

Andres Keller

Datenübertragung im Kabelnetz

DOCSIS über Hybrid-Fibre-Coax

Inhalt

1 Einleitung	1
1.1 Besonderheit Kabelnetz.....	1
1.2 Begriff der Bandbreite.....	2
1.3 Rauschen bei analoger und digitaler Übertragung.....	3
2 Qualitätsanforderungen an das HFC-Kabelnetz.....	5
2.1 Einführung.....	5
2.2 Pegelrechnung	5
2.2.1 Definitionen.....	5
2.2.2 Absoluter Pegel	6
2.2.3 Pegeltoleranz	7
2.2.4 Pegelunterschied.....	7
2.3 Rauschen	8
2.3.1 Widerstandsrauschen.....	8
2.3.2 Andere Arten des Rauschens.....	9
2.4 Intermodulation CSO, CTB.....	10
2.5 Normen und Spezifikationen.....	10
2.5.1 Gesetz und Verordnung (Sammlung am Bsp. der Schweiz).....	10
2.5.2 Fremde Gesetzgebung (informativ von Bedeutung).....	11
2.5.3 Normen.....	11
2.6 Elektromagnetische Verträglichkeit EMV.....	13
2.6.1 Einstrahlung und Abstrahlung.....	13
2.6.2 Ingress	13
2.6.3 Radiowellen.....	13
3 Technischer Aufbau des Kabelnetzes	19
3.1 Technisches Konzept.....	19
3.2 Aufbau des Kabelnetzes	20
3.2.1 Glasfaserübertragung Kopfstation - Hub - Node.....	20
3.2.2 Koaxiales Verteilnetz	22
4 Analoge Modulation	31
4.1 Frequenzbänder	31
4.2 Amplitudenmodulation	32
4.3 Spezielle Formen der Amplitudenmodulation	33
4.4 Restseitenband-Modulation (Vestigial Sideband)	34
4.5 Frequenzmodulation und Phasenmodulation.....	36

5 Digitale Modulation	39
5.1 Einführung	39
5.1.1 Digitale Zahlendarstellung	39
5.1.2 Datenrate	40
5.2 Konstellationsdiagramm	41
5.3 Wirkung von Störungen auf QAM	42
5.4 Modulation Error Ratio MER	43
5.4.1 Definition	43
5.4.2 Ursachen	45
5.5 Bitfehlerrate BER	46
5.6 Zusammenhang MER und BER	47
5.7 Umrechnung E_b/N_0 in C/N	47
6 Abriss der Informationstheorie	49
6.1 Einführung	49
6.2 Beispiele und Definitionen	51
6.3 Zum Informationsgehalt digitaler Signale	51
6.4 Informationsgehalt analoger Signale	52
6.5 Codierungstheorie	52
6.5.1 Definitionen und Begriffe	52
6.5.2 Informationsübertragung	56
6.6 Fehlerschutz	60
6.6.1 Einführung	60
6.6.2 Fehlererkennung	61
6.6.3 Fehlerkorrektur	61
7 Analoge Übertragung im Kabelnetz	71
7.1 Rauschen	71
7.1 Frequenzgang (lineare Verzerrungen)	72
7.2 Intermodulation (nichtlineare Verzerrungen)	72
7.3 Gruppenlaufzeit	73
7.4 Brumm	73
7.5 Reflexionen	73
8 Protokolle	75
8.1 Zweck von Protokollen	75
8.2 Das OSI-Schichtenmodell	75
8.3 Ethernet	77
8.4 IP Protokoll Version IPv4	78
8.5 TCP Protokoll	79
8.6 Internet Protokoll Architektur	80
9 Unterscheidung von Netzen nach Zugriffsart	83
9.1 Allgemeine Zugriffsverfahren	83
9.1.2 Zeitmultiplex	84
9.1.3 Frequenzmultiplex	84

9.1.4 Spread Spectrum.....	84
9.2 Spezielle Zugriffsverfahren	88
9.3 Unterscheidung von Netzen nach Vermittlungsart	89
9.3.1 Leitungsvermittlung	89
9.3.2 Speichervermittlung	90
10 Basisspezifikation für das Kabelnetz	91
10.1 Frequenzbandbelegung	91
10.2 DOCSIS Qualitätsanforderungen	91
10.2.1 Auszug aus DOCSIS 1.1 Spezifikation	91
10.2.2 Auszug aus EuroDOCSIS 1.1 Spezifikation	92
10.2.3 Zusatzanforderungen bei DOCSIS 2.0	93
10.3 Definition Rauschabstand für DOCSIS im Upstream.....	93
10.4 Spektrum-Überwachungssystem.....	93
10.5 DOCSIS Betriebs-Geräuschabstand im Upstream.....	94
10.6 Zielkriterien für den logischen Layer.....	95
10.7 Weitere Entwicklung von DOCSIS	96
11 DOCSIS Versionen	97
11.1 Einführung	97
11.2 DOCSIS 1.0	97
11.3 DOCSIS 1.1	98
11.4 DOCSIS 2.0	98
11.4.1 Störungsunterdrückung durch Filter (ICF)	99
11.4.2 Verbesserte Entzerrung für A-TDMA	100
11.4.3 Verbesserte Burst-Acquisition für A-TDMA	100
11.4.4 Verbesserte Fehlerkorrektur für Impulsstörungen.....	100
11.4.5 S-CDMA	100
11.5 Belegung des physischen DOCSIS Layers	101
11.5.1 Varianten der DOCSIS-Kanalcodierung	101
11.5.2 Übersicht DOCSIS Netz.....	102
11.6 DOCSIS Referenz-Schema	104
12 Verbindung zwischen Modem und CMTS	107
12.1 Übersicht.....	107
12.2 Erstmalige Anmeldung eines Modems beim CMTS.....	109
12.2.1 Installation	109
12.2.2 Downstream Kanalsuche	109
12.2.3 Das Kabelmodem wartet auf SYNC Message.....	109
12.2.4 Das Kabelmodem beschafft die Upstream Parameter	110
12.2.5 Initial Ranging	110
12.2.6 Automatische Modemeinstellung	110
12.2.7 Zulassungsprozess	111
12.2.8 Bandbreitenanforderung	111
12.2.9 Bandbreiten-Zuweisungstabelle MAP	111
12.2.10 IP-Verbindungsfähigkeit	111

12.2.11 Time of Day	112
12.2.12 Übertragung der Betriebsparameter	112
12.2.13 Registrierung	112
12.2.14 Baseline Privacy	112
12.3 Einzelheiten zum Ranging	115
12.3.1 Ranging-Ablauf	115
12.3.2 Einstellen der Sendeleistung am Kabelmodem	116
12.3.3 Contention Resolution	117
12.4 Zusammenhang Ticks, Mini-Slots und Symbole	117
12.5 Zugriffsverfahren im Rückweg	119
12.6 Timeout Zähler	120
12.7 Grenzen des Datendurchsatzes	121
12.7.1 Im Downstream	121
12.7.2 Im Upstream	122
12.8 Aufbauen des IP-Layers	123
12.9 Registrierung	123
12.10 Data Link Encryption	123
12.11 Quality of Service	124
12.12 MAC Layer Fragmentation	124
12.13 MAC Layer Concatenation	124
12.14 Präambel	124
12.15 Forward Error Correction	125
12.15.1 Fehlerschutz im Downstream	125
12.15.2 Fehlerschutz im Upstream	126
12.16 Interleaving	126
12.16.1 Aufgabe des Interleavings	126
12.16.2 Interleaving im Downstream	127
12.16.3 Interleaving im Upstream	128
12.17 Scrambling	128
12.18 Upstream Vergleich DOCSIS 1.x und 2.0	128
12.19 Zusammenfassung der Modem Zustände	129
13 Gestörte DOCSIS-Übertragung	131
13.1 Ungenaue Pegelung im Vorwärtsweg	131
13.2 Pegelfehler Im Downstream	131
13.3 Schlechter Geräuschabstand	131
13.4 Schlechtes Carrier-to-Junk-Ratio	132
13.5 Headend Zusammenschaltung	134
13.6 Zu viele Nodes auf einem Upstream Port	134
13.7 Zu viele Kabelmodems an einem Upstream Port	134
13.8 Mikroreflexionen	134
13.9 Gruppenlaufzeit	134
13.10 Common Path Distortion	135
13.11 Laser Clipping	137
13.12 Störungen durch Schwachstellen	141
13.12.1 Material und Installation	141

13.12.2 Planung, Material und Einstellungen.....	141
13.12.3 Materialmängel und Alterung.....	141
13.12.4 Äussere Ursachen für Ingress (Man Made Noise).....	143
14 Auswertungen aus CMTS und Kabelmodem.....	145
14.1 Rauschabstand Downstream SNR	145
14.2 Rauschabstand Upstream SNR	147
14.3 Ermittlung der Codeword Error Rate CER	152
14.4 Flap-List.....	156
14.4.1 Insertions	157
14.4.2 Hits and Misses	157
14.4.3 Power Adjustments.....	158
14.4.4 Auswertung	158
14.4.5 Show Cable Abfrage Show cable Hop	160
14.4.6 CPU Auslastung im CMTS	161
14.5 Ausgewertete technische Informationen von CISCO	163
15 Erhöhte Anforderungen an den Netunterhalt.....	165
15.1 Störungsbehebung.....	165
15.2 Präventiv-Unterhalt.....	165
15.3 Modifikationen.....	165
15.4 Netz Upgrade	165
15.5 Mitarbeiterschulung	166
15.6 Die Besonderheit im Zweiwegnetz.....	166
15.7 Fehlersuche durch Korrelation von Informationen	167
15.8 Fehlersuche durch geografische Darstellung	167
15.9 Flankierende Massnahmen.....	169
15.9.1 Abfiltern von Liegenschaften ohne Zweiwegdienste	169
15.9.2 Einsatz von Ingressblockern.....	170
15.10 Objektive Funktionsüberwachung im DOCSIS Netz.....	172
Literaturverzeichnis	175