des angezeigten Pegels. Der Pegelvergleich mit einem thermischen Leistungsmesser R&S NRVS ergab nach einer Meßreihe mit verschiedenen R&S EFA-Varianten bei unterschiedlichen Kanalfrequenzen und diversen nichtebenen Spektren eine größte Abweichung von kleiner 1dB. Durch die R&S EFA-internen SAW-Filter mit 2, 6 und 8MHz Bandbreite im ZF-Bereich ist die Messung auch im Falle der Nachbarkanalbelegung noch höchst präzise.

Hier soll nur ein Beispiel der Meßreihe gezeigt werden:

Ein Echo mit 250ns Verzögerung und 2dB Dämpfung wird über die FADING-Option des TV Meßsender R&S SFQ erzeugt.

Der direkte Pfad und dieses Echo liefern das Kanalspektrum nach Bild 5.34, in dem deutlich die tiefen Frequenzgangeinbrüche zu sehen sind.

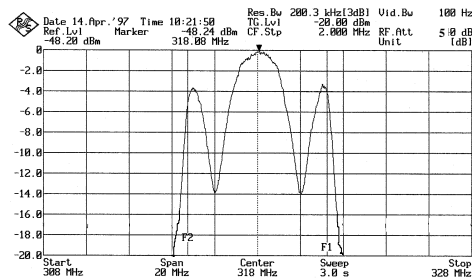


Bild 5.34 Fadingsspektrum

In Tabelle 5.7 sind die Meßergebnisse bei der größten Abweichung zwischen R&S NRVS und R&S EFA zusammengefaßt

Pegelmessung mit	R&S NRVS	R&S EFA
	-33.79 dBm	-33.0 dBm

Tabelle 5.7 Vergleich der Meßergebnisse

Anmerkung:

Die genauen Ergebnisse dieser Pegelmessungen sind in der Application Note 7BM12 dargelegt (siehe auch Rezepte Teil 4 DVB-T Anhang 4A). Diese Messungen galten für die R&S EFA Modelle 20 und 23. Die Nachfolgemodelle 60 und 63 sind in der Pegel-Meßgenauigkeit noch verbessert worden, so daß von einer maximalen Abweichung von besser 1.0 dB ausgegangen werden kann.

5.6 Das Bitfehlerverhältnis BER (Bit Error Ratio)

Das digitale Fernsehen hat einen genau definierten Arbeitsbereich. Die Grenze zum Totalausfall des ITU-T J.83 B Systems ist scharf ausgeprägt wegen des verketteten Vorwärts-Fehler-schutzes, durch die Trellis-Codierung und den Reed-Solomon FEC. Der RS-FEC (128,122,3) kann die Transportstrom-Daten ab einem Bitfehlerverhältnis (Bit Error Ratio, BER) von etwa 7×10^{-5} (dieser Wert ist meß-technisch ermittelt, nicht theoretisch abgeleitet) zum fast fehlerfreien Datenstrom ($BER < 1 \times 10^{-11}$, ein Fehler pro 15 Minuten) korrigieren. Das Bitfehlerverhältnis, das es zu messen gilt, wird von bekannten Fehlerquellen bestimmt. Die Fehler lassen sich unterteilen in solche, die im ITU-T J.83 B-Modulator/Sender entstehen und weitere, die während der Übertragung dem Signal überlagert werden. Die Fehler des Modulators/Senders sind:

- unterschiedliche Amplituden in I- und Q-Komponenten,
- von 90° abweichende Phase zwischen I- und Q-Achse,
- im Modulator erzeugter Phasenjitter,
- nicht ausreichende Trägerunterdrückung bei der ITU-T J.83 B-Modulation,
- sowie Fehler in Amplituden- und Phasengang, die die I- und Q-Impulsformung bei der Filterung verfälschen und
- im Modulator erzeugtes Rauschen, das den QAM-Signalen überlagert ist.

Auf dem Übertragungsweg kommen weitere Verzerrungen des Amplituden- und Phasengangs hinzu:

- Nichtlinearitäten der Kabelverstärker verzerren die ITU-T J.83 B QAM-Signale,
- Intermodulationen mit Nachbarkanälen beeinflussen die Signalqualität, und
- Interferenzstörer und Rauschen überlagern sich dem Nutzsignal
- Reflexionen verfälschen den Frequenzgang
- im optischen Medium führt Laserclipping zu Bitfehlern

Während die Fehler, die außerhalb des Modulators entstehen, durch Zusatzgeräte nachgebildet werden können, sind alle modulatorspezifischen Verzerrungen nur mit einem professionellen Meßsender definiert einstellbar.

Hier wird der TV-Meßsender R&S SFQ zum Streßsender. Er erlaubt für jeden einzelnen Parameter die Fehleinstellung bis zum Totalausfall des digitalen Fernsehens.



Bild 5.35 Das R&S SFQ Menü zur J.83B-Parameter-einstellung

Nicht nur der TV-Meßsender R&S SFQ ist zur Kontrolle eines DVB-Systems unentbehrlich. Nach der ITU-T J.83 B-Übertragung über Kabel ist natürlich auch ein Meßdemodulator zur Überwachung des digitalen Fernsehsignals unabdingbar.

Die Lösung für ITU-T J.83 B von Rohde & Schwarz dazu heißt:



TV-Meßempfänger R&S EFA Modell 70 oder 73.

Neben der Kanalmittenfrequenz und dem Pegel des empfangenen Kabelkanals ist der wichtigste Empfangsparameter das Bitfehlerverhältnis BER. Die Messung dieses Parameters setzt einen Bitvergleich der Daten vor und nach der Vorwärts-Fehlerkorrektur (RS FEC) voraus.

J.83/B MEASURE			
SET RF	CHANNEL	ATTEN	35 dB
477.25 MHz		-7.4 dBm	
MODULATION:		64QAM	CONSTELL. DIAGRAM...
FREQUENCY:			FREQUENCY DOMAIN...
FREQUENCY OFFSET	0.096 kHz		TIME DOMAIN...
SET SYMBOL RATE	5.057 MSym/s		
SYMBOL RATE OFFSET	1.0 ppm		
BER:			QAM PARAMETERS...
BER BEFORE RS	8.6E-6 (10/10)		RESET BER
BER AFTER RS	0.1E-10 (19K1/100K)		

BER BEFORE RS	8.6E-6 (10/10)
BER AFTER RS	0.1E-10 (19K1/100K)

Bild 5.36 Das ITU-T J.83 B-Meßmenü: BER-Messung

Der Bitvergleich liefert exakte Ergebnisse bis zu einer Bitfehlerquote vor Reed-Solomon von ca. $1 \cdot 10^{-3}$, da die Fehlerkorrektur im ITU-T J.83 B-System bis zu diesem Wert noch einen auswertbaren Datenstrom rekonstruiert.

Soll ein definiertes BER erzeugt werden, benützt man dazu einen Rauschgenerator mit einstellbarer Bandbreite und Pegel. Da bis heute keine theoretisch berechneten Kurven die Abhängigkeit des BER vom Signal-Rauschabstand S/N beschreiben, wird hier nur auf empirisch ermittelte Werte verwiesen. Die Norm besagt, daß ein QEF-Datenstrom (Quasi Error Free) einen Fehler pro 15 Minuten zuläßt.

Betrachtungen für 64 QAM

Bei dem QEF-Datenstrom nach Reed-Solomon FEC liegen die gemessenen Werte für S/N bei ca. 22.0 dB und das BER vor RS erreicht ca. $2 \cdot 10^{-5}$.

Vergleicht man diese Werte mit den bei DVB-C errechneten, so sieht man daß die Trellis-Kodierung in ITU-T J.83 B im 64 QAM Mode ein um 2 dB schlechteres S/N Verhältnis zuläßt und daß der RS-FEC etwa um eine Dekade BER weniger korrigieren kann.

Betrachtungen für 256 QAM

Bei dem QEF-Datenstrom nach Reed-Solomon FEC liegen die gemessenen Werte für S/N bei ca. 28 dB und das BER vor RS erreicht ca. $7 \cdot 10^{-5}$.

Vergleicht man diese Werte mit den bei DVB-C errechneten, so sieht man daß die Trellis-Kodierung in ITU-T J.83 B im 256 QAM Mode auch ein um etwa 2 dB schlechteres S/N Verhältnis zuläßt und daß der RS-FEC etwa um eine Dekade BER weniger korrigieren kann.

Rauschgeneratoren sind im TV-Meßempfänger R&S EFA und im TV-Meßsender R&S SFQ (hier optional) vorhanden.

Wegen des steilen Verlaufs der Kurven im Bereich $\text{BER} \leq 7 \cdot 10^{-5}$, dem angenommenen Bezug für BER verknüpfte Messungen bei ITU-T J.83 B, ist der Pegel des Rauschens sehr genau zu bestimmen.

Dies gelingt entweder mit der in der Application Note 7BM03 (siehe Teil 4 DVB-T Anhang 4C) beschriebenen Methode oder über die direkte Messung mit dem TV-Meßempfänger R&S EFA. In 7BM03 ist auch die Umrechnung von C/N nach S/N erläutert.

Die hohe Genauigkeit der mit dem TV-Meßempfänger R&S EFA gemessenen und angezeigten Werte gewährleistet auch bei dem

Parameter S/N nur geringste Abweichungen vom realen Wert. Die Statistik kommt hier dem professionellen Gerät zu Hilfe.

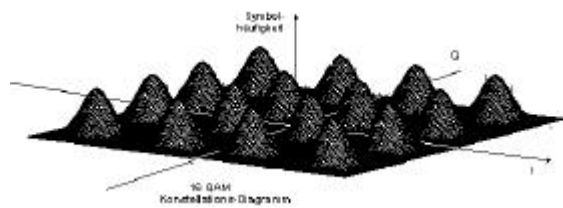


Bild 5.37 Beispiel: Die Symbolverteilung im 16 QAM Konstellations-Diagramm

Das jeder Symbolwolke im Konstellationsdiagramm überlagerte Rauschen, das den statistischen Gesetzen folgt, erlaubt die Berechnung der QAM-Parameter auf mindestens zwei Stellen nach dem Komma genau. Voraussetzung ist natürlich die Auswertung einer genügend großen Anzahl von Symbolen pro Zeiteinheit.

Bevor der TV-Meßempfänger R&S EFA den Meßwerte ermittelt, läuft ein Synchronisationsvorgang ab: der Empfangsteil rastet auf den HF-Träger ein, die Symbolrate wird erkannt und synchronisiert, der adaptive Equalizer entzerrt Amplituden- und Phasengänge und der Transportstrom-Rahmen wird über das entsprechende Synchronbyte erkannt. Dabei zeigt der QAM-Meßdemodulator R&S EFA den jeweiligen Synchronisationszustand an. Es ist also immer bekannt, ob oder wie weit die Synchronisation abgeschlossen ist und wann die Werte der gemessenen Parameter gültig sind.

Für ein Echtzeit-Überwachungssystem ist eine Messung pro Sekunde ausreichend. In dieser Zeit berechnet der Meßdemodulator R&S EFA die gemäß der Norm TR 101 290 vorgeschriebenen Parameter unter Verwendung von etwa 70 000 Symbolen. Für jede Symbolwolke im 64QAM-Konstellations-Diagramm stehen daher rund 1100 Symbole je Sekunde zur Auswertung zur Verfügung, was für die hohen Anforderungen an die SNR Messung und der weiteren Parameter auch unbedingt notwendig ist.

5.7 Messung des BER mit R&S SFQ und R&S SFQ-B17 bzw. R&S SFL-J und R&S SFL-K17

Die Meßsender R&S SFQ und R&S SFL-J generieren intern PRBS Sequenzen (PRBS Pseudo Random Binary Sequence) unterschiedlicher Lauflängen. Sie sind mit $2^{23}-1$ oder mit $2^{15}-1$ spezifiziert. Nach der Modulation gemäß ITU-T J.83 B demoduliert ein zu testendes Gerät (DUT Device Under Test- z.B. eine Set Top Box) dieses Signal. Falls keine Fehler bei der Übertragung und der Demodulation auftreten, sind die Ausgangsdaten wieder identisch zu der im Meßsender erzeugten PRBS. Diese Daten kann die Option R&S SFQ-B17 bzw. R&S SFL-K17 auf eventuelle Fehler hin untersuchen, wenn sie über den entsprechenden Eingang an den Meßsender wieder zurückgeführt sind.

SFQ Einstellungen

MODULATION	NOISE ON C/N wird variiert
CODER	REED SOLOMON OFF MODE NULL PRBS PACKET PRBS $2^{23} - 1$
SPECIAL	BER MEASUREMENT ON BER INPUT PARALLEL MODE NULL PRBS PACKET BER PRBS SEQUENCE $2^{23} - 1$

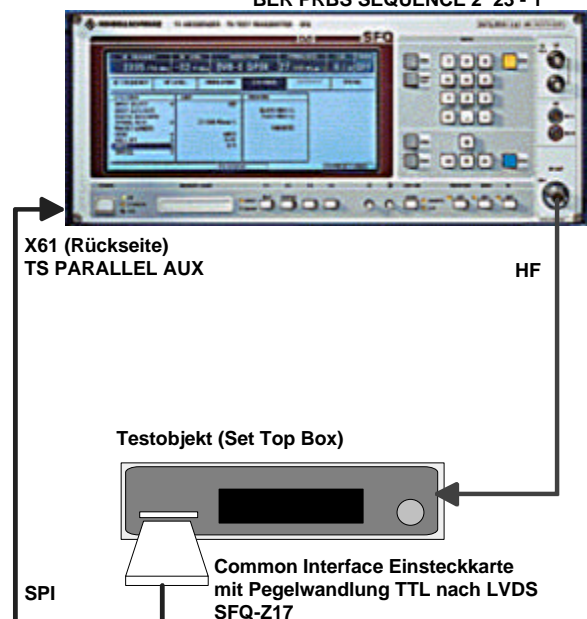


Bild 5.38 Testaufbau zur BER Messung

Der TV Meßsender R&S SFQ oder R&S SFL-J moduliert die NULL PRBS PACKET (Nullpakete, deren Nutzdaten aus PRBS-Bytes besteht).

Die Kanalcodierung ist vollständig, nur der Reed Solomon Encoder ist abgeschaltet.

Damit erkennt der Reed Solomon Decoder im Testobjekt mehr als 3 scheinbar fehlerhafte Bytes weil die 6 Fehlerschutzbytes fehlen. Der Reed Solomon Decoder setzt das Error-Flag TEI (Transport Error Indicator) und lässt den Transportstrom unverändert passieren. So kann auf einfache Weise das Bitfehlerverhältnis vor dem Reed Solomon Decoder gemessen werden.

Der Transportstrom steht bei einer STB am Common Interface in TTL Pegel zur Verfügung. Eine Adapterkarte wandelt die TTL-Signale in LVDS-Signale um. Diese Signale werden für die Bitfehlerverhältnismessung dem R&S SFQ über den TS PARALLEL AUX Eingang bzw. dem SFL-J über den Eingang TS PARALLEL/SPI zugeführt. In den Optionen R&S SFQ-B17 BER Messung bzw. R&S SFL-K17 BER Messung wird bei der Einstellung NULL PRBS PACKET der Header (4 Byte) der Transportpakete entfernt. Die 184 Byte Nutzdaten enthalten die originale PRBS $2^{23} - 1$, welche für die Bestimmung des Bitfehlerverhältnisses ausgewertet wird.

Sind die Daten seriell und der zugehörige Datentakt vorhanden, so ist auch in dieser Konfiguration die Messung des Bitfehlerverhältnisses durchzuführen.

5.8 Die QAM-Parameter

Zur Erklärung der Messung der QAM-Parameter ist zuerst der Aufbau eines Konstellations-Diagramms zu beschreiben. Das Diagramm ist bei ITU-T J.83 B in 64 bzw. 256 gleichgroße Entscheidungsfelder eingeteilt. Symbole innerhalb dieser Felder übertragen 6 bzw. 8 Bit. Durch Rauschen, das im Übertragungsweg überlagert wird, entstehen Symbolwolken. Solange diese Symbolwolken vollständig innerhalb eines Entscheidungsfeldes liegen, werden im Demodulator wieder die Originalbits demoduliert.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit bei der Verarbeitung der Symbole innerhalb der Entscheidungsfelder zu garantieren, findet sofort nach der Demodulation der Übergang in die "digitale" Ebene durch A/D Wandlung der I- und Q-Komponenten statt.

Zur Messung der QAM-Parameter werden durch die jetzt schon in der digitalen Ebene errechneten Mittelpunkte der I/Q Symbolwolken (siehe auch Bild 5.38) horizontale und vertikale Regressionsgeraden gezogen. Anhand dieser Geraden können dann die QAM-Parameter I/Q IMBALANCE, I/Q QUADRATURE ERROR und CARRIER SUPPRESSION berechnet

werden. Die Parameter SNR und PHASE JITTER werden über die Symbolwolken selbst errechnet.

In den folgenden Abschnitten sind die einzelnen Parameter erläutert.

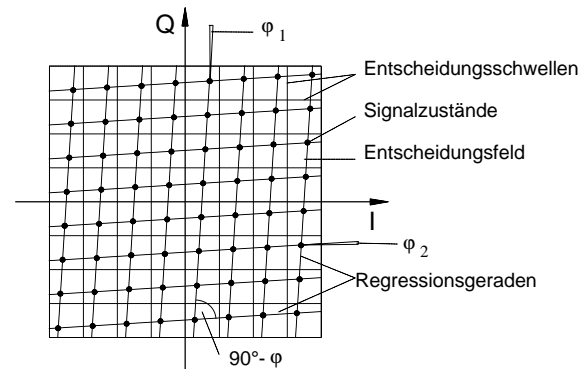


Bild 5.38 Der Aufbau des 64 QAM Konstellations-Diagramms

5.8.1 Das Entscheidungsfeld

Im QAM-Konstellations-Diagramm ist genau im Mittelpunkt eines jeden Entscheidungsfeldes der ideale Signalzustand für die Abbildung der Einzelsymbole, die aus dem I- und Q Wertepaar bestehen. Durch Ungenauigkeiten im QAM-Modulator, Quantisierungsfehler bei A/D- und D/A Wandlung und durch Überlagerung von Störungen während der Übertragung wird nach der Demodulation und der folgenden A/D-Wandlung dieser ideale Punkt nie getroffen.

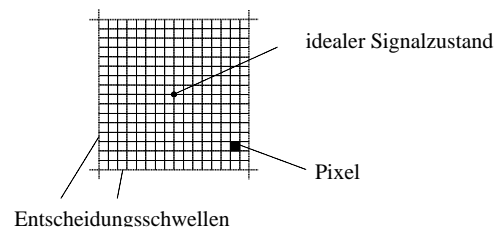


Bild 5.39 Das "A/D gewandelte" Entscheidungsfeld

Das "A/D gewandelte" Entscheidungsfeld zeigt alle "digitalen" Zustände, hier als Pixel bezeichnet. Der Mittelpunkt des Entscheidungsfeldes liegt zwischen den vier mittleren Pixeln. Ebenfalls mit Hilfe des immer vorhandenen Rauschens und der Statistik wird die Rasterung der Digitalisierung wieder aufgehoben und dadurch die Meßgenauigkeit um einige Zehnerpotenzen gesteigert.

5.8.2 Das QAM-Konstellations-Diagramm

Haben alle QAM-Parameter optimale Werte, so entsteht nach der Demodulation das ideale QAM-Konstellations-Diagramm.

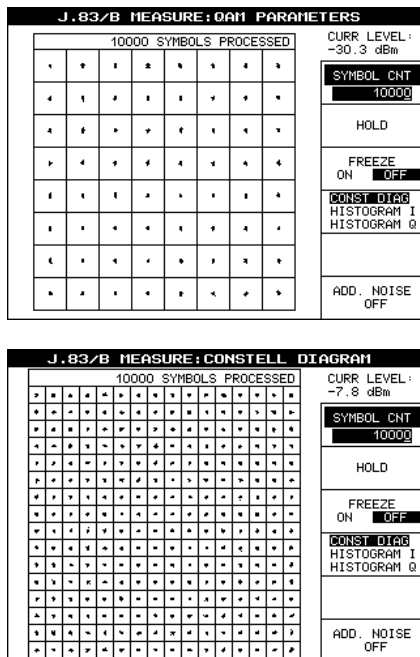


Bild 5.40 Die idealen 64- und 256QAM-Konstellations-Diagramme

Das ideale QAM-Signal erzeugt ein Konstellations-Diagramm, bei dem alle I/Q-Wertepaare exakt in der Mitte der Entscheidungsfelder liegen. Die 4 Eckpunkte bilden ein Quadrat.

Bei der Darstellung des Diagramms ist die absolute Phasenlage von I und Q noch nicht bekannt, weil die Phaseninformation wegen des unterdrückten Trägers fehlt. Es kann daher nicht angegeben werden in welche Richtung die I- oder die Q- Komponente zeigt. In den Diagrammen fehlt deshalb auch die Beschriftung der Koordinatenachsen.

5.8.3 I/Q Imbalance

Sind im ITU-T J.83 B Modulator die Verstärkungen im I- und im Q-Zweig nicht identisch, so spricht man von I/Q Imbalance. Die Berechnungsgleichung für diesen Parameter lautet:

$$I/Q \text{ IMBALANCE} = \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right) \cdot 100\%$$

mit $v_1 = \min(v_I, v_Q)$ und $v_2 = \max(v_I, v_Q)$

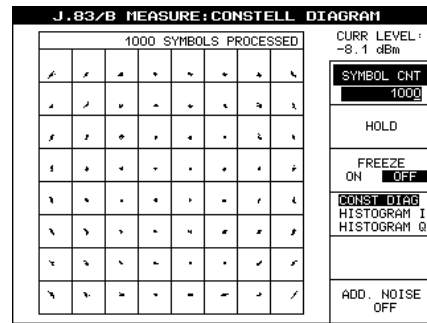


Bild 5.41 Das 64 QAM-Konstellations-Diagramm mit 10% I/Q Imbalance

Ein QAM-Signal mit Amplitudenungleichheit erzeugt ein Konstellations-Diagramm, bei dem die Abstände der I/Q Wertepaare in horizontaler und vertikaler Richtung nicht mehr gleich sind: hier ist der Abstand in horizontaler Richtung größer als in vertikaler. Die I/Q Wertepaare liegen nicht in der Mitte der Entscheidungsfelder. Die 4 Eckpunkte bilden ein Rechteck

5.8.4 I/Q Quadrature Error

Stehen im Modulator die I- und die Q- Achse nicht aufeinander senkrecht, so spricht man von I/Q Quadrature Error. Die Berechnungsgleichung für diesen Parameter lautet (siehe auch Bild 5.38):

$$\varphi = \frac{180^\circ}{p} \cdot \left[\arctan\left(\frac{v_Q}{v_I} \cdot a_Q\right) + \arctan\left(\frac{v_I}{v_Q} \cdot a_I\right) \right]$$

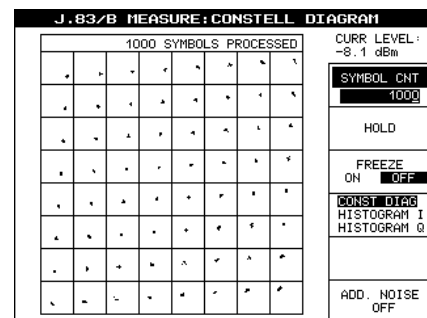


Bild 5.42 Das 64 QAM-Konstellations-Diagramm mit 8 ° I/Q Quadrature Error

Ein QAM-Signal mit Phasenfehler erzeugt ein Konstellations-Diagramm, bei dem die Regressionsgeraden nicht mehr parallel zu den Entscheidungsschwellen liegen. Die 4 Eckpunkte bilden eine Raute