

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | xxi |
| 1 Úvod do optoelektroniky | 1 |
| 2 Přenosové vlastnosti optických vláken | 9 |
| 2.1 Útlum optických vláken | 11 |
| 2.2 Disperze v optických vláknech | 17 |
| 2.2.1 Chromatická disperze | 21 |
| 2.2.2 Polarizační vidová disperze | 25 |
| 2.2.3 Nelineární jevy při optickém přenosu | 26 |
| 2.3 Teorie přenosu ve světlovodech | 27 |
| 2.3.1 Polymerová optická vlákna – POF | 36 |
| 2.3.2 Nové technologie výroby vláken | 37 |
| 3 Výroba optických vláken | 43 |
| 4 Výroba optických kabelů | 51 |
| 4.1 Požadavky na kabely | 56 |
| 4.1.1 Používané materiály a jejich zkratky | 57 |
| 5 Techniky spojování a vazební členy | 61 |
| 5.1 Všeobecně k problematice spojování | 61 |
| 5.1.1 Odchylka rozdílů průměrů jader-vláken | 64 |
| 5.1.2 Odchylka velikosti NA vláken | 64 |
| 5.1.3 Příčný posuv os vláken | 65 |
| 5.1.4 Úhlová odchylka | 65 |
| 5.1.5 Podélný posuv vláken | 66 |
| 5.1.6 Ztráty odrazem | 66 |
| 5.1.7 Spojování jednovidových vláken | 67 |
| 5.1.8 Využití čoček ve spojích | 68 |
| 5.2 Spoje nerozebíratelné | 72 |
| 5.2.1 Tavné svařování | 73 |
| 5.2.2 Slepované spoje | 74 |
| 5.2.3 Mechanické spoje | 76 |
| 5.3 Spoje rozebíratelné | 77 |
| 5.4 Optické vazební členy | 84 |
| 5.4.1 Vazební členy realizované optickými vlákny | 85 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Zdroje světla | 91 |
| 6.1 | Luminiscenční diody | 92 |
| 6.2 | Laserové diody | 98 |
| 6.3 | Přenosové optoelektronické součástky | 103 |
| 7 | Modulace a detekce světla | 105 |
| 7.1 | Modulační metody | 105 |
| 7.1.1 | Modulační vlastnosti LD | 105 |
| 7.1.2 | Modulační vlastnosti LED | 107 |
| 7.2 | Detekce záření | 108 |
| 7.2.1 | Lavinové fotodiody | 110 |
| 7.3 | Parametry detektorů záření | 113 |
| 8 | Optoelektronické telekomunikační systémy | 117 |
| 8.1 | Základní otázky OE systémů | 120 |
| 8.2 | Vysílací a přijímací část optického systému | 124 |
| 8.3 | Optické linkové kódy | 129 |
| 8.4 | Dosah optického spoje | 131 |
| 8.5 | OE systémy pro přenos anal. modulace | 132 |
| 8.6 | Optoelektronické systémy pro přenos televizního signálu | 134 |
| 8.7 | OE přenosové systémy na malé vzdálenosti | 135 |
| 8.8 | OE systémy pro průmyslové aplikace | 135 |
| 8.9 | Lokální optické sítě | 136 |
| 8.9.1 | Přenosové médium | 137 |
| 8.9.2 | Přenosová rychlost | 137 |
| 8.9.3 | Topologie sítě | 137 |
| 8.9.4 | Přístupové metody | 140 |
| 8.9.5 | Architektura | 141 |
| 8.10 | Trendy přístupových optických sítí | 144 |
| 8.10.1 | PON (Passive Optical Network) | 145 |
| 8.10.2 | AON (Active Optical Network) | 145 |
| 8.10.3 | Optické rozbočovače (splittery) | 146 |
| 8.11 | Způsoby distribuce video signálu | 147 |
| 8.11.1 | Volba vhodné přenosové metody | 148 |
| 8.11.2 | Optické konvertory | 149 |
| 8.12 | Optoelektronické multiplexní systémy | 150 |
| 8.12.1 | Technologie WWDM | 158 |
| 8.12.2 | Technologie DWDM | 159 |
| 8.12.3 | Technologie CWDM | 161 |
| 8.12.4 | Optické zesilovače | 162 |
| 8.12.5 | Využitelnost WDM v akademických sítích | 166 |
| 8.13 | Optovláknové televizní rozvody | 168 |
| 8.14 | Podmořské optické přenosy | 168 |
| 8.15 | Montáž optických tras | 170 |
| 8.15.1 | Metoda MCS (Micro Cabling System) | 172 |
| 8.15.2 | Mikrokabelážní systém MCS-Road | 172 |
| 8.15.3 | Mikrokabelážní systém MCS-Drain | 173 |
| 8.15.4 | Nadzemní optické kabely | 173 |
| 8.15.5 | Pokládka pod vodou | 173 |
| 8.15.6 | Mikrotrubičkování | 173 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.16 | Optické bezvláknové spoje | 178 |
| 8.17 | Optické filtry | 186 |
| 8.17.1 | Absorpční filtry | 188 |
| 8.17.2 | Interferenční filtry | 188 |
| 8.18 | Zkušenosti z výstavby čs. optických tras | 195 |
| 8.19 | Výstavba metropolitní sítě v Brně | 196 |
| 8.19.1 | Příklady využití sítě | 199 |
| 8.20 | Příklady optických sítí různých provozovatelů | 203 |
| 8.20.1 | ČD – Telematika | 203 |
| 8.20.2 | Sít' ČEZ ICT Services | 203 |
| 8.20.3 | Sít' GTS Novera | 205 |
| 8.21 | Další možnosti a metody v optoelektronice | 206 |
| 8.22 | Ochrana zdraví při práci s optickými spoji | 207 |
| 9 | Optické směrovače | 209 |
| 9.1 | Přepínání optických okruhů | 210 |
| 9.2 | Přepínání optických paketů | 211 |
| 9.3 | Přepínání optických dávek | 212 |
| 9.4 | Směrování optických signálů | 213 |
| 10 | Měřicí metody optických komunikací | 215 |
| 10.1 | Metody buzení optického vlákna pro účely měření | 216 |
| 10.2 | Vytváření světelného toku | 220 |
| 10.3 | Optické detektory | 221 |
| 10.4 | Měření na optických vláknech | 222 |
| 10.4.1 | Optická měření | 222 |
| 10.4.2 | Měření numerické apertury | 222 |
| 10.4.3 | Mechanická měření | 224 |
| 10.4.4 | Přenosová měření na optických vláknech | 224 |
| 10.4.5 | Měření chromatické disperze | 236 |
| 10.4.6 | Měření polarizační vidové disperze (PMD) | 238 |
| 10.5 | Měření optoelektronických součástí | 242 |
| 10.6 | Speciální měřicí metody | 243 |
| 10.7 | Dohled (monitoring) optických sítí | 245 |
| 11 | Planární optické světlovody | 247 |
| 11.1 | Princip a funkce planárních světlovodů | 247 |
| 11.2 | Vazební struktury planárních světlovodů | 251 |
| 11.2.1 | Hranolová vazba | 252 |
| 11.2.2 | Mřížková vazba | 253 |
| 11.2.3 | Klínová vazba | 254 |
| 11.2.4 | Vazba planární světlovod – vlákno | 254 |
| 11.2.5 | Vazba planární světlovod – planární světlovod | 255 |
| 11.3 | Planární světlovody | 255 |
| 11.3.1 | Prvky pro distribuci optického signálu | 256 |
| 11.3.2 | Planární modulátory | 257 |
| 11.3.3 | Hybridní optické obvody | 257 |
| 11.3.4 | Integrované optické obvody | 258 |

| | |
|---|------------|
| 12 Fyzická a přenosová vrstva PON | 263 |
| 12.1 Historie pasivních optických sítí | 263 |
| 12.1.1 APON | 263 |
| 12.1.2 BPON | 264 |
| 12.1.3 GPON | 264 |
| 12.1.4 XG-PON | 265 |
| 12.2 NG-PON2 | 266 |
| 12.2.1 EPON | 270 |
| 12.2.2 10GEPON | 273 |
| 12.3 Architektura PON sítí | 274 |
| 12.4 Fyzická vrstva NG-PON2 | 276 |
| 12.4.1 Parametry NG-PON2 sítí | 280 |
| 12.4.2 Porovnání XG-PON s NG-PON2 | 286 |
| 12.5 Vrstva přenosové konvergence NG-PON2 | 289 |
| 12.5.1 Subvrstva adaptace služeb | 289 |
| 12.5.2 Rámcová subvrstva | 289 |
| 12.5.3 Fyzická adaptační subvrstva | 290 |
| 12.5.4 Řízení a správa TWDM-PON sítí | 291 |
| 12.6 Komunikace mezi řídicí a koncovou jednotkou | 291 |
| 12.6.1 PHY rámce | 291 |
| 12.6.2 XGTC rámec | 292 |
| 12.6.3 PLOAM zprávy | 293 |
| 12.6.4 ONU-ID | 294 |
| 12.6.5 Alloc-ID | 294 |
| 12.6.6 XGEM PORT-ID | 294 |
| 12.6.7 Stavy jednotek ONU | 294 |
| 12.7 Kontrola přístupu k médiu | 296 |
| 12.7.1 Princip alokování zdrojů v obou směrech komunikace | 297 |
| 12.7.2 Garantované šířky pásma | 297 |
| 12.7.3 Nezajištěná šířka pásma | 298 |
| 12.7.4 Šířka pásma Best-effort | 298 |
| | |
| 13 Zkušenosti z měření optických sítí | 301 |
| 13.1 Kontrola čistoty čel konektorů | 302 |
| 13.2 Měření útlumu | 303 |
| 13.2.1 Přímá metoda | 303 |
| 13.2.2 OTDR | 304 |
| 13.2.3 Měření ORL | 309 |
| 13.2.4 Spektrální profil útlumu | 311 |
| 13.3 Měření disperzí jednovidových vláken | 313 |
| 13.3.1 Chromatická disperze CD | 314 |
| 13.3.2 Polarizační vidová disperze PMD | 317 |
| 13.4 Měření spektra optického signálu | 320 |
| 13.4.1 Optický spektrální analyzátor | 321 |
| 13.4.2 Měřič vlnových délek | 323 |
| 13.5 Měření na vyšších vrstvách ISO/OSI | 323 |
| 13.5.1 Standardy pro měření QoS | 324 |
| 13.5.2 Q-faktor | 325 |
| 13.5.3 Bitová chybovost | 325 |
| 13.5.4 Diagram oka | 326 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 13.6 | Měření v optických přístupových sítích | 326 |
| 13.6.1 | Měření útlumu přímou metodou | 327 |
| 13.6.2 | Měření útlumu pomocí OTDR | 327 |
| 13.6.3 | Měření výkonových úrovní | 330 |
| 13.7 | Zpracování naměřených výsledků | 331 |
| 13.7.1 | EXFO FastReporter | 331 |
| 13.7.2 | Viavi Solutions OFS-100/200 | 332 |
| 13.7.3 | Yokogawa OTDR EMULATION SOFTWARE AQ 7932 | 334 |
| 13.7.4 | Anritsu | 335 |
| 13.7.5 | Zdeposoft | 336 |
| 13.7.6 | Vytvoření předávacího protokolu | 337 |
| 14 | Simulační programy datových sítí | 339 |
| 14.1 | The Network Simulator NS-2, NS-3 | 339 |
| 14.1.1 | NS-3 | 339 |
| 14.2 | OMNeT++ | 340 |
| 14.3 | VPIphotonics | 340 |
| 14.3.1 | Link Engineering | 341 |
| 14.3.2 | Transmission Systems | 342 |
| 14.3.3 | Fiber optics | 342 |
| 14.4 | OptiWave | 342 |
| 14.4.1 | OptiBPM | 342 |
| 14.4.2 | OptiFDTD | 344 |
| 14.4.3 | OptiFiber | 345 |
| 14.4.4 | OptiGrating | 346 |
| 14.4.5 | OptiSPICE | 346 |
| 14.4.6 | OptiSystem | 347 |
| 14.5 | RSoft | 348 |
| 14.5.1 | RSoft's Photonic Component Design Suite | 348 |
| 14.5.2 | RSoft's Optical Communication Design Suite | 349 |
| 14.6 | Úvod do prostředí RSoft OptSim | 351 |
| 14.6.1 | OptSim v5.2 | 352 |
| 14.6.2 | Vytvoření projektu ve vzorkovém módu programu RSoft OptSim | 353 |
| 14.6.3 | Nastavení první simulace | 355 |
| 14.7 | Vytvoření nového projektu | 357 |
| 14.7.1 | Adresářová struktura | 357 |
| 14.7.2 | Vytvoření projektu | 357 |
| 14.7.3 | Otevření projektu | 358 |
| 14.7.4 | Parametry simulace vzorkového módu | 358 |
| 14.8 | Kreslení schéma | 361 |
| 14.9 | Optický spoj | 365 |
| 14.9.1 | Přijímací část | 368 |
| 14.9.2 | Měřicí prvky | 370 |
| 14.10 | Simulace | 371 |
| 14.10.1 | VBS simulace | 375 |
| 14.10.2 | Používání zobrazení dat | 378 |
| 14.11 | Simulace fyzické vrstvy NG-PON2 sítě | 382 |
| 14.11.1 | Vytvoření modelu OLT jednotky | 382 |
| 14.11.2 | Vytvoření modelu distribuční sítě | 383 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 14.11.3 | Vytvoření modelu koncové jednotky ONU | 384 |
| 14.11.4 | Nastavení simulací vytvořené topologie | 385 |
| 14.11.5 | Analýza výsledků simulace | 386 |
| 14.11.6 | Zhodnocení výsledků | 388 |
| 15 | Sítě další generace | 393 |
| 15.1 | Definice Next Generation Network – NGN | 393 |
| 15.1.1 | Konvergence hlasových a datových služeb | 394 |
| 15.1.2 | Konvergence IP | 394 |
| 15.2 | Architektura NGN a NGA sítí | 395 |
| 15.3 | Český telekomunikační úřad – ČTÚ | 396 |
| 15.4 | Předpoklady pro rozvoj sítí nové generace | 397 |
| 15.5 | Dimenzování NGN sítí a NGA sítí | 398 |
| 15.5.1 | Voice over IP – VoIP | 398 |
| 16 | Úvod do optických sensorických systémů | 401 |
| 16.1 | Rozdělení optovláknových sensorů | 402 |
| 16.2 | Úvod k optovláknovým sensorům | 405 |
| 16.2.1 | Výhody a nevýhody optovláknových sensorů | 406 |
| 16.2.2 | Volba optovláknového sensoru | 406 |
| 16.3 | Bodové optické senzory | 406 |
| 16.3.1 | Senzory na bázi FBG | 409 |
| 16.3.2 | Senzory na bázi Fabry Perotova rezonátoru | 413 |
| 16.3.3 | Bodové senzory teploty | 415 |
| 17 | OVS s amplitudovou modulací | 419 |
| 17.1 | Senzory pracující se změnami útlumů | 420 |
| 17.2 | Senzory využívající změnu světla | 421 |
| 17.3 | Senzory využívající porušení okrajových podmínek | 421 |
| 17.4 | Senzory sledující vazby světlovodů | 421 |
| 17.5 | Senzory s generací záření | 422 |
| 18 | OVS s fázovou modulací | 423 |
| 18.1 | Machův-Zehnderův interferometr | 425 |
| 18.2 | Michelsonův interferometr | 427 |
| 18.3 | Sagnacův interferometr | 427 |
| 18.4 | Optický vláknový gyroskop | 428 |
| 18.4.1 | Praktické užití optovláknového gyroskopu | 429 |
| 18.5 | Distribuované optické senzory | 429 |
| 18.5.1 | Distribuovaný teplotní sensor (DTS) | 430 |
| 18.5.2 | DTSS Distributed Temperature Structure Sensor | 432 |
| 18.5.3 | Senzor na bázi SWI (Swept Wavelength Interferometry) | 433 |
| 18.5.4 | Distribuovaný akustický sensor | 433 |
| 18.5.5 | Senzory elektrického proudu | 435 |
| 18.5.6 | Senzory parciálního tlaku kyslíku | 435 |

| | |
|---|------------|
| 19 Senzorické systémy v praxi | 437 |
| 19.1 Monitorování teploty vinutí transformátorů | 437 |
| 19.2 SHM (Structural Health Monitoring) | 437 |
| 19.3 Aplikace optovláknových senzorů | 438 |
| 19.4 Podpovrchový extenzometr FBG | 439 |
| 19.5 Sledování půdy pomocí BOTDA | 440 |
| 19.6 Sledování železobetonových konstrukcí | 440 |
| 19.6.1 Měřicí systém | 441 |