

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Begriffe und Abkürzungen	10
2.1 Begriffe	10
2.2 Abkürzungen	18
3 Kommunikationssysteme über Hochspannungsleitungen	22
3.1 Einführung in die Trägerfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen	22
3.2 Nutzung der Trägerfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen.....	22
3.3 TFH-Telekommunikationssystem.....	23
3.4 Analoge und digitale TFH-Systeme (ATFH und DTFH).....	24
3.5 TFH-Modulationsverfahren.....	29
4 Frequenzbänder für TFH-Systeme.....	33
4.1 Einführung in die Kennwerte von TFH-Systemen für Höchstspannungs-, Hochspannungs- und Mittelspannungsnetze.....	33
4.2 Frequenzbereiche für Kommunikationssysteme über Stromversorgungsleitungen	35
4.3 Kanalpläne.....	36
4.4 Hochfrequenz-Spektralkennwerte	38
4.5 Festlegungen und Aussendungsgrenzwerte für TFH-Systeme	38
4.6 Auswahl der Frequenzbänder für HV-TFH-Systeme	39
5 Medien für DTFH- und ATFH-Systeme	41
5.1 Allgemeines	41
5.2 Das elektrische Netz.....	42
5.3 Höchst- und Hochspannungsleitungen	42
5.4 Mittelspannungsleitungen.....	43
5.5 Stromversorgungsleitungen als Übertragungsmedium	43
5.6 Übertragungsparameter für die Kommunikationskanäle über Stromversorgungsleitungen	53
6 Planung von DTFH- und ATFH-Verbindungen und -Netzen.....	72
6.1 Allgemeines	72
6.2 ATFH-Kanalgewinn	73
6.3 DTFH-Kanalgewinn	77
6.4 Frequenzplan.....	83
6.5 Netzwerkplanung.....	85
6.6 Einführung in die Nummerierung von Internetprotokollen.....	86
6.7 Sicherheit.....	90
6.8 Managementsystem	91
7 Leistungsmerkmale von TFH-Systemen	91
7.1 Leistungsmerkmale des Systems.....	91

	Seite
7.2 Leistungsmerkmale der ATFH-Sicherungsschicht.....	92
7.3 Leistungsmerkmale der DTFH-Sicherungsschicht.....	94
7.4 Bitfehlerrate (BER).....	94
7.5 Übertragungskapazität.....	95
7.6 Bitschlupf.....	96
7.7 Phasenjitter.....	96
7.8 Synchronisationsverlust und Erholzeit.....	97
7.9 Latenzzeit der Übertragungsstrecke.....	97
7.10 Ethernet-Leistungsparameter nach IETF-RFC2544.....	97
7.11 Prüfaufbau für die Prüfung der Bitfehler.....	98
7.12 Serielle Synchron-Schnittstelle.....	98
7.13 Ethernet-Schnittstelle.....	98
7.14 Gesamtleistungsqualität der Übertragungsstrecke.....	99
8 Über TFH-Systeme übertragene Anwendungen.....	101
8.1 Allgemeines.....	101
8.2 Telefonie.....	101
8.3 Sprachqualität.....	102
8.4 Analoge Telefonie.....	103
8.5 Digitale Telefonie.....	103
8.6 VoIP-Anwendungen.....	104
8.7 Datenübertragung.....	104
8.8 Vernetzung.....	104
8.9 Fernwirktechnik.....	104
Anhang A (informativ) Umgebungsbedingungen.....	106
Anhang B (informativ) Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	107
Anhang C (informativ) HF-moduliertes Leistungssignal.....	109
C.1 Allgemeines.....	109
C.2 HF-modulierte Bandbreite und Leistungssignal.....	113
Anhang D (informativ) Bandbreiteneffizienz.....	116
Anhang E (informativ) Rauschmessungen.....	119
Literaturhinweise.....	120
 Bilder	
Bild 1 – Darstellung eines intelligenten Netzes.....	22
Bild 2 – Akteure im intelligenten Netz.....	23
Bild 3 – Komplexes TFH-Telekommunikationssystem.....	23
Bild 4 – TFH-Telekommunikationsverbindung.....	24
Bild 5 – Typischer Aufbau einer ATFH-Endeinrichtung.....	25
Bild 6 – Typischer Aufbau einer DTFH-Endeinrichtung.....	27

	Seite
Bild 7 – Struktur der ATFH/DTFH-Endeinrichtung.....	28
Bild 8 – ATFH/DTFH-Übertragungsstrecke, die Fernwirk-, Schutzsignal- und Telefoniedienste überträgt	28
Bild 9 – Signalraum für eine 16-QAM-Konstellation	29
Bild 10 – Echokompensationsverfahren für eine DTFH-Verbindung.....	32
Bild 11 – ATFH-Schmalband-Kanalplan.....	37
Bild 12 – Gegenüberstellung der TFH-Schmalband-Kanalpläne von Europa und Nordamerika	38
Bild 13 – Kleinster Frequenzabstand.....	40
Bild 14 – TFH-Kommunikationssystem	41
Bild 15 – Kapazitives Kopplungssystem.....	43
Bild 16 – TFH-Verbindung mit einem induktiven Kopplungssystem.....	44
Bild 17 – Prinzip des induktiven Kopplungssystems	44
Bild 18 – Typischer EHV/HV-Koppelkondensator (CVT).....	45
Bild 19 – Typisches kapazitives EHV/HV-Kopplungssystem (einphasig gegen Erde).....	45
Bild 20 – Kapazitives MV-Kopplungssystem	46
Bild 21 – MV-Koppelspule	46
Bild 22 – Elektrisches Schaltbild der Trägerfrequenzsperrung	47
Bild 23 – HV-Trägerfrequenzsperrung.....	47
Bild 24 – Impedanz der Trägerfrequenzsperrung in Abhängigkeit von der Frequenz.....	47
Bild 25 – Kurve der Sperrimpedanz einer Schmalband-Trägerfrequenzsperrung	48
Bild 26 – Kennwerte der Sperrimpedanz einer Trägerfrequenzsperrung für zwei Frequenzen	48
Bild 27 – Kennwerte der Sperrimpedanz einer Breitband-Trägerfrequenzsperrung	48
Bild 28 – LMU-Komponenten und elektrisches Schaltbild.....	49
Bild 29 – LMU-Kurve mit einem Koppelkondensator von 4 000 pF.....	49
Bild 30 – Phase-Erde-Kopplung	50
Bild 31 – Phase-Phase-Kopplung.....	51
Bild 32 – GMR von Leiterbündeln.....	55
Bild 33 – Abschlussnetzwerk für eine dreiphasige Leitung	55
Bild 34 – Optimale Kopplungsanordnungen und Mischdämpfung a_C	59
Bild 35 – Optimale Phase-Erde- und Phase-Phase-Kopplungen.....	60
Bild 36 – Knotenpunkte von Freileitungen mit Stromversorgungskabeln.....	62
Bild 37 – Typisches $H(f)$ - und $h(t)$ -Kanalverhalten für EHV	65
Bild 38 – Typisches $H(f)$ - und $h(t)$ -Kanalverhalten für MV	65
Bild 39 – Dämpfung eines tatsächlichen HV-TFH-Kanals in Abhängigkeit von der Frequenz.....	65
Bild 40 – Hintergrundrauschen	67
Bild 41 – Hintergrundrauschen in Abhängigkeit von der Frequenz.....	68
Bild 42 – Veränderung des Hintergrundrauschspektrums in Abhängigkeit von der Zeit.....	68
Bild 43 – Einzelimpuls.....	69
Bild 44 – Transienter Impuls	69

	Seite
Bild 45 – Periodische Impulse	70
Bild 46 – Aperiodische Impulse	70
Bild 47 – Architektur der ATFH-Einrichtung	74
Bild 48 – Beispiel für die Signalanordnung in zwei Basisbandkanälen	75
Bild 49 – Architektur der DTFH-Einrichtung	78
Bild 50 – Beispiel für die Anordnung von DTFH-Kanälen	79
Bild 51 – Typische DTFH-Bandbreiteneffizienz für eine BER von 10^{-6}	81
Bild 52 – Spannungsbereiche der HV-Leitung	82
Bild 53 – Beispiel eines DTFH-Systems mit automatischer Anpassung der Datenrate	83
Bild 54 – Beispiel für das Subnetting	89
Bild 55 – ISO/OSI-Referenzmodell	91
Bild 56 – Grenzen für die Restdämpfung des Stromkreises bezogen auf die Dämpfung bei 1 020 Hz (ITU-T M.1020)	93
Bild 57 – Grenzen für die Gruppenlaufzeit bezogen auf die kleinste gemessene Gruppenlaufzeit im Band von 500 Hz bis 2 800 Hz (ITU-T M.1020)	94
Bild 58 – Einige theoretische BER-Kurven	95
Bild 59 – DTFH-„C/SNR“-Kurve im Vergleich mit der Shannon-Grenze für BER = 10^{-4} und 10^{-6}	96
Bild 60 – Ethernet-Standardstruktur für das Rahmenformat	99
Bild 61 – Beispiel für die Bestimmung der Nichtverfügbarkeit (ITU-T G.826)	100
Bild 62 – Beispiel für den Zustand der Nichtverfügbarkeit eines bidirektionalen Wegs (ITU-T G.826)	100
Bild 63 – Schätzung der Leistungsqualität auf der Basis von ITU-T G.821 und G.826	101
Bild 64 – Beziehung zwischen Deutlichkeit, Laufzeit und Echo in Bezug auf die Sprachqualität	102
Bild C.1 – Leistungsbegriffe	109
Bild C.2 – Einzelton	111
Bild C.3 – Zwei Töne	112
Bild C.4 – Beispiel der äquivalenten Rauschbandbreiten für verschiedene Dienste	113
Bild C.5 – Äquivalente Rauschbandbreite für verschiedene Dienste	113
Bild D.1 – 8-PAM-Signalaufstellung	116
Bild D.2 – SNR-Lücke der DTFH-Effizienz zur Shannon-Grenze	118
Bild D.3 – DTFH-Effizienz für BER = 10^{-4} und 10^{-6} und Shannon-Grenze	118
Tabellen	
Tabelle 1 – Kennwerte von DTFH-Modulationsverfahren	31
Tabelle 2 – Kennwerte der DTFH-Modulationsverfahren QAM und OFDM	31
Tabelle 3 – Typische Kommunikationsverfahren über Stromversorgungsleitungen und Frequenzen	35
Tabelle 4 – Parameter von Kommunikationssystemen über Stromversorgungsleitungen	36
Tabelle 5 – Frequenzbänder in Kommunikationssystemen über Stromversorgungsleitungen	36
Tabelle 6 – HF-Spektrum für TFH-Systeme	37
Tabelle 7 – HF-Spektrum für Schmalband-TFH	38

	Seite
Tabelle 8 – Bereich der Wellenwiderstände für TFH-Kreise auf EHV/HV-Freileitungen.....	56
Tabelle 9 – Zusätzliche Dämpfung a_{add} [dB] für verschiedene Leitungsanordnungen und optimale Kopplungen	61
Tabelle 10 – Typische Leistungspegel des Koronarauschens bei einer Bandbreite von 4 kHz für verschiedene EHV/HV-Systemspannungen.....	67
Tabelle 11 – Typische mittlere Pegel des Impulsrauschens, gemessen auf der HF-Kabelseite der Kopplung über 150 Ω und eine Bandbreite von 4 kHz.....	71
Tabelle 12 – Signalparameter.....	75
Tabelle 13 – Kanalgewinn	76
Tabelle 14 – Signalpegel und zulässige Rauschpegel am Empfängereingang	76
Tabelle 15 – Typische Koronarauschpegel für Wechselstromfreileitungen	77
Tabelle 16 – Mögliche Lösungen für das Beispiel in Bild 50	80
Tabelle 17 – Definitionen für IP-Adressen.....	87
Tabelle 18 – Qualitätsziele (Beispiel)	101
Tabelle B.1 – Zulässige leitungsgeführte Aussendungen an der Netzschnittstelle von Einrichtungen der Klasse A	107
Tabelle B.2 – Zulässige leitungsgeführte Aussendungen an der Netzschnittstelle von Einrichtungen der Klasse B	108