

**TV Digital
Rezepte
Teil 2
DVB-C**

Inhaltsverzeichnis

2	Vorwort	3
2.1	Die Modulation für DVB-C (Kabel) gemäß EN 300 429	3
2.1.1	Das Basisbandeingangsmodul	3
2.1.2	Synchronwortinvertierung und Verwischung	3
2.1.3	Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon (FEC Forward Error Correction RS)	4
2.1.4	Der Interleaver	4
2.1.5	Umsetzung Byte auf Symbol im Kabelstandard DVB-C	4
2.1.6	Die Konstellationsdiagramme für QAM	5
2.1.7	Differenzkodierung der zwei höchstwertigen Bits	6
2.2	Bandbreite	6
2.3	Die Symbolraten und das 2 ^m QAM Spektrum im Kabelkanal	6
2.4	Die Kanalfrequenzen bei DVB-C	8
2.5	Die wichtigsten DVB-C Daten	8
2.6	Messungen in DVB-C	8
2.6.1	Wichtige Anforderungen an einen DVB-C Meßsender	9
2.6.2	Leistungsmessung	10
2.6.2.1	Messung der mittleren Leistung mit einem thermischen Leistungsmesser Typ NRVS	11
2.6.2.2	Messung der mittleren Leistung mit einem Spektrumanalysator von Typ FSEx oder FSP	11
2.6.2.3	Messung der mittleren Leistung mit einem TV Meßempfänger vom Typ EFA Varianten 60 und 63	12
2.6.3	Das Bitfehlerverhältnis BER	13
2.7	Die QAM Parameter	16
2.7.1	Das Entscheidungsfeld	16
2.7.2	Das ideale 64QAM-Konstellations-Diagramm	16
2.7.3	I/Q Imbalance	17
2.7.4	I/Q Quadrature Error	17
2.7.5	Carrier Suppression (Trägerunterdrückung)	17
2.7.6	Phase Jitter	18
2.7.7	Signal-Rausch-Verhältnis SNR	18
2.8	MÉR Modulation Error Ratio	19
2.9	BER Messung (Bit Error Ratio)	19
2.10	END (Equivalent Noise Degradation) Messung	20
2.11	DVB-C Spektrum	21
2.11.1	Spektrum in Amplitude und Phase	21
2.11.2	Spektrum und Schulterabstand	21
2.12	Echos im Kabelkanal	22
2.13	Der Crest Faktor des DVB-C Signals	22
2.14	Alarm Report	22
2.15	Optionen zum QAM-Meßdemodulator EFA Modell 60/63	24
2.15.1	HF Selektion EFA B3	24
2.15.2	Messungen mit der Option EFA B4 MPEG2 Meßdekoder	24
2.15.3	SAW Filter 2 MHz EFA-B14, 6MHz EFA-B11, 7MHz EFA-B12, 8MHz EFA-B13...	26
2.16	Zusammenfassung aller DVB-C spezifischen Messungen	28

2. Vorwort

Neben der Datenkodierung nach MPEG2 (Motion Picture Experts Group), die die Datenrate der Schnittstelle nach ITU-R BT.601 von 270 Mbit/s auf Werte um typisch 3 - 5 Mbit/s reduziert, ist für eine optimale Übertragung dieser Informationen auch eine spezielle Modulationsart nötig (siehe auch Teil 1 "ITU-R BT.601/656 und MPEG2"). Vergleicht man die analoge Modulation mit der in DVB (Digital Video Broadcasting) benutzten, so fällt auf, daß hier ein über die Kanalbandbreite flaches Spektrum mit konstanter mittlerer Leistungsdichte vorliegt.

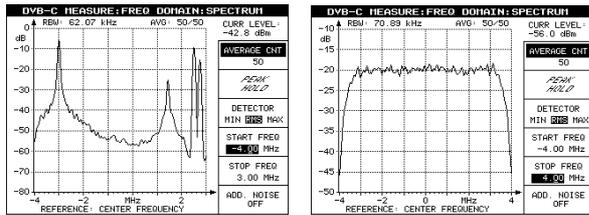


Bild 2.1 Das B/G PAL Spektrum im Vergleich zum DVB-C Spektrum

Mit dieser Modulationsart ist der Übertragungskanal in allen DVB Betriebsarten - DVB-C (Cable), DVB-S (Satellite) und DVB-T (terrestrisch) - optimal ausgenutzt. Im Folgenden wird auf die Besonderheiten von DVB-C eingegangen.

2.1 Die Modulation für DVB-C (Kabel) gemäß EN 300 429

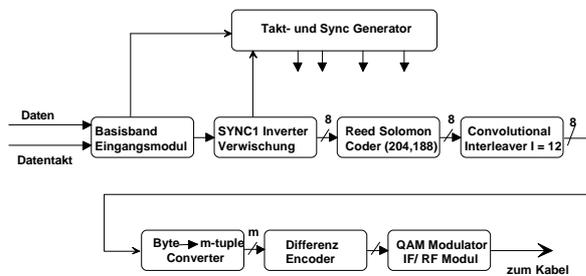


Bild 2.2 Funktionsstromlauf des DVB-C Modulators/Umsetzers

2.1.1 Das Basisbandeingangsmodul

Die MPEG2 Transportstrom-Pakete TS gelangen über die Schnittstellen

- SPI Synchronous Parallel Interface,
 - ASI Asynchronous Serial Interface,
 - SSI Synchronous Serial Interface,
 - SDTI Serial Digital Transport Interface,
 - HDB3 High Density Bipolar of order 3 oder
 - ATM Asynchronous Transfer Mode
- in den DVB-Raum des Hauses „Digitales Fernsehen“ (TV Digital Rezept Teil 1 ITU-R

BT.601/656 und MPEG2 1.Vorwort). In dem Basisband-Eingangsmodul werden die TS-Daten regeneriert, die Rückflussdämpfung optimiert und Pegel und Frequenzgänge korrigiert. Von hier aus erhält der Funktionsblock "Takt - und Sync - Generator", der als "Taktzentrale" für den gesamten DVB- Modulator arbeitet, alle nötigen Informationen. Diese sind zum Beispiel die Datenrate, abgeleitet von den eingehenden TS-Daten, im Falle von SPI zusätzlich die Signalisierung des Syncbytes im TS-Paket bzw. die Information ob die Daten gültig sind oder nicht mittels der Data Valid Leitung. Die regenerierten TS-Pakete gelangen vom Ausgang des Basisband-Eingangsmoduls an den Eingang des nächsten Funktionsblocks:

"Synchronwortinvertierung und Verwischung".

2.1.2 Synchronwortinvertierung und Verwischung

Nach dem Eingangsmodul folgt der erste Bearbeitungsschritt der TS-Pakete: die „Synchronwortinvertierung und Verwischung“. Die Verwischung - besser gesagt die Verwürfelung der Daten - garantiert eine konstante mittlere Leistung am Modulatorausgang.

Das PRBS-Polynom $1 + x^{14} + x^{15}$ „verwischt“ die Daten in den TS-Paketen (der Aufbau der TS-Pakete ist in TV Digital Rezept Teil 1 ITU-R BT.601/656 und MPEG2 1.8 Transport Strom TS beschrieben), jedoch nicht die Synchronwörter (0x47). Die Lauflänge dieses Polynoms beträgt 1503 Bytes und ist damit genau 8 TS-Pakete abzüglich des bitweise invertierten Synchronwortes des ersten TS-Paketes lang, dessen Wert jetzt 0xB8 beträgt. Das 15 Bit lange PRBS-Register wird mit der Folge „100101010000000“ nach jedem Zyklus von 8 Paketen geladen. Das invertierte Synchronwort kennzeichnet den Anfang der Verwischungssequenz.

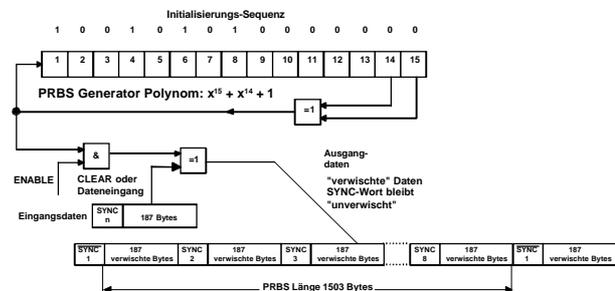


Bild 2.3 Sync 1 Invertierung und Verwischung

Dieser TS Verarbeitungsschritt ist für alle drei DVB-Systeme identisch und findet sich in Teil 3 DVB-S und Teil 4 DVB-T wieder.

Synchronwortinvertierung und Verwischung

PRBS-Polynom	$x^{15} + x^{14} + 1$
Initialisierung PRBS-Register	100101010000000
Lauflänge des Polynoms	1503 Bytes
Länge der Verwischungssequenz	1503 Bytes + invertiertes Syncbyte = 8 TS-Pakete
Synchronwort	0x47
Bitweise invertiertes Synchronwort	0xB8

Tabelle 2.1

2.1.3 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon (FEC Forward Error Correction RS)

Den wie oben vorbehandelten TS-Paketen werden 16 Fehlerschutzbytes angehängt. Die erweiterten TS-Pakete haben jetzt die Länge 204 Bytes.



Bild 2.4 204,188,8 RS-Fehlerschutz

Mit diesem 204,188,8 RS-Fehlerschutz lassen sich im Empfänger/Dekoder pro TS-Paket bis zu 8 fehlerhafte Bytes korrigieren. Der RS-FEC kann Bitfehler-Verhältnisse BER von $2 \cdot 10^{-4}$ auf den „fast fehlerfreien“ (QEF: quasi error free) Datenstrom korrigieren mit dem Rest-BER von $< 1 \cdot 10^{-11}$.

Anmerkung: Das $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ dient als Referenz für fast alle Qualitätsmessungen bei DTV (Digital Television).

Auch dieser TS-Verarbeitungsschritt ist für alle drei DVB-Systeme identisch und findet sich in Teil 3 DVB-S und Teil 4 DVB-T wieder.

RS FEC

TS-Paketlänge	188+16 = 204 Bytes
Korrektur	bis zu 8 fehlerhafte Bytes pro TS-Paket
Korrekturvermögen	BER von $2 \cdot 10^{-4}$ auf $1 \cdot 10^{-11}$

Tabelle 2.2 Vorwärtsfehlerschutz nach Reed und Solomon

2.1.4 Der Interleaver

Wenn Übertragungsfehler auftreten, dann verfälschen sie meist nicht nur ein Bit im Datenstrom, sondern viele Bits in Folge. Man spricht von „Fehlerbursts“, die durchaus mehrere hundert Bits betreffen und sogar ganz auslöschen können. Die Möglichkeiten des RS-Fehlerschutzes 8 Bytes pro TS-Paket zu korrigieren reichen dann nicht aus. Deshalb wird der Interleaver eingesetzt, der zwischen ursprünglich benachbarten Bytes eines TS-Paketes minimal 12 Bytes (der Convolutional Interleaver hat 12 Zweige, siehe Bild 2.5) und maximal 2244 Bytes von anderen TS-Paketen einfügt. Burstfehler von maximal $12 \times 8 = 96$ Bytes Länge können nun korrigiert werden, wenn nach dem Deinterleaver im Empfänger/Decoder nicht mehr als 8 fehlerhafte Bytes pro TS-Paket auftreten.

Interleaver

Pfade	$I = 12$
Speichertiefe der FIFOs	$M = 17 (= 204 / I)$ bytes
SYNC Bytes	immer über Pfad 0

Tabelle 2.3

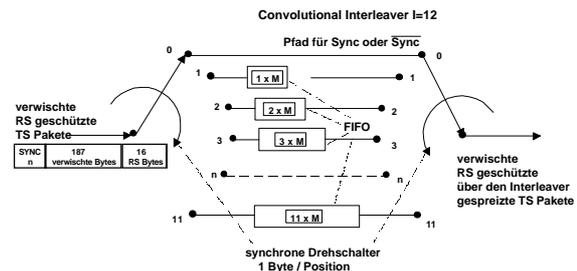


Bild 2.5 Convolutional Interleaver

Auch dieser TS-Verarbeitungsschritt ist für alle drei DVB-Systeme identisch und findet sich in Teil 3 DVB-S und Teil 4 DVB-T wieder.

Ab hier sind für die verschiedenen DVB-Standards unterschiedliche Wege vorgeschrieben.

2.1.5 Umsetzung Byte auf Symbol im Kabelstandard DVB-C

Bisher war immer nur von Bits und Bytes die Rede. Um wie im Kabelstandard DVB-C mit QAM (Quadrature Amplitude Modulation) die 8 Bit breiten TS-Daten zu übertragen, müssen sie in Symbole überführt werden.

Symbole sind "cos roll off" gefilterte analoge Impulse mit $\sin(x)/x$ -ähnlichem Spektrum und 2^n Amplitudenstufen für die I- und Q Komponente. Die so entstehenden Signale haben daher ein definiertes ebenes Spektrum (Bild 2.1 rechts und auch 2.3 Die Symbolraten und das 2^m QAM Spektrum im Kabelkanal).

n ist dabei die Anzahl der Bits pro Komponente. Die Anzahl der möglichen Zustände im Konstellationsdiagramm beträgt dann $2^{2 \cdot n}$. 2^m gibt die QAM Ordnung an, wobei $m = 2 \cdot n$.

Beispielsweise existieren genau

$2^3 = 8$ unterschiedliche Amplituden für I und Q
 bei $2^{2 \cdot 3} = 2^6 = 64$ QAM.

Die 8 Amplituden sind hier durch je 3 Bit für I und Q definiert.

Ein Symbol besteht aus einem Paar I- und Q-Werte, die bei der Modulation orthogonal angeordnet werden. „I“ steht für „Inphase“ und „Q“ für „Quadratur“-Komponente. So trägt z.B. jedes Symbol 6 Bit bei 64 QAM.

QAM Ordnung 2^m		m Bits je Symbol
4	QAM	2
16	QAM	4
32	QAM	5
64	QAM	6
128	QAM	7
256	QAM	8

Tabelle 2.4

Die gebräuchlichsten Modi sind: 16, 64 und 256 QAM. 32 und 128 QAM haben gegenüber 64 bzw. 256 QAM keine wesentlichen Vorteile und werden deshalb fast nicht benutzt.

Im folgenden Bild ist die Umsetzung von Bytes auf 6 Bit breite Symbole, als Beispiel, erläutert:

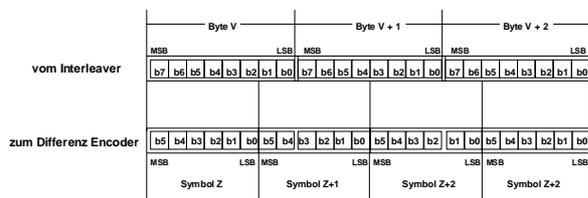


Bild 2.6 Umsetzung von Bytes auf Symbole

2.1.6 Die Konstellationsdiagramme für QAM

Die Graphiken zeigen die bitweise Zuordnung der I/Q-Wertepaare im Konstellationsdiagramm. Auf die Darstellung von 128 und 256 QAM wurde aus Platzgründen verzichtet.

16 QAM

		Q	
1011	1001	0010	0011
1010	1000	0000	0001
		I	
1101	1100	0100	0110
1111	1110	0101	0111

32 QAM

			Q		
	10111	10011	00110	00010	
10010	10101	10001	00100	00101	00111
10110	10100	10000	00000	00001	00011
			I		
11011	11001	11000	01000	01100	01110
11111	11101	11100	01001	01101	01010
	11010	11110	01011	01111	

64 QAM

				Q			
101100	101110	100110	100100	001000	001001	001101	001100
101101	101111	100111	100101	001010	001011	001111	001110
101001	101011	100011	100001	000010	000011	000111	000110
101000	101010	100010	100000	000000	000001	000101	000100
				I			
110100	110101	110001	110000	010000	010010	011010	011000
110110	110111	110011	110010	010001	010011	011011	011001
111110	111111	111011	111010	010101	010111	011111	011110
111100	111101	111001	111000	010100	010110	011110	011100

2.1.7 Differenzkodierung der zwei höchstwertigen Bits

Die MSBs I_K und Q_K der aufeinanderfolgenden Symbole A und B werden senderseitig differenzkodiert, um eine von der absoluten Lage des Quadranten unabhängige Dekodierung zu ermöglichen. Dies ist notwendig, da durch die Trägerunterdrückung bei der Modulation die Phaseninformation verloren geht. Die MSBs I_K und Q_K sind für einen Symboltakt nach der Differenzkodierung zwischengespeichert. Der Vergleich I_K und I_{K-1} bzw. Q_K und Q_{K-1} bestimmt die originale Quadrantenlage.

Wahrheitstabelle der Differenzkodierung ¹⁾

Eingangs MSBs		AusgangsBits		Rotation
A_K	B_K	I_K	Q_K	
0	0	I_{K-1}	Q_{K-1}	0°
0	1	$\overline{Q_{K-1}}$	$\overline{I_{K-1}}$	$+90^\circ$
1	0	Q_{K-1}	$\overline{I_{K-1}}$	-90°
1	1	$\overline{I_{K-1}}$	Q_{K-1}	180°

¹⁾U. Reimers: Digitale Fernsehtechnik
Tabelle 2.5

2.2 Bandbreite

Die Symbole sind sinc/x -ähnlich geformte analoge Impulse deren 3dB-Bandbreite B in Hz der halben Symbolrate S in Symb/s entspricht. Nach der Zweiseitenband-Modulation ergibt sich die Signalbandbreite als Symbolrate ausgedrückt in Hz. Legt man die benutzte Bitrate R der TS-Pakete in MBit/s zu Grunde und rechnet sie um zur Symbolrate in einem 2^m QAM-System, so ergibt sich

$$S = R \cdot \frac{204}{188} \cdot \frac{1}{m} \text{ MSymb/s} \quad \text{Gl.2.1}$$

Der Faktor 204/188 berücksichtigt dabei den RS-Fehlerschutz.

Im Kabel wird häufig die Bitrate

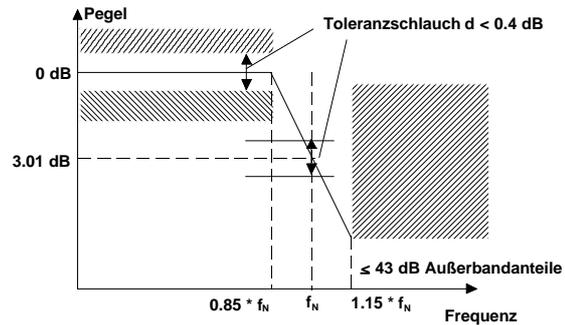
$$R = 38,1529 \text{ MBit/s}$$

benutzt. Die 64 QAM Symbole haben daher eine Nyquist-Bandbreite f_N von

$$f_N = S = 6.900 \text{ MHz.}$$

2.3 Die Symbolraten und das 2^m QAM Spektrum im Kabelkanal

In der Europeanorm EN 300 429 sind die Toleranzen des DVB-C Spektrums definiert.



Gruppenlaufzeit $t \leq T_S/10$ ns bis f_N
 $T_S =$ Symboldauer

Bild 2.7 Das DVB-C Spektrum

Die in Sender und Empfänger über die $\sqrt{\cos}$ Filter (sinc/x -ähnlich geformten Symbole haben einen konstanten Amplituden- und Gruppenlaufzeitfrequenzgang. Die $\sqrt{\cos}$ Filterungen in Sender und Empfänger erzeugen eine "cos roll off" Spektrumsflanke (siehe Bild 2.9 Die Filterung mit "cos roll off"). Dabei hängt die Annäherung an das ideale sinc/x Spektrum vom gewählten "roll off" Faktor ab. Je kleiner dieser Faktor ist, desto ähnlicher wird das Spektrum dem des sinc/x .

Legt man eine lineare Skala für den Pegel zu Grunde, findet man am Ausgang des DVB-C bzw. DVB-S Modulators das theoretische Spektrum:

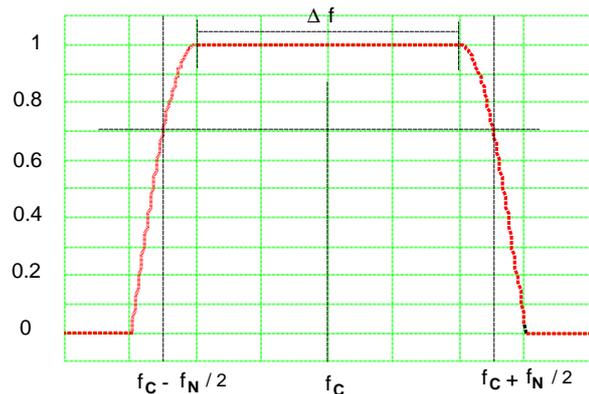


Bild 2.8 Das $\sqrt{\cos}$ -gefilterte Spektrum

Deutlich ist der steile Verlauf bei kleinen Pegeln am linken und rechten Ende des Spektrums des $\sqrt{\cos}$ Filters zu erkennen. Die Dämpfung bei den Nyquistfrequenzen $f_C \pm f_N/2$ ist 3 dB. Der "roll off" Faktor r berechnet sich aus dem Verhältnis der Nyquistbandbreite und dem flachen "Dach" des Spektrums.

$$r = \frac{f_N}{\Delta f} - 1$$

Die $\sqrt{\cos}$ Filterung in Sender und Empfänger erzeugt eine "cos roll off" Spektrumsflanke

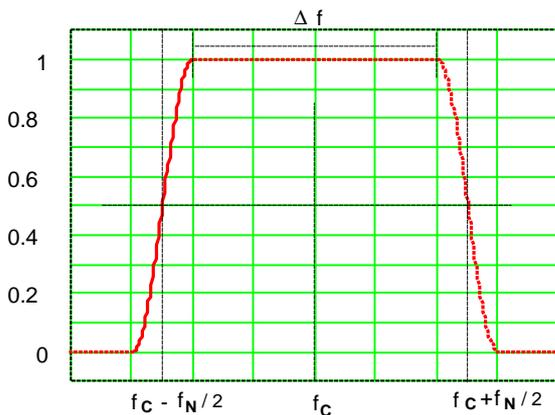


Bild 2.9 Die Filterung mit "cos roll off"

Deutlich ist der nun flachere und runde Verlauf bei kleinen Pegeln am linken und rechten Ende des Spektrums nach der \cos -Filterung zu erkennen. Die Dämpfung bei den Nyquistfrequenzen $f_C \pm f_N/2$ ist jetzt 6dB.

Zur Verdeutlichung hier nochmals die $\sqrt{\cos}$ und die \cos Filterflanke gedehnt dargestellt:

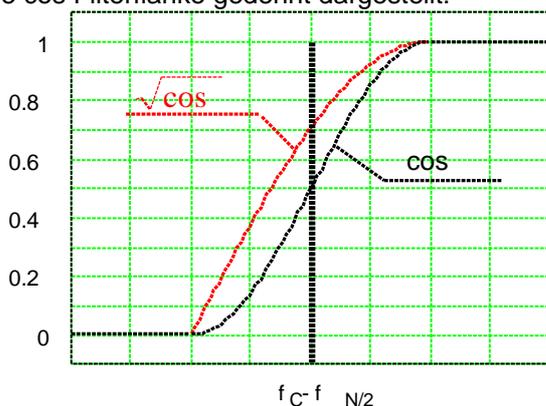


Bild 2.10 Die Filterflanke mit " $\sqrt{\cos}$ roll off" und "cos roll off"

Mit dieser in Sender und Empfänger geteilten Filterung wird zweierlei erreicht:

1. die optimale Annäherung an das ideale $\sin x/x$ Spektrum und damit das flache Nutzspektrum
2. Signalfilterung innerhalb des Empfängers und damit verbunden die Nutzkanal-selektion

Die nötige Bandbreite im Übertragungskanal B_K ist über Symbolrate und "roll off" Faktor definiert mit

$$B_K = S \cdot (1+r) \text{ MHz}$$

Im Kabel sind auch die VHF-, UHF- und Sonderkanäle in ihrer Bandbreite B_K mit 7 bzw. 8 MHz bereits bestimmt. Die 2^m QAM-Spektren müssen zusammen mit der vorgeschriebenen „roll off“ Filterung in diese Kanäle passen. Der „roll off“ Faktor hat im Kabelsystem den Wert $r = 0.15$. Im 8MHz-Kanal ist deshalb die theoretisch größte Symbolrate von

$$S_{\max} = \frac{B_K}{1+r} = \frac{8 \text{ MHz}}{1.15} = 6,9565 \text{ Msymb/s} \quad \text{Gl.2.2}$$

ohne prinzipbedingte Zusatzverzerrungen möglich. Im 7MHz-Kanal ist die theoretisch größte Symbolrate

$$S_{\max} = \frac{7}{1.15} = 6,0870 \text{ Msymb/s}$$

Die häufigste Symbolrate im 8MHz-UHF-Kanal beträgt wie oben schon erwähnt 6.9 MSymb/s und hat noch eine geringe Bandbreitenreserve.

Wird in der Kabelkopfstation ein DVB-S-Signal empfangen und soll der demodulierte Transportstrom ohne Änderungen (nur die PSI/SI Tabellen -siehe Teil 1 "ITU-R BT.601/656 und MPEG2- werden angepasst) über DVB-C ins Kabel eingespeist werden, dann errechnet sich die Symbolrate wie folgt:

Eine bevorzugte Symbolrate bei DVB-S ist $S_{\text{Satellit}} = 27.5 \text{ MSymb/s}$.

Die resultierende Datenrate ist dann:

$$R = S \cdot \frac{188}{204} \cdot 2 \cdot C \text{ Mbit/s} \quad \text{Gl.2.3}$$

Unter Berücksichtigung des zweiten Vorwärtsfehlerschutzes bei DVB-S (Code Rate C=3/4) findet man mit Gl.2.3 eine zweite bevorzugte Symbolrate bei DVB-C mit 64-QAM

$$S_{\text{Kabel}} = 6.875 \text{ MSymb/s}$$

2.4 Die Kanalfrequenzen bei DVB-C

Wenn im Kabel 64-QAM-Signale im 8MHz-ITU-UHF-Kanalraaster übertragen werden, sind die Trägerfrequenzen des Digitalsignals jeweils um 2.85 MHz gegenüber dem Analogsignal nach oben verschoben. Bild 2.11 verdeutlicht diesen Zusammenhang in der Gegenüberstellung des Frequenzschemas eines Analogkanales mit dem des Digitalkanales.

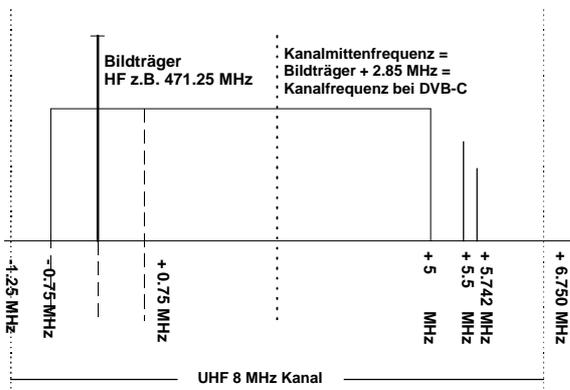


Bild 2.11 Das Kanalfrequenzschema

Moderne Modulatoren errechnen das Basisbandsignal und setzen es direkt in die HF-Lage um. Falls bei DVB-C doch noch eine Zwischenfrequenz benutzt wird, ist dies hauptsächlich 36 MHz, auch wenn $38,9 - 2,85 = 36,05$ MHz rechnerisch die Mittenfrequenz eines 8MHz-Kanales ist.

2.5 Die wichtigsten DVB-C Daten

2 ^m QAM Mode	16 64 256	m = 4 m = 6 m = 8
Symbolform		ähnlich $\frac{\sin x}{x}$ cos "roll off" gefiltert
roll off Faktor		0,15
häufigste Bitraten R	MBit/s	38,152941 38,014706
Symbolrate S	MSymb/s	$S = R \cdot \frac{204}{188} \cdot \frac{1}{m}$
häufigste Symbolraten S	MSymb/s	6,900 6,875

Tabelle 2.6

2.6 Messungen in DVB-C

Der Ausgang eines MPEG2-Multiplexers oder der Ausgang eines MPEG2-Generators liefert Video-, Audio- und andere Daten in Form von TS-Paketen (Transport-Strom) mit definierter Datenrate R. Im deutschen Kabelnetz beispielsweise sind dies bei 8MHz-Kanalbandbreite und 64QAM

$$R = 38,1528 \text{ Mbit/s.}$$

Daraus errechnet sich die Symbolrate zu 6,9 MSymb/s. Jedes Symbol überträgt bei 64QAM 6 Bit des MPEG2-Datenstroms, jeweils 3 bit für die I- und Q-Komponente.

Der TV-Meßsender SFQ bereitet daraus die Meßsignale auf, und zwar gleichermaßen für DVB-C (Digital Video Broadcasting Cable), DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite), DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial), ATSC mit 8VSB (Advanced Television Systems Committee) oder auch den amerikanischen Kabelstandard ITU-T Rec. J.83 B.

Speziell für den Einsatz in der Produktion ist der TV Meßsender SFL in 5 Modellen konzipiert. Für jeden oben aufgelisteten Standard existiert eine eigene Variante:

SFL-C	für DVB-C
SFL-S	für DVB-S
SFL-T	für DVB-T
SFL-V	für ATSC/8VSB und
SFL-J	für ITU-T Rec. J.83 B.

Zur problemlosen Anpassung an die TS-Signalparameter messen die TV-Meßsender SFQ und SFL die Datenrate und rechnet sie entsprechend der Modulationsart in die aktuelle

Symbolrate um, oder die Symbolrate wird vorgegeben und die zugehörige Datenrate wird errechnet. Danach werden die Daten gemäß DTV-Standard (Digital TeleVision) moduliert und in die HF-Ebene transponiert.

Für Messungen in den DTV-Standards modulieren der SFQ und SFL den TS Datenstrom strikt nach den DTV-Spezifikationen. Darüber hinaus kann ein solches ideales Signaloder durch Einfügen von definierten Modulationsfehlern definiert und reproduzierbar verschlechtert werden. Solche Streßsignale sind für den Test von DTV Empfängern unabdingbar, um Systemgrenzen festzustellen.



TV-Meßsender 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
DVB-T	
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
FFT Mode	nicht hierarchisch, hierarchisch
Bandbreiten	8k und 2k
Punktierung	6, 7, 8 MHz
Punktierung	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 %
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 SFL-C

Kurzdaten

Frequenzbereich	5 MHz...1.1 GHz
Pegelbereich	-140...0 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	16, 32, 64, 128, 256 QAM
Interne Testsignale	NULL TS PACKETS NULL PRBS PACKETS PRBS (2 ²³ -1 und 2 ¹⁵ -1)
Option	
Rauschgenerator	auf Anfrage
SFL-N	

2.6.1 Wichtige Anforderungen an einen DVB-C Meßsender

In diesem Abschnitt werden speziell die Anforderungen an den TV-Meßsender SFQ bei DVB-C beschrieben. Diese Ausführungen gelten auch für die im TV-Meßsender SFL-C definierten Funktionen.

Ein Testsender wird zur Simulation von möglichen Fehlern im DTV-Modulator und Verzerrungen im Übertragungskanal benötigt. Beide Arten der Signalbeeinflussung bestimmen unter welchen Bedingungen ein Empfänger störungsfrei arbeiten muß. Nimmt man als Beispiel den Test einer DVB-C STB (Set Top Box), 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.

Der TV-Meßsender SFQ kann alle Frequenzen zwischen 0.3 MHz und 3.3 GHz einstellen und geht damit weit über den DVB-C-Frequenzbereich hinaus. Die Kanäle können auch in der Kanaltabelle gespeichert sein.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION
338.000 MHz	77.0 dBµV	DVB-C 64QAM

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER
RF FREQUENCY		EDIT	
FREQUENCY	→	338.000 MHz	
▶CHANNEL	→	1	
CHANNEL TABLE		→ USER1	

F2=STATUS

Bild 2.12 Frequenzeinstellung beim SFQ

Ein weiterer Test betrifft den störungsfreien Empfang bei einem Minimalpegel von typ -70 dBm. Der Einstellbereich des SFQ liegt zwischen + 6dBm und -99 dBm und umfaßt in jedem Falle den gewünschten Minimalpegel.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION
338.000 MHz	57.0 dBµV	DVB-C 64QAM

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER
RF LEVEL		EDIT	
RF LEVEL	→	57.0 dBµV	
RF LEVEL OFFSET	→	0.0 dB	
RF AMPLITUDE	→	57.0 dBµV	
RF LEVEL MODE	→	NORMAL	
RF ALC MODE	→	AUTO	
RF ALC OFF MODE	→	SAMPLE & HOLD	
RF ALC SEARCH ONCE	→	PASSED	
RF ALC LEARN TABLE	→	PASSED	

F2=STATUS

Bild 2.13 PegelEinstellung beim SFQ

In der Modulationsart DVB-C sind modulator- und übertragungsspezifische Parameter einschließlich Rauschüberlagerung und Fadingprofile zu ver-stellen. Damit sind alle realen Signalver-änderungen für das DVB-C System simulierbar. Die mit dem "Streßsender" SFQ definiert erzeugte schlechte Signalqualität kann auf diesem Wege die Empfindlichkeit einer STB gegenüber Störungen testen.

RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE
-30.0 dBm	DVB-C 64QAM	6.875 MSym/s

LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	BASE BAND
DVB-C QAM		EDIT	
→ QAM	→	64	
→ I/Q	→	NORMAL	
→ I/Q PHASE ERROR	→	0.0 DEG	
→ CARRIER SUPPRESSION	→	0.0 %	
→ I/Q AMPL. IMBALANCE	→	0.0 %	
→ NOISE	→		
→ FADING	→		
→ CW/MODULATION	→	MOD.	

Bild 2.14 Einstellungen für modulator- und übertragungsbedingte Parameter in DVB-C

Erklärungen zu den Parametern sind unter 2.7 "Die QAM Parameter" zu finden.

Weitere wichtige Anpassungen an die DVB-C Möglichkeiten sind im Menüpunkt "I/Q CODER" vorgesehen. Hier werden die TS-Parameter für den Modulator bestimmt.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE
338.000 MHz	-30.0 dBm	DVB-C 64QAM	6.875 MSym/s

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	BASE BAND
I/Q CODER		EDIT		MEASURE
INPUT SELECT	→	TS PARALLEL		38.016 MBit/s
INPUT DATA RATE	→	38.015 MBit/s		2.501 MBit/s
USEFUL DATA RATE	→	6.875 MSym/s		
SYMBOL RATE	→	188 BYTE		
PACKET LENGTH	→	AUTO		
MODE	→	0.15		
ROLL OFF	→			
SPECIAL	→			

F2=STATUS

Bild 2.15 Einstellungen im Menü I/Q für DVB-C

2.6.2 Leistungsmessung

Die Ausgangsleistung eines DVB-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 DVB ist jedoch durch die Energieverwischung und die Symbolformung im DVB-Modulator innerhalb der Nyquist-Bandbreite des Signals eine konstante Leistungsdichte vorhanden (BILD 2.12). Zu messen ist also nur die Gesamtleistung innerhalb des DVB-Kanals.

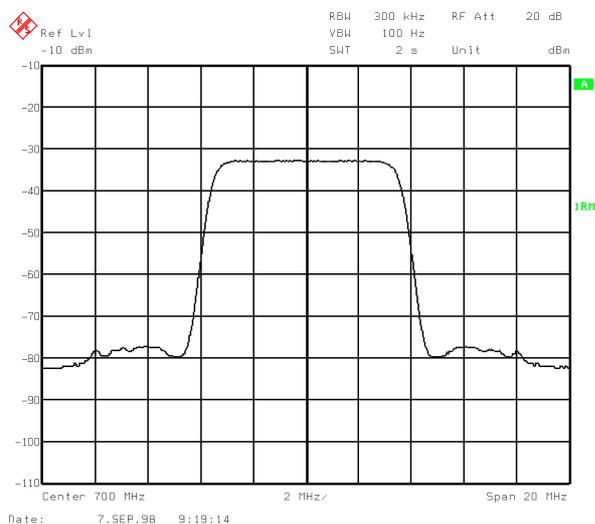


Bild 2.16 Konstante Leistungsdichte im DTV-Kanal

Zur Messung der DVB-Signalleistung sind heute drei Methoden bekannt:

2.6.2.1 Messung der mittleren Leistung mit einem thermischen Leistungsmesser Typ NRVS



Kurzdaten NRVS mit Leistungsmeßkopf NRV-Z51

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 einen gespeicherten Referenzwert, IEC 625 Bus
Fernsteuerschnittstelle	50 V
max. Eingangsspannung NRV-Z51	
Leistungsmeßkopf	thermisch
Impedanz	50 Ω
Anschluß	System N
Frequenzbereich	DC ... 18 GHz
Pegelbereich	1 µW ... 100 mW

Ein thermischer Leistungsmesser liefert die genauesten Ergebnisse, wenn nur ein DVB-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 DVB-Leistung das DVB-Signal absolut gleichspannungsfrei sein.

2.6.2.2 Messung der mittleren Leistung mit einem Spektrumanalysator von Typ FSEx , FSP oder FSU

Nutzt man zur Leistungsmessung einen herkömmlichen Spektrumanalysator, reicht die maximale Meßbandbreite für einen 8-MHz-QAM-Kabelkanal nicht aus. Moderne Spektrumanalysatoren erlauben aber die breitbandige Leistungsmessung zwischen zwei frei definierbaren Frequenzen. So spielt die große Nyquist-Bandbreite des DVB-Übertragungskanal 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 mißt der Rohde & Schwarz-Spektrumanalysator FSEx, FSP oder FSU die mittlere Leistung in DVB-Kanälen auf $\leq 1.5\text{dB}$ genau.

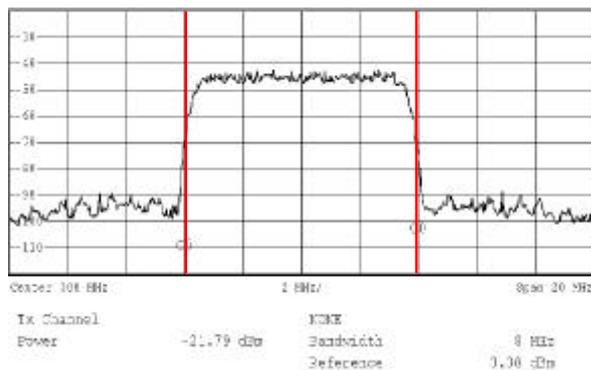


Bild 2.17 Leistungsmessung mit Frequenzcursor

Je ein Frequenzcursor wird an Anfangsfrequenz und Endfrequenz des DVB - C 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 DVB-C Kanalbelegung - ohne Schutzkanal - kann die Messung fehlerbehaftet sein.

Daher wird empfohlen, die Leistungsmessung automatisch mit einem Meßdemodulator, wie in 2.6.2.3 beschrieben, durchzuführen.



SPECTRUM ANALYSER FSP

Kurzdaten FSP

Frequenzbereich (FSP3/7/13/30)	9kHz...3/7/13/30 GHz
Amplitudenmessbereich Amplitudendarstellbereich	-140...+30 dBm 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) Gewicht (FSP3/7/13/30)	412 x 197 x 417 mm 10.5/11.3/12/12 kg



SPECTRUM ANALYSER FSEx

Kurzdaten FSEA/FSEB

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

2.6.2.3 Messung der mittleren Leistung mit einem TV Meßempfänger vom Typ EFA Varianten 60 und 63

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

DVB-C MEASURE	
SET RF	394.00 MHz
CHANNEL	ATTEN : 10 dB
	-30.3 dBm
MODULATION:	64QAM
FREQUENCY:	0.143 kHz
FREQUENCY OFFSET	6.300 MHz
SET SYMBOL RATE	
SYMBOL RATE OFFSET	
BER:	
BER BEFORE RS	5.0E-6 (10)
BER AFTER RS	7.4E-8 (533/1000)
	GAM PARA-METERS...
	RESET BER
	ADD. NOISE OFF
TS BIT RATE 38.155 Mbit/s	

Bild 2.18 Leistungsmessung mit TV-Meßempfänger EFA Var. 60 oder 63

EFA Varianten 60 und 63



Kurzdaten EFA Varianten 60/63

Frequenzbereich	45...1000 MHz, 5...1000MHz mit Option Selektion (EFA-B3)
Eingangspiegelbereich	-47...+14 dBm -84...+14 dBm (low noise) mit Option Selektion (EFA-B3)
Bandbreiten	2/6/7/8 MHz
Demodulation	4/16/32/64/128/256 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 grobe Abweichungen vom ebenen Frequenzgang zeigten, belegen die hohe Meßgenauigkeit des angezeigten Pegels. Der Pegelvergleich mit einem thermischen Leistungsmesser NRVS ergab nach einer Meßreihe mit verschiedenen EFA-Varianten bei unterschiedlichen Kanalfrequenzen und diversen nichtebenen Spektren eine größte Abweichung von kleiner 1dB. Durch die EFA-internen SAW-Filter mit 6, 7 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 SFQ erzeugt. Der direkte Pfad und dieses Echo liefern das Kanalspektrum nach Bild 2.19, in dem deutlich die tiefen Frequenzgangeinbrüche zu sehen sind.

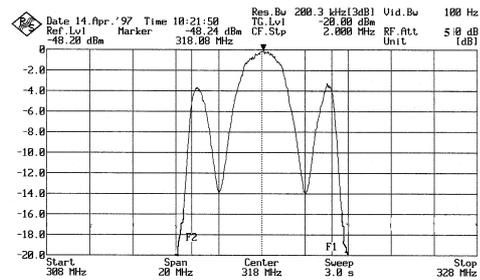


Bild 2.19 Fadingspektrum

In Tabelle 2.7 sind die Meßergebnisse bei der größten Abweichung zwischen NRVS und EFA zusammengefaßt

Pegelmessung mit	NRVS	EFA
	-33.79 dBm	-33.0 dBm

Tabelle 2.7 Vergleich der Meßergebnisse

Anmerkung:

Die genauen Ergebnisse dieser Pegelmessungen sind in der Application Note 7BM12_0D (7MGAN15E) dargelegt (siehe auch Rezepte Teil 4 DVB-T Anhang 4A). Diese Messungen galten für die 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 0.5dB ausgegangen werden kann.

2.6.3 Das Bitfehlerverhältnis BER

Das digitale Fernsehen hat einen genau definierten Arbeitsbereich. Die Grenze zum Totalausfall des DVB-C Systems ist scharf ausgeprägt wegen des Reed-Solomon-Fehlerschutzes, der die Transportstrom-Daten ab einem Bitfehlerverhältnis (Bit Error Ratio, BER) von 2×10^{-4} zum fast fehlerfreien Datenstrom ($BER < 1 \cdot 10^{-11}$) korrigieren kann. Das Bitfehlerverhältnis, das es zu messen gilt, wird von bekannten Fehlerquellen bestimmt. Die Fehler lassen sich unterteilen in solche, die im DVB-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 DVB-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 DVB-C QAM-Signale,
- Intermodulationen mit Nachbarkanälen beeinflussen die Signalqualität, und
- Interferenzstörer und Rauschen überlagern sich dem Nutzsignal
- Reflexionen

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 SFQ zum Streßsender. Er erlaubt für jeden einzelnen Parameter die Fehleinstellung bis zum Totalausfall des digitalen Fernsehens.

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	SYMBOLRATE	C/N	FADING
338.000 MHz	-30.0 dBm	DVB-C 64QAM	6.875 MSym/s	OFF	OFF

RF FREQUENCY	RF LEVEL	MODULATION	I/Q CODER	PARSERAND	SPECIAL

MODULATION	DVB-C QAM	EDIT
DVB-S QPSK →	QAM →	64
DVB-C QAM →	I/Q →	NORMAL
DVB-T COFDM →	I/Q PHASE ERROR →	0.0 DEG
ITU-T 1.85/8 →	CARRIER SUPPRESSION →	0.0 %
ATSC 1.5/8 →	I/Q AMPL. IMBALANCE →	0.0 %
I/Q EXTERNAL →	NOISE →	
FM →	FADING →	
FM EXTERNAL →	CW/MODULATION →	MOD.

Bild 2.20 Das SFQ Menü zur QAM-Parameter-einstellung

Nicht nur der TV-Meßsender SFQ ist zur Kontrolle eines DVB-Systems unentbehrlich. Nach der DVB-C-Übertragung über Kabel ist natürlich auch ein Meßdemodulator zur Überwachung des digitalen Fernsehsignals unabdingbar.

Die Lösung für DVB-C von Rohde & Schwarz dazu heißt:



TV-Meßempfänger EFA Variante 60 oder 63.

Neben der Kanalmittenfrequenz und dem Pegel des empfangenen DVB-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. Der Bitvergleich liefert exakte Ergebnisse bis zu einer Bitfehlerquote von ca. $1 \cdot 10^{-3}$, da die Fehlerkorrektur bis zu diesem Wert noch einen auswertbaren Datenstrom rekonstruiert.

DVB-C MEASURE			
SET RF	CHANNEL	ATTEN : 10 dB	
394.00 MHz		-30.3 dBm	
MODULATION:		64QAM	CONSTELL. DIAGRAM...
FREQUENCY:			FREQUENCY DOMAIN...
FREQUENCY OFFSET		0.143 kHz	
SET SYMBOL RATE		6.900 MSym/s	
SYMBOL RATE OFFSET		54.6 ppm	
BER:			TIME DOMAIN...
BER BEFORE RS	5.0E-6	(10/10)	
BER AFTER RS	0.0E-8	(533/1000)	
			QAM PARAMETERS...
			RESET BER

BER BEFORE RS	5.0E-6 (10/10)
BER AFTER RS	0.0E-8 (533/1000)

Bild 2.21 Das QAM-Meßmenü: BER-Messung

Soll ein definiertes BER erzeugt werden, benützt man dazu einen Rauschgenerator mit einstellbarer Bandbreite und Pegel. Theoretisch berechnete Kurven beschreiben die Abhängigkeit des BER von Signal-Rauschabstand S/N bei allen vier QAM Modi.

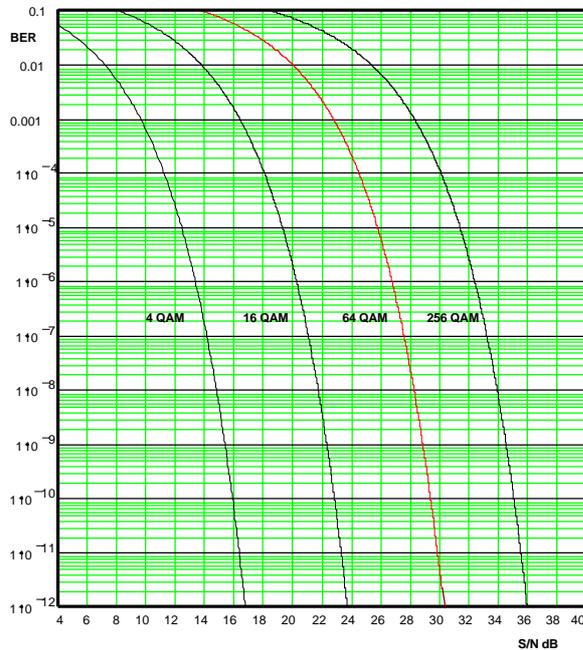


Bild 2.22 Theoretische Abhängigkeit BER(S/N) bei allen vier QAM-Modi.

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

Wegen des steilen Verlaufs der Kurven im Bereich $BER \leq 2 \cdot 10^{-4}$, dem Bezug für alle BER verknüpften Messungen, ist der Pegel des Rauschens sehr genau zu bestimmen.

Dies gelingt entweder mit der in der Application Note 7BM03_2E (siehe Teil 4 DVB-T Anhang 4C) beschriebenen Methode oder über die direkte Messung mit dem TV-Meßempfänger EFA.

In 7BM03_2E ist auch die Umrechnung von C/N nach S/N erläutert.

Die hohe Genauigkeit der mit dem TV-Meßempfänger EFA gemessenen und angezeigten Werte garantiert auch bei dem Parameter S/N nur geringste Abweichungen vom realen Wert. Die Statistik kommt hier dem professionellen Gerät zu Hilfe.

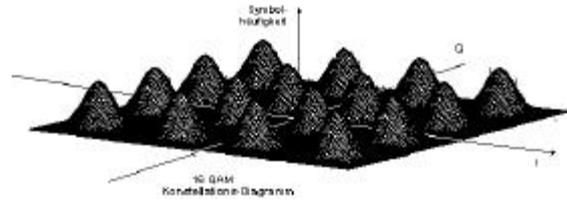


Bild 2.23 Die Symbolhäufigkeit im 16 QAM Konstellations-Diagramm

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 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 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 EFA die gemäß der Norm ETR 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 Meßanforderungen auch unbedingt notwendig ist.