

Obsah

	Předmluva	9
	Seznam zkratek a pojmů	13
1	ÚVOD	25
1.1	Současný stav a trendy v přístupových sítích	26
1.2	Základní dělení optických sítí, přenosový řetězec	29
1.2.1	Základní optický přenosový řetězec	32
1.3	Vývoj pasivních optických sítí PON	33
2	OPTICKÉ A HYBRIDNÍ PŘÍPOJKY FTTX, EFM, XDSL	37
2.1	Rozdělení FTtx přípojek	37
2.1.1	Koncepce Ethernet in the First Mile	41
2.1.2	Aktivní optické sítě, přípojky typu bod-bod	43
2.2	Triple play služby v optických sítích	48
2.3	Technologie pro realizaci hybridních přípojek FTtx	49
2.3.1	Digitální účastnické přípojky xDSL	49
2.3.2	Sítě kabelové televize CATV a hybridní HFC	54
2.3.3	Bezdrátové sítě Wi-Fi, WiMAX	56
2.3.4	Mobilní sítě UMTS, LTE	61
3	ZÁKLADNÍ PRINCIPY PASIVNÍCH OPTICKÝCH SÍTÍ	65
3.1	Struktura pasivních optických sítí	65
3.2	Optické rozbočovače (splittery)	69
3.3	Struktura a parametry distribuční sítě ODN	72
3.3.1	Možnosti zálohování v pasivních optických sítích	75
3.4	Způsob komunikace a řešení obousměrného přenosu	77
3.4.1	Dynamická alokace vysílacích okamžiků ve vzestupném směru	80
3.5	Určení zpoždění při šíření optického signálu – Ranging	82
3.6	Registrace nové koncové jednotky ONU, ONT v síti	83
3.7	Šířování komunikace v sítích PON a potenciální rizika	85
4	PRVNÍ GENERACE PASIVNÍCH OPTICKÝCH SÍTÍ ITU-T A IEEE	89
4.1	ATM PON dle ITU-T G.983	89
4.1.1	Základní vlastnosti APON	89

4.1.2	Fyzická vrstva sítě APON	90
4.1.3	Vrstva ATM buněk	92
4.1.4	Zabezpečení přenosu v sestupném směru	97
4.1.5	Detekce nově připojených ONU v sítích APON	98
4.2	Broadband PON dle ITU-T G.983	99
4.2.1	Základní charakteristiky sítě BPON	99
4.2.2	Fyzická vrstva BPON	100
4.2.3	Změny na vrstvě ATM buněk	102
4.2.4	Dodatečné zabezpečení komunikace v BPON	104
4.3	Gigabit PON dle ITU-T G.984	105
4.3.1	Hlavní parametry sítě GPON	105
4.3.2	Charakteristiky fyzické vrstvy GPON	107
4.3.3	Způsob komunikace	109
4.3.4	Vrstvový model komunikace v síti GPON	112
4.3.5	Dynamická alokace přenosové kapacity ve směru vstoupném	115
4.3.6	Skladba rámců GTC ve směru sestupném	117
4.3.7	Složení GTC rámců ve směru vstoupném	120
4.3.8	Struktura rámců GEM a jejich fragmentace do GTC rámců	122
4.3.9	Přenos různých formátů uživatelských dat pomocí GEM rámců	125
4.3.10	Zabezpečení komunikace v GPON a korekce chyb	127
4.4	Sítě GPON s prodlouženým dosahem	128
4.4.1	Úpravy fyzické vrstvy sítě GPON	128
4.4.2	Zařazení aktivních prvků do distribuční sítě ODN	130
4.4.3	Úpravy protokolu GEM a GTC vrstvy	133
4.5	Ethernet PON dle IEEE 802.3ah	134
4.5.1	Základní vlastnosti sítě EPON	135
4.5.2	Fyzická vrstva varianty EPON	136
4.5.3	Vrstvový model komunikace v síti EPON	137
4.5.4	Struktura rámce Ethernet v síti EPON na podvrstvě RS	139
4.5.5	Identifikátor LLID a emulace provozu P2P a P2MP	141
4.5.6	Protokol MPCP v síti EPON a rámce MPCPDU	144
4.5.7	Zabezpečení přenášených dat v síti EPON	148
4.6	Vzájemné porovnání variant GPON a EPON	148

5

DESETIGIGABITOVÉ PASIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ

153

5.1	10 Gigabit EPON dle IEEE 802.3av	154
5.1.1	Základní vlastnosti 10GEAPON	154
5.1.2	Fyzická vrstva sítě 10GEAPON	157
5.1.3	Vrstvový model 10GEAPON a změny oproti EPON	158
5.1.4	Úpravy protokolu MPCP a služební komunikace	162
5.1.5	Kódování FEC a zabezpečení dat v 10GEAPON	166

5.2	X Gigabit-PON dle ITU-T G.987	166
5.2.1	Základní vlastnosti XG-PON	168
5.2.2	Parametry fyzické vrstvy XG-PON	172
5.2.3	Model komunikace v XG-PON a použité identifikátory	173
5.2.4	Změny na úrovni XGTC rámců v sestupném směru	176
5.2.5	Skladba XGTC rámců ve směru vzestupném	179
5.2.6	Obsah rámce XGEM	181
5.2.7	Kódování FEC a zabezpečení přenosu v XG-PON	183
5.2.8	Úspěšné režimy napájení koncových jednotek	185
5.2.9	Sítě XG-PON s prodlouženým dosahem	187
5.3	Vzájemné porovnání 10GEPON a XG-PON	188

6 PASIVNÍ KOMPONENTY OPTICKÝCH SÍTÍ, ÚTLUMOVÁ BILANCE 191

6.1	Pasivní optický rozbočovač – splitter	191
6.1.1	Útlum symetrického rozbočovače	193
6.1.2	Výpočet útlumu nesymetrického rozbočovače	195
6.1.3	Optimalizace dělicích poměrů	196
6.2	Optická vlákna – parametry, vlastnosti, typy	199
6.2.1	Základní typy a vlastnosti optických vláken	200
6.2.2	Optická vlákna definovaná v doporučeních G.651 až G.657	206
6.3	Metody spojování – konektory, spojky, svary	211
6.3.1	Nerozebíratelné spoje	212
6.3.2	Rozebíratelné spoje	214
6.4	Optické zesilovače a vlnové WDM filtry	216
6.5	Útlumové třídy a útlumová bilance PON	218
6.6	Výstavba optických přístupových tras a sítí	221
6.6.1	Optické kabely, multikanály, trubky a mikrotrubičky	221
6.6.2	Způsoby instalace optických kabelů	224

7 MĚŘENÍ A TESTOVÁNÍ PASIVNÍCH OPTICKÝCH SÍTÍ 227

7.1	Měření a diagnostika optické distribuční sítě	227
7.1.1	Měření výkonových úrovní a útlumu přímou metodou	227
7.1.2	Optická reflektometrie OTDR	230
7.2	Měření přenosových parametrů PON sítí	238
7.2.1	Testování pomocí RFC 2544	239
7.2.2	Měření dle ITU-T Y.1564	241

8 PERSPEKTIVY VÝVOJE V OBLASTI SÍTÍ PON A FTTH 245

8.1	Aplikace WDM multiplexování v sítích PON	245
-----	--	-----

8.1.1	Princip vlnového multiplexování, CWDM, DWDM.....	245
8.1.2	Vlnová odbočnice AWG, optický cirkulátor.....	251
8.1.3	Přístupové sítě WDM-PON	254
8.2	Sítě OCDM-PON, hybridní WDM-OCDM PON a OFDM-PON	260
8.2.1	Sítě PON s využitím optického kódového multiplexu.....	260
8.2.2	Hybridní sítě WDM-OCDM PON	262
8.2.3	Sítě OFDM-PON s ortogonálním frekvenčním dělením	263
8.3	Plastová optická vlákna POF	264
8.3.1	Vývoj a typy plastových optických vláken	265
8.3.2	Parametry a vlastnosti plastových vláken	266
8.3.3	Využití plastových vláken v telekomunikacích	268
9	SOUČASNÝ STAV SÍTÍ PON A FTTX VE SVĚTĚ A V ČESKÉ REPUBLICE	269
9.1	Celosvětový vývoj v oblasti optických sítí a přípojek.....	269
9.2	Situace optických přípojek a přístupových sítí v Evropě	274
9.3	Stav optických přístupových sítí v České republice	278
9.3.1	Projekt Digitální Česko	282
10	ZÁVĚR	285
	Přehled nejdůležitějších použitých zdrojů	289