

АНГЕЛ ТОШКОВ

**ПРОЕКТИРАНЕ И
ИЗГРАЖДАНЕ НА
ОПТИЧНИ
МРЕЖИ**

БУРГАС

2011

доц. д-р Ангел Захариев Тошков
Проектиране и изграждане на оптични мрежи

Учебникът е одобрен за печат по плана за 2011 г. на Център по информатика и технически науки, БСУ

Рецензенти: проф. д-н Андон Димитров Лазаров
проф. д-р Димитър Владимиров Македонски

ISBN № 978-954-9370-77-5

Бургаски свободен университет
Бургас 2011 г.
Тираж 100 бр.

Учебникът "Проектиране и изграждане на оптични мрежи" е разработен съгласно одобрените учебни програми в Центъра по информатика и технически науки (ЦИТН) към Бургаски свободен университет (БСУ) – Бургас по плана на центъра за 2011 г. Предвидено е да се използва за нуждите на студентите в БСУ обучаващи се в направление Комуникационна и компютърна техника. Подбраният материал е съобразен с учебната програма на специалистите, обучаващи се в курсовете за придобиване и повишаване на квалификацията при проектиране и изграждане на оптични мрежи, провеждани в Бургаски свободен университет.

Информацията, която ще намерите тук е подходяща и за всички, които биха проявили интерес към практическата страна на изграждането на оптични комуникационни мрежи.

При разработването на учебника са използвани нормативни документи и литературни източници, някои от които са:

- Наредба № 17 от 2005 г. - „Наредба за правилата за изграждане на кабелни далекосъобщителни мрежи и съоръженията към тях”.

- Наредба № 55 от 2004 г. „Наредба за проектиране и строителство на железопътни линии, железопътни гари и други елементи на железопътната инфраструктура” и др.

- „Инструкция за строителство на оптични кабелни линии”, разработена за БТК от специалистите от секция "Оптични линии" към НИИС през 2000-2004г.

Останалите литературни източници са посочени в приложената литературна справка към изданието.

Представените в изложението методики за свързване на оптични кабели и оптични влакна, уреди, материали, инструменти и приспособления са съобразени с наличното оборудване в лаборатория „Оптични комуникации” в Бургаски свободен университет. Това е направено с цел пълно покритие на технологиите в предложения материал и практическите занятия в процеса на обучение на студентите и специалистите от различните курсове.

Авторът изказва специална благодарност на:

проф. д-н Христо А. Христов,
проф. д-н Иван С. Колев,
проф. д-р Кирил И. Конов,
проф. д-р Димитър В. Македонски
доц. д-р Стоян С. Рабов.

Това са част от моите колеги и приятели, с които повече от четвърт век работим в обща посока, генерираме идеи, разработки и публикации, участвахме заедно в проектирането, разработването и производството на първите оптични влакна и кабели в България, поставихме основите на оптичните комуникации и на оптичните комуникационни линии и мрежи в страната, обучихме стотици специалисти, които да продължат нашето дело и до сега продължаваме да работим за развитието и популяризацията на тази така важна област в комуникационната техника.

ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящия материал, в две основни части се предлага информация относно два важни аспекта при изграждането на оптичните комуникационни мрежи.

В първата част са разгледани конструктивните особености на оптичните влакна и кабели и някои основни работни параметри на оптичните влакна. Дадена е основна информация за оптични съединители, оптични разклонители, оптични превключватели, оптични мултиплексори - WDM, оптични атенюатори, оптически изолатори, приемни оптоелектронни модули, оптически повторители, оптически усилватели и предавателни оптоелектронни модули. Това са основните елементи и устройствата използвани за осигуряване на транспорта на информационните сигнали в оптичните комуникационни системи

Във втората част са дадени основните правила при проектиране и изграждане на оптични кабелни мрежи, основни правила при проектиране на оптични кабелни линии, основни правила при изграждане на оптични кабелни мрежи, основни правила за изграждане на оптична кабелна линия в канална мрежа, основни правила за изграждане на оптична кабелна линия в участъци без канална мрежа, свързване на оптичните кабели при изграждане на оптична кабелна линия и основни правила при монтаж на кабелни линии в подземната телефонна тръбна мрежа.

Предложена е една примерна технология за изготвяне на оптична муфа, както и технология за електродъгово свързване на оптични влакна. Показани са най-необходимите уреди и инструменти и материали за свързване на оптичните кабели и влакна и е даден пример за една реализирана и работеща реално оптична мрежа.

Целта на настоящия материал е да даде на студентите и курсистите необходимите знания за практическото изграждане на оптичните комуникационни мрежи. Индивидуалните практически умения и опит могат да бъдат придобити в практиката или на курсовете по изграждане на оптични мрежи провеждани в лаборатория „Оптични комуникации” на БСУ в гр. Бургас.

ЕЛЕМЕНТИ И УСТРОЙСТВА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ОПТИЧНИ МРЕЖИ.

КОНСТРУКТИВНИ ОСОБЕНОСТИ НА ОПТИЧНИТЕ ВЛАКНА И КАБЕЛИ

ПЪРВИЧНО ПОКРИТИЕ НА ОПТИЧНОТО ВЛАКНО

Първичното покритие на оптичното влакно представлява полимерно покритие, което се нанася непосредствено върху повърхността на голото кварцово влакно при неговото производство и осигурява неговата механична и климатична защита. Обикновено, това са епокси-акрилатни лакове или лакове на различна основа, които се втвърдяват под въздействието на светлина.

ВТОРИЧНО ПОКРИТИЕ НА ОПТИЧНОТО ВЛАКНО

Има два основни вида вторично покритие: Плътно вторично покритие - полимерно покритие, което се екструдира плътно върху първичното покритие на влакното и служи за неговата механична и климатична защита; Свободна тръбичка - представляваща пластмасова тръбичка, напълнена с хидрофобно желе, в която може да има едно или повече оптични влакна с първично покритие.

ЦВЕТОВО КОДИРАНЕ НА ОПТИЧНИТЕ ВЛАКНА

Цветовото кодиране на оптичните влакна се извършва чрез:

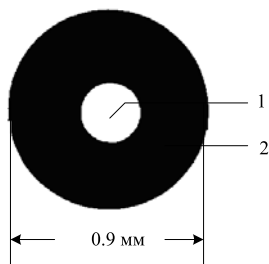
- оцветяване на първичното им покритие;
- оцветяване на плътното вторично покритие.

Цветовете съответстват на стандарт IEC 60304. Съответствието между цветове и номера на влакната е посочено в Табл. 1. То се спазва задължително при монтажа, за да може да се осигури последователност на оптичните влакна в случаи на модернизация (разклоняване) или при повреди по кабела [1].

Таблица 1

	12 влакна	10 влакна	8 влакна	6 влакна	4 влакна	2 влакна
Червен	1	1	1	1	1	1
Зелен	2	2	2	2	2	
Жълт	3	3	3	3	3	
Черен (безцв.)	4	4	4	4		
Кафяв	5	5	5			
Виолетов	6	6	6			
Сив	7	7				
Небесносин	8					
Бял	9	8				
Розов	10					
Оранжев	11	9	7	5		
Син	12	10	8	6	4	2

Кодирането на номерата на влакната, когато са защитени с тръбички (свободно вторично покритие) също е цветово. Първата тръбичка се оцветява червено, а последната синьо. Допуска се останалите тръбички, които са между тях да са едноцветни с цвят различен от тези на първата и последната.



1 -оптично влакно с първично покритие; 2-плътно вторично покритие

Фиг. 1. Оптично жило с плътно вторично покритие

Когато в една тръбичка има повече от едно влакно, влакната задължително са оцветени с различен цвят.

ОПТИЧНИ ВЛАКНА С ПЛЪТНО ВТОРИЧНО ПОКРИТИЕ

Най-простият начин да бъде защитено оптичното влакно с първично покритие е директно върху него да се нанесе вторично покритие, което е със значително по-малък външен диаметър от свободното - само 0,9 mm, с допуск $\pm 0,1$ mm. Силата на опън по цялата дължина на жилата в продължение на

ОПТИЧЕН ШНУР

Това е стационарен оптичен кабел с едно или две или повече оптични влакна с дължина до 100 m, с монтирани оптични съединители в двата края. Използва се за осъществяване на връзки между други оптични кабели, към активни устройства или за измервателни цели.

НЯКОИ ОСНОВНИ РАБОТНИ ПАРАМЕТРИ НА ОПТИЧНИТЕ ВЛАКНА

ЧЕСТОТНА ЛЕНТА НА ОПТИЧНОТО ВЛАКНО W - Тази честота на модулация на оптичния сигнал, при която мощността му в края на влакно с дължина 1 km намалява двойно в сравнение с мощността му в началото на влакното. W се измерва в MHz.km. С този параметър обикновено се характеризират многомодовите влакна. Една приблизителна формула за изчисление на широчината на честотната лента е $W = 0.44/\tau$ – където τ – е общата дисперсия на влакното измерена в ps/km, за дължина на линията L 1 km.

ХРОМАТИЧНА ДИСПЕРСИЯ НА ОПТИЧНОТО ВЛАКНО τ_{chr} - Разширението на оптичния импулс във влакното, дължащо се на зависимостта на коефициента на пречупване на оптичното влакно от дължината на вълната на разпространяващото се оптично лъчение, както и на свойствата на материала от който е направено влакното.

КОЕФИЦИЕНТ НА ОТНОСИТЕЛНА ХРОМАТИЧНА ДИСПЕРСИЯ $D(\lambda)$ – Изчислителен параметър, отчитащ стойността на хроматичната дисперсия. Представява сумата от Коефициента на хроматична материална $M(\lambda)$ и Коефициента на вълноводна дисперсия $N(\lambda)$. $D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda)$. Коефициентът на относителна хроматична дисперсия е важна характеристика на едномодовите влакна и определя максималния им информационен капацитет. Измерва се в ps/nm.km.

ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА ПРИ НУЛЕВА ДИСПЕРСИЯ λ_0 - Тази дължина на вълната на оптичното лъчение, при която коефициентът на хроматична дисперсия на влакното е равен на нула. Зависи от конструкцията и материала на влакното.

ГРАНИЧНА ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА λ_{cr} - Дължината на вълната, за стойности по-големи от която, във влакното се разпространява само основния мод. При дължина на вълната по-малка от тази стойност, по влакното се разпространяват и моди от по-висок порядък, т.е. то престава да бъде едномодово.

ГРУПОВА СКОРОСТ v_{gr} - Скоростта на разпространение на оптичния сигнал по оптичното влакно за сигнал съдържащ определена спектрална лента.

ГРУПОВ КОЕФИЦИЕНТ НА ПРЕЧУПВАНЕ n_{gr} - Отношение на скоростта на оптичното лъчение във вакуум към груповата скорост v_{gr} .

ДИАМЕТЪР НА МОДОВОТО ПОЛЕ $2w_0$ - Диаметър измерен за основния мод LP_{01} , разпространяващ се по едномодово влакно, измерен на ниво $1/e^2$ \approx 14% ($e=2,71828182$) от максималната стойност на оптичната мощност дължаща се на този мод.

СТАНДАРТИЗИРАНИ ТИПОВЕ ОПТИЧНИ ВЛАКНА

Стандартизирани са два основни класа оптични: Клас А - многомодови влакна ; Клас В - едномодови влакна . Основните параметри на влакната клас В са дадени в Таблица 2 и Таблица 3.

Таблица 2

Подклас	Описание	Дължина на вълната на нулева дисперсия. Номинална стойност (nm)	Работна дължина на вълната. Номинална стойност (nm)
V1.1	Стандартни	1310	1310
V1.2	С минимално затихване	1310	1310
V.2	Дисперсионно отместени	1530- 1565	1530- 1565
V3	Дисперсионно разширени	1310- 1550	1310- 1550
V4	За спектрално уплътнение	1550	1550

Таблица 5

Видове конектори за оптични влакна – средни стойности			
Конектор	Внесени загуби	Повторяемост	Приложение
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	Предаване на данни, Телекомуникации
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	Оптични мрежи
 LC	0.15 dB 0.10 dB	0.2 dB	Предаване на данни с висока плътност
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	Предаване на данни с висока плътност
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	Предаване на данни
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	Предаване на данни
 ST	0.40 dB 0.50 dB	0.40 dB 0.20 dB	Вътрешни мрежи, Морски флот, Аерофлот
 SMA	1.00–3.00 dB	0.50 dB	За вътрешни мрежи
 ESCON	0.30-1.00 dB	0.25 dB	За връзка компютър- компютър (Enterprise Systems Connection)

ОПТИЧНИ РАЗКЛОНИТЕЛИ

Разклонителите се използват широко при изграждането на разпределени оптично-коаксиални мрежи за кабелна телевизия, а също така и в междудържавните проекти за пълно оптически мрежи (all-optical networks). Във всички случаи мрежите без използване на разклонители биха били значително по-скъпи [2,3].

Оптическият разклонител представлява в общия случай многополюсно устройство, в което излъчването, подавано на част входни оптически полюси се разпределя между неговите останали оптически полюси.

Различават се еднопосочни и двупосочни разклонители, а също така и разклонители, чувствителни и нечувствителни към дължината на вълната. В двупосочните разклонители всеки полюс може да работи или на приемане на сигнал, или на предаване, или да осъществява приемане и предаване едновременно, така, че групите приемачи и предавачи полюси могат да разменят местата си във функционален смисъл.

Основните категории оптически разклонители са следните: дървовидни разклонители; звездообразен разклонител; отклонител.

ДЪРВОВИДЕН РАЗКЛОНИТЕЛ (TREE COUPLER)

Дървовидният разклонител осъществява разцепване на един входен оптически сигнал на няколко изходни, или изпълнява обратната функция – обединение на няколко сигнала в един изходен (Фиг.6.а). Обикновено дървовидните разклонители разпределят мощността в равна степен между всички изходни полюси. Конфигурацията на полюсите се обозначава обикновено като $n \times m$, където n – е броя входни полюси (за дървовиден разклонител $n = 1$), а m – броят на изходните полюси, когато устройството работи в режим на разцепване. В разпространените в сегашно време модели, количеството изходни портове може да бъде от 2 до 32. Болшинството дървовидни разклонители са напълно двупосочни. Поради тази причина разклонителите могат да изпълняват функция на обединение на сигналите. Основно правило при производството



Фиг.10. Схема на оптически сегмент, използващ предаване на мултиплексен сигнал по оптично влакно

Терминът DWDM (dense wavelength division multiplexer) - плътно вълново мултиплексирание се използва по отношение на WDM устройства с разстояние между съседните канали 1,6 nm и по-малко. За създаването на многоканални WDM системи, заедно е с пасивните WDM филтри също така са необходими и теснолентови лазери, стабилно поддържащи нужната дължина на вълната. Доколкото именно лазерите си остават най-скъпите елементи в такива системи, те са фактът който определя развитието. В настояще време се използват системи с брой на каналите 4, 8, 16, 32 и 40. Предполага се, че увеличението на каналите може да нарасне още.

ОСНОВНИ ТЕХНИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ НА WDM УСТРОЙСТВОТА

Терминологията е еднакво приложима за всички WDM устройства. За това ще бъде разгледан най-простият вариант на двуканален мултиплексор. Заедно с функцията обединение (мултиплексирание) Фиг. 11.а устройствата за WDM могат да изпълняват и обратната функция (функция демултиплексирание) – отделяне на сигнали с различни дължини на вълните, Фиг.11. Повечето произвеждани WDM устройства съвместяват режимите мултиплексирание и демултиплексирание в едно устройство. Такива устройства могат да се използват за мултиплексирание и демултиплексирание на двупосочни потоци, Фиг. 11.в. [2,3,4].

В идеалният случай, сигнал λ_1 , постъпващ на полюс 1 (Фиг. 11.а), трябва напълно да премине в общият изходен полюс 3 (common).

ДАЛЕЧНИ ПРЕХОДНИ ЗАГУБИ - FEXT

- (far-end crosstalk, или isolation) са мярка за изолацията между изходните полюси по сигналите с различни дължини на вълните. Ако сигналът постъпва на дължина на вълната λ_1 на полюс 3 (common), (Фиг. 11.б), то за него FEXT – това е онази част от мощност, регистрирана на дължина на вълната λ_1 на полюс 2, съответстващ (предназначен за) на дължина на вълната λ_2 .

В общият случай WDM модулите при работа в режим на мултиплексиране/ демултиплексиране могат да имат n входно/изходни полюси 1, 2, ..., n , които съответстват на дължини на вълните $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, и един общ изходен/входният полюс (com), Фиг. 11 в. Ще означим такъв модул като 1:n.

Ако въведем следните обозначения - за мултиплексора:

$P_i(\lambda_k)$ - входен сигнал на дължина на вълната λ_k , постъпващ на полюс i ;

$P_{i,j}(\lambda_k)$ - изходен сигнал на дължина на вълната λ_k , регистриран на входен полюс j , при условие, че входният сигнал на дължина на вълната λ_k постъпва на полюс i ($i \neq j$);

$P_{i,i}(\lambda_k)$ - обратно разсеян сигнал на дължина на вълната λ_k , постъпваща на полюс i ;

$P_{i,com}(\lambda_k)$ - изходен сигнал на дължина на вълната λ_k , регистриран на com-полюса, при условие, че входният сигнал на дължина на вълната λ_k постъпва на полюс i ;

За демултиплексора:

$P_{com}(\lambda_k)$ - входен сигнал на дължина на вълната λ_k , постъпващ на com-полюс;

$P_{com,j}(\lambda_k)$ - изходен сигнал на дължина на вълната λ_k , регистриран на изходния полюса j , при условие, че входният сигнал на дължина на вълната λ_k постъпва на com-полюса ($j \neq k$);

$P_{com,com}(\lambda_k)$ - обратно разсеян сигнал на дължина на вълната λ_k , постъпващ на com-полюса; $P_{com,k}(\lambda_k)$ - изходен сигнал на дължина на вълната λ_k , регистриран на изходния полюс k (собственият), при условие, че входният сигнал на дължина на вълната λ_k постъпва на com-полюса.

Коефициентите на близки b_{NEXT} и на далечни b_{FEXT} преходни влияния, а също така и коефициентите на обратно разсейване на близък и на далечен край b_{NE} и b_{FE} се определят от съотношенията:

$$b_{NEXT}(i,j) = 10 \lg \frac{P_{i,j}(\lambda_1)}{P_1(\lambda_1)}, (i \neq j = 1, \dots, n) \quad b_{FEXT}(i,j) = 10 \lg \frac{P_{com,j}(\lambda_1)}{P_{com}(\lambda_1)}, (j \neq i = 1, \dots, n);$$

$$b_{NE}(i) = 10 \lg \frac{P_{i,j}(\lambda_1)}{P_1(\lambda_1)}, (i = 1, \dots, n) \quad b_{FE}(i) = 10 \lg \frac{P_{com,com}(\lambda_1)}{P_{com}(\lambda_1)}, (i = 1, \dots, n).$$

В общият случай WDM модул 1:n може да се опише от набор от матрици - n матрици преходни коефициенти (по една матрица за всяка дължина на вълната), където всяка матрица има размерност (n+1)x(n+1).

Коефициентите на предаване на близък a_{NE} и далечен a_{FE} край се определят от съотношенията:

$$a_{NE}(i) = -10 \lg \frac{P_{1,com}(\lambda_1)}{P_1(\lambda_1)}, (i = 1, \dots, n) \quad a_{FE}(i) = -10 \lg \frac{P_{com,i}(\lambda_1)}{P_{com}(\lambda_1)}, (i = 1, \dots, n).$$

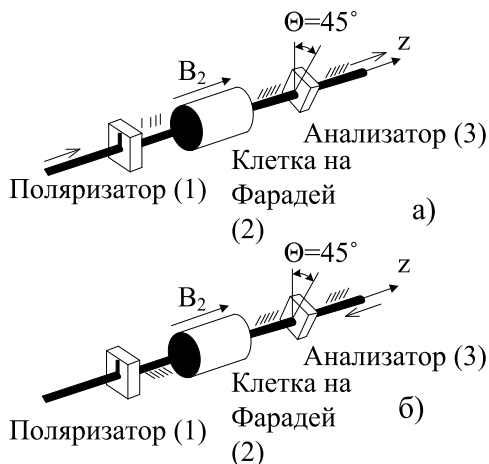
Широкозонни и теснозонни WDM филтри

Широкозонни WDM филтри са предназначени за работа с два, максимум с три дължини на вълните при разстояние между каналите по-голямо от 70 nm (1310, 1550, 1625 nm). Те най-често се използват в системи за кабелна телевизия при 1310/1550 nm, или в цифрови телекомуникационни системи. Допуска се също и използване на двойки дължини на вълните 1550/1625 nm при осъществяване на дистанционен мониторинг на оптичната система на дължина вълната 1625 nm.

Теснозоновите WDM филтри са предназначени за мултиплексиране и демултиплексиране на сигнали в многоканални системи с разстояние между каналите от минимално 0,4-1,6 nm до 70 nm. Основните технически характеристики, с изключение на работната дължина на вълната, са подобни на ширококолентовите. Основните области на приложение са: влакнесто-оптични системи с използване на оптически усилватели EDFA, мултиплексни системи "add/drop", напълно оптични мрежи.

ОПТИЧНИ АТЕНЮАТОРИ

Оптичният атенюатор е пасивен оптичен елемент, който внася контролирано затихване на оптичния сигнал в оптичната преносна линия [2,3,4].



Фиг.13. Схема на оптически изолатор

ПРИЕМНИ ОПТОЕЛЕКТРОННИ МОДУЛИ

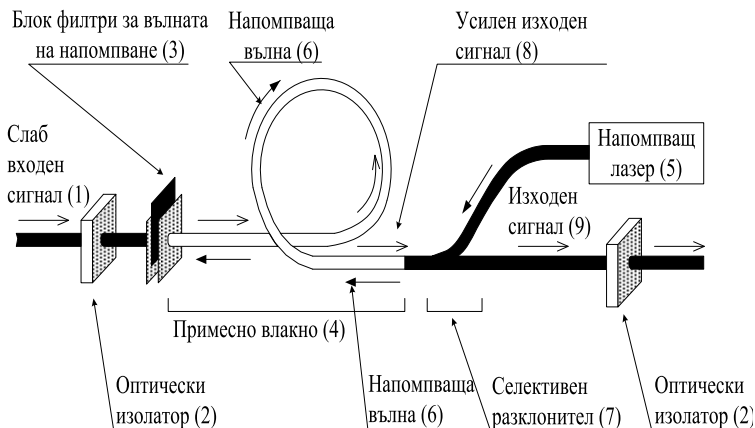
Основни функционални елементи на ПРОМ са : фото приемник – преобразува полученият оптоелектронен сигнал в електрически ; каскада електрически усилватели, усилващи сигнала и преобразуващи го във форма удобна за по-нататъшна обработка; демодулатор, възпроизвеждащ първоначалната форма на сигнала.

На практика тези три елемента могат да се различават за различните ПРОМ модули. Например детектор от тип лавинен диод осигурява достатъчно голямо вътрешно усилване, в резултат на което собствените шумове на последващия електронен усилвател стават незначителни в сравнение с нивото на полезния сигнал. В някои ПРОМ липсва демодулатор, или веригата за приемане на решения, доколкото изходният сигнал е достатъчно силен на

На Фиг. 17. е показана една реализация на източник на мултиплексно многовълново излъчване, в който ППЛУ се използва в качеството си на широколентов усилвател. Няколко теснолентови полупроводникови лазера на различни дължини на вълната генерират светлинни сигнали, които се мултиплексират и размножават посредством оптически разклонител. ППЛУ се намира на изхода, за да усилва сигнала, след затихването на сигнала в оптичния разклонител.

УСИЛВАТЕЛИ НА БАЗАТА НА ПРИМЕСНИ ВЛАКНА.

Този тип оптически усилватели са най-широко разпространени и се явяват ключов елемент в технологията на напълно оптическите мрежи, доколкото те позволяват усилване на сигнала в широк спектрален диапазон [2].

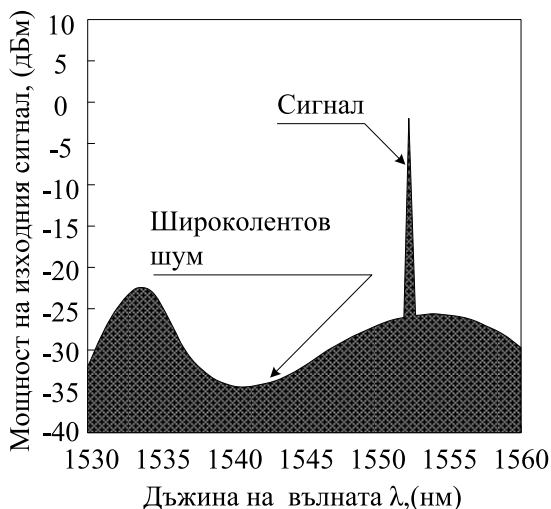


Фиг. 18. Оптически усилвател на базата на примесно влакно

Характерен за оптичните усилватели се явява широколентовия собствен шум, Фиг. 21. Този шум е невъзможно да се избегне. Той е свързан със спонтанното излъчване на инверсно-заселените нива на примесните атоми.

РАЗНОВИДНОСТИ НА УСИЛВАТЕЛИТЕ EDFA

В момента за комерсиални цели са най-разпространени два варианта усилватели EDFA. Едните са на основата на силициево оптично влакно, а другите на флуор-цирконатно [2,3].



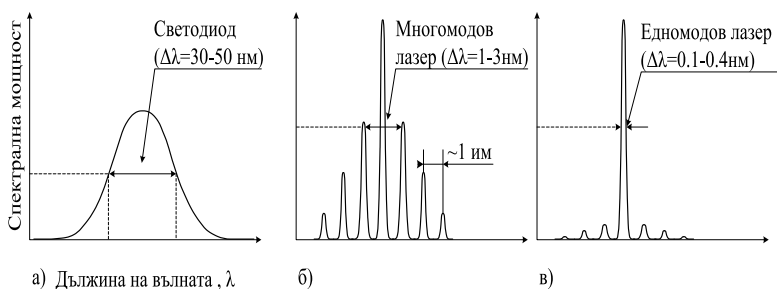
Фиг. 22. Мощност на изходния сигнала и шума в EDFA

При много близък вътрешен строеж, тези усилватели се отличават само по влакното от което са изготвени. Усилвателите EDFA на силициева основа са се появили първи. Те са заели широка ниша от пазара, благодарение на възможността за усилване на WDM

но не толкова голяма, че да се достигне до нелинейни изкривявания, повреда на влакното или на оптичския приемник;

- Температурните промени не трябва да оказват влияние на параметрите на източника;
- Цената му трябва да бъде относително ниска.

Два основни типа източници на излъчване в момента удовлетворяват тези изисквания най-добре – това са използваните в настояще време - светодиоди (LED) и полупроводникови лазерни диоди (LD).



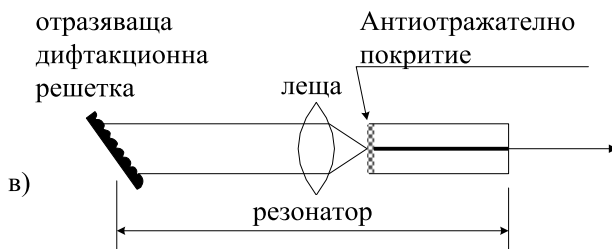
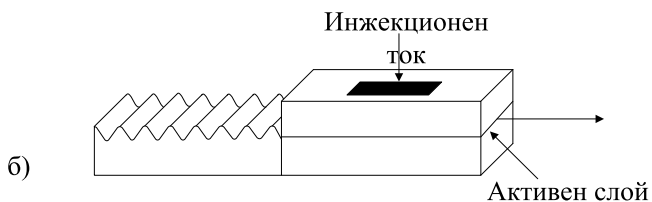
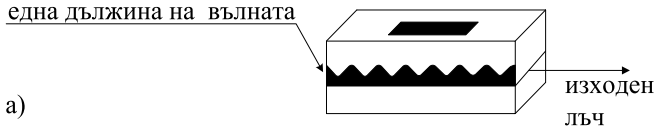
Фиг. 24. Спектри на излъчване светодиоди и на лазерни диод

Главни отличителни черти между светодиодите и лазерните диоди – това са ширината на спектъра на излъчване и изходната мощност. Светоизлъчващите диоди имат широк спектър на излъчване, в същото време лазерните диоди имат значително по-тесен спектър и излъчват значително по-голяма мощност Фиг. 24. [2,5]

Двата типа устройства са достатъчно компактни и добре се съгласуват със стандартните електронни елементи и вериги.

Главна причина за ограничението на честотната лента на светодиодите е времето на живот на токоносителите τ . Това е средното време за което инжектирани токоносители рекомбинират.

Периодическата структура
ограничава излъчването до
една дължина на вълната



Фиг. 33. Три основни типа лазерни диоди:

- а) лазер с разпределена обратна връзка, DFB лазер;
- б) лазер с разпределено бреговско отражение, DBR лазер;
- в) лазер с един външен резонатор, ЕС лазер

ОСНОВНИ ПРАВИЛА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ОПТИЧНИ КАБЕЛНИ ЛИНИИ

Инвестиционните проекти за изграждане на мрежи се изработват от проектантите, притежаващи пълна проектантска правоспособност и се проектират, съгласуват, одобряват, изграждат и въвеждат в експлоатация съгласно закона [7,8].

Строителството на оптични кабелни линии се извършва единствено и само при одобрен инвестиционен проект [7,8].

СЪДЪРЖАНИЕ НА ИНВЕСТИЦИОННИЯ ПРОЕКТ

Съдържанието на инвестиционният проект включва следните части - Архитектура и конструкции: Архитектурна и Конструктивна документация; Инсталации и мрежи на техническата инфраструктура: Отклонения от общите мрежи и съоръжения на техническата инфраструктура; Геодезическа: Трасировъчен план; Технологична: Вертикална планировка; Проект за организация и изпълнение на строителството; Организация и безопасност на движението; Специфични обекти; Други, при сложни и комплексни обекти [7].

Обяснителната записка се състои от обща част, съдържаща общо описание на оптичната линия [7]. В нея се излагат основанията и документите, въз основа на които се изготвя дадения проект-Съществуващо положение с анализ на съществуващото положение на обекта; Техническо решение за изграждане на новия обект: Посочва се подробно характера на работите, които трябва да се извършат за изграждането на новия обект. То включва, както предварителни работи, като разширение или изграждане на нова канална мрежа, строителни работи по шахтите и(или) централите и други, така и работите по прокарването на новия кабел; Технически спецификации за материалите, с които се изгражда обекта. В тях се дават всички необходими технически параметри; Количествена сметка на строителните работи; Чертежи описващи трасето на

работа по уточняването на местата на укрепване е свършена още по време на полагането на тръбите. Укрепването на тръбите и кабела към стените на шахтите става задължително с пластмасови скоби към съществуващи конзоли и (или) с полиетиленови дюбели.

При укрепването на тръбите трябва да се спазват някои изисквания - подвеждането на тръбите трябва да се направи така, че да не се кръстосват други кабели; не трябва да се кръстосват и свободни отвори от каналната мрежа; ако се налага, укрепването може да става и по тавана на шахтата; радиусите на огъване на тръбите, съответно и на оптичния кабел, не трябва да са по-малки от минимално допустимия радиус на огъване, който обикновено е $(10 \text{ до } 15) \times D$, където D е диаметърът на тръбата, съответно оптичния кабел.

Във всяка шахта задължително всеки оптичен кабел, HDPE-тръба или група се уплътнява към PVC тръбата.

ОСНОВНИ ПРАВИЛА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ОПТИЧНА КАБЕЛНА ЛИНИЯ В УЧАСТЪЦИ БЕЗ КАНАЛНА МРЕЖА

ТРАСИРАНЕ НА МЯСТОТО НА ИЗКОПА.

Преди започване на изкопните работи трябва да се определи точното място на кабелното трасе [1]. Това се извършва от службите поддържащи селищните и извън селищни мрежи. Използвайки утвърдения проект се набиват колчета определящи точното трасе на кабела. При това трябва да се спазват всички изисквания относно доближаване или пресичане с други кабели, водопроводи и други съоръжения.

Направа на изкопи - в зависимост от конкретната обстановка изкопите се правят ръчно или механизирани.

механично при неправилно влизане или излизане от шахтата; Радиусите на огъване на кабела не трябва да са по-малки от минимално допустимия радиус на огъване, който обикновено е $(10-15) \times D$, където D е диаметърът на оптичния кабел; Сполучливото формиране на кабелите до голяма степен зависи от това в кои отвори от двете страни на шахтата е изтеглен оптичният кабел или по-точно положена HDPE-тръбата, в която впоследствие се изтегля кабела. Тези изисквания задължително се спазват още при изготвянето на проекта; След уточняване на мястото на формиране се пристъпва към укрепване на двата кабела; Укрепването става с пластмасови скоби на съществуващи конзоли или чрез полиетиленови дюбели с глухи глави (през което минава пластмасовата скоба); След това от мястото, от което двата кабела тръгват заедно, те се закрепват един към друг с пластмасови скоби или с PVC лента през един метър, навива се резерв от 15 m до 20 m, и върху двата кабела се отбелязва мястото, където влизат в муфата.

Предварителното формиране зависи от типа на използваните шахти. В шахти от тип I кабелите се укрепват до мястото, където тръгват заедно и после се процедира, както в шахта от каналната мрежа. В шахти от тип II кабелите не се укрепват, а се фиксират един към друг и набиват заедно.

ПРЕДВАРИТЕЛНО ФОРМИРАНЕ НА КРАЙНАТА МУФА.

ПОДГОТОВКА НА КАБЕЛНИТЕ КРАИЩА

След маркирането на кабелите в мястото на влизането им в муфата, те се развиват от резерва, така както са свързани заедно и се срязват на разстояние около 1,5 - 2 m след направения белег (в зависимост от конкретната муфа). Записва се задължително метража на двата кабела в мястото на срязване и в мястото, където влизат в стените на шахтата. Това се прави с цел да се документира точно дължината на кабела между муфите, както и оставения кабелен

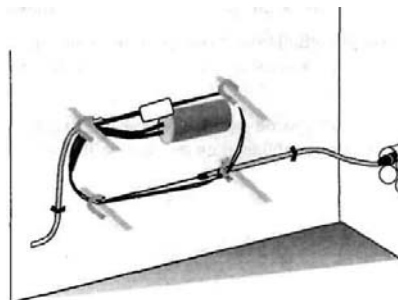
ОСНОВНИ ПРАВИЛА ПРИ МОНТАЖ НА КАБЕЛНИ ЛИНИИ В ПОДЗЕМНАТА ТЕЛЕФОННА ТРЪБНА МРЕЖА.

Формирането на кабелния резерв се извършва по два начина [1]:

Формиране на кабелен резерв тип кръг - при ограничения в мястото. Този вид формиране се използва в шахти, където има малко свободно пространство. На Фиг. 43. е показано примерно формиране. Кабелът се формира във вид на кръг. Кръгът трябва да бъде с диаметър не по-малко от $D_k=0,70$ m. Кабелният резерв се захваща за стената в четири точки разположени на 90° една спрямо друга с пластмасови скоби.



Фиг. 43.

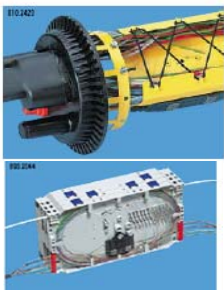


Фиг. 44

При малки шахти може да се използва и формиране показано на Фиг. 44.

Формиране на кабелния резерв тип осмица. На Фиг.45. е показано примерно формиране.

МУФИ ЗА ОПТИЧНИ КАБЕЛИ



Муфите са елемент осигуряващ защита на съединението на два или повече оптични кабела срещу въздействията на околната среда. Муфите са: съединителни, крайни и разклонителни.

ПРИМЕРНА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ИЗГОТВЯНЕ НА ОПТИЧНА МУФА.

По долу е описан един начина за монтаж на оптична муфа.

Посочената муфа е често използвана в България и има ниска цена и добри параметри.



Модел - Тусо FOSC 400A4, Капацитет влакната – 32 броя влакна
Дължина – 420mm, 4 овални отвора, 2 касети



- Срязваме излишната дължина на кабела. Ако е необходимо свързваме изолираната жица на 2-та кабела с защитна скоба. Чифтовете ще бъдат свързани заедно според изискванията.

5. Уплътнение на овалния изход.



- Почистваме овалния вход и кабелната обвивка с чиста кърпа на разстояние 100mm от края на входа.;



- Изтъркваме овалния вход и кабелната обвивка по периферията на чистата област с абразивна лента. Премахваме останалите стружки с чиста кърпа;

която да се облекчи работата по изпълнението на трасетата на комуникационните мрежи.

ЕЛЕКТРОДЪГОВО СВЪРЗВАНЕ НА ОПТИЧНИ ВЛАКНА

Електродъгово свързване или заварки на оптичните влакна се използват за изграждането на телекомуникационни системи използващи едномодови и многомодови единични оптични влакна [1,2].

По отношение на функционалните изисквания към заварките, трябва да се спазва точно редът от процедури за подготовката на оптичните влакна, юстирането им, заваряването и защитаването им съгласно препоръка L.12 на ITU-T.

Всички оптични измервания трябва да се извършват за двете дължини на вълната 1310 nm и 1550 nm, освен ако изрично не са указани други. Трябва да се използват източници на оптично лъчение с максимуми на излъчената дължина на вълната и отклонения съответно: $1310 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$ и $1550 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$.

Отклонението от стойността на внесеното затихване от заварката след всяко измерване трябва да бъде $< \pm 0.05 \text{ dB}$.

За всяко измерване дължината на оптичното влакно от края на защитата на заварката трябва да бъде поне 1.5 m.

Мястото на заварката трябва да бъде огледано за дефекти с увеличително стъкло с увеличение от 3 до 8 пъти. Това изискване не се прилага, когато апаратът има дисплей, на който се визуализират заварените влакна след заварката или разполага с вграден микроскоп.

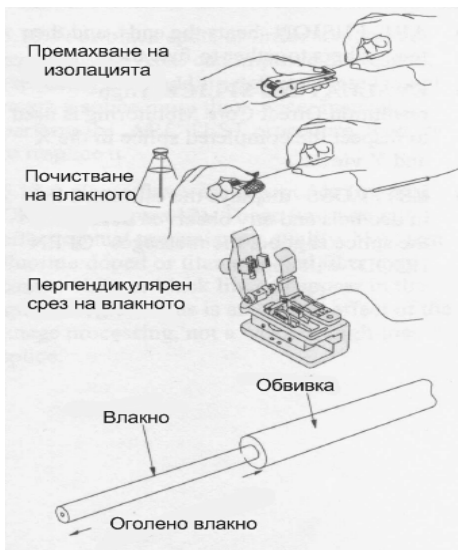
Областта на заварката и участъците от оптичните влакна с отстранено първично покритие трябва да бъдат напълно обхванати от защитата на заварката. Трябва да се вижда, че защитата на заварката застъпва част от вторичното покритие на оптичните

ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ЗАВАРКА НА АВТОМАТИЧЕН АПАРАТ

Необходими аксесоари

- Инструмент за вертикален срез
- Стрипер – за снемане първичното покритие на оптично влакно
- Средства за почистване на влакната – включително 99% алкохол и марля
- Защитни втулки – представляват термосвиваеми тръбички с метален щифт.

ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ НА СЪТЪПКИТЕ ПРИ ЗАВАРЯВАНЕ



Тази процедура предполага, че кабелите са предварително подготвени и влакната са отделени и почистени.

Последователност на стъпките необходими за направа на заварка с апарат за автоматично електродъгово заваряване (fusion splicer)

- Включване на сплайсера

Таблица 12



Стрипер – за снемане първичното покритие



Инструмент за вертикален срез.



Ножици



Стрипер - за снемане първичното покритие



Термичен стрипер



Инструмент за разделяне на лентови кабели



Инструмент за разцепване на лентови кабели



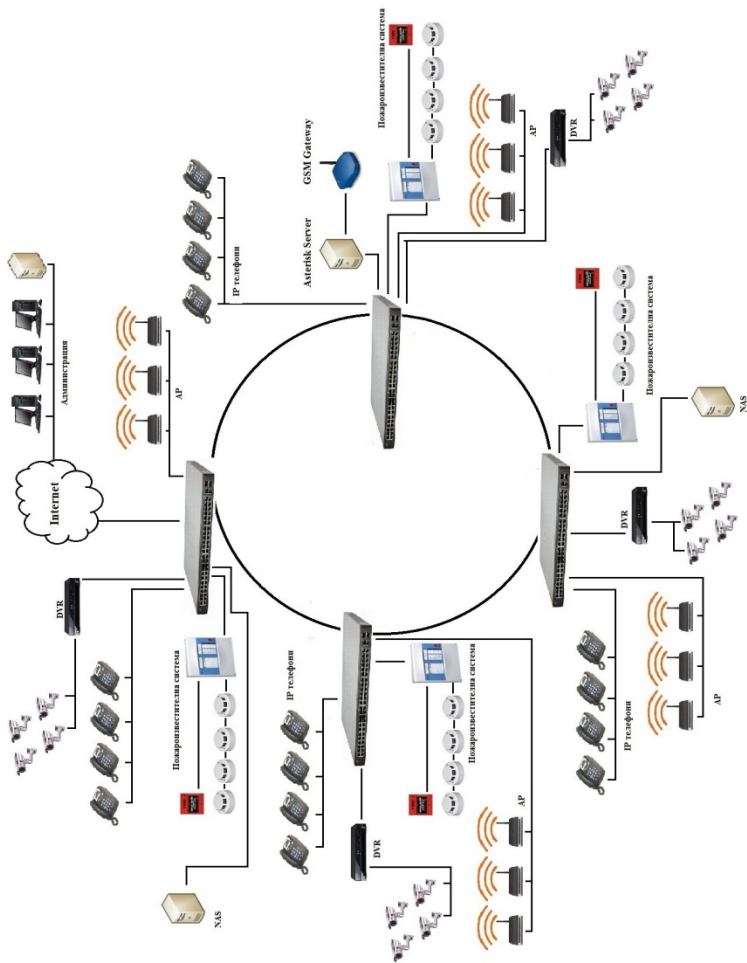
Почистващи марли за оптични влакна



Укрепващи тръбички

Основен инструмент, от който в най-голяма степен зависи качеството на заварката това е инструментът за рязане на оптични

Друг пример е показан на Фиг. 51



Фиг. 51. Хибридна оптична мрежа по кръгова топология, базирана на суичове поддържащи Spanning Tree Algorithm (STA)

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция за строителство на оптични кабелни линии, Б ТК, НИИС, 2004 г.
2. Тошков А. З., Оптични комуникации, БСУ, Бургас, 2005г.
3. Волоконно-оптические сети, Инженерная энциклопедия, Р.Р.Убайдуллаев 1998 Москва, Эко-Трендз
4. Рабов С., Христов А., Оптични комуникации, София, Нови знания, 1999
5. Колев И. С, Оптиелектроника и оптични комуникации, Габрово, УИ-Васил Априлов, 2001
6. Колев И. С., Оптиелектроника, Габрово, УИ-Васил Априлов, 2004
7. Наредба № 17 от 2005 г. - Наредба за правилата за изграждане на кабелни далекосъобщителни мрежи и съоръженията към тях.
8. Наредба № 55 от 2004 г. Наредба за проектиране и строителство на железопътни линии, железопътни гари и други елементи на железопътната инфраструктура.
9. Тошков А. З., Ethernet в оптичните мрежи, БСУ, Бургас, 2011г.

СЪДЪРЖАНИЕ

Въведение	5
Елементи и устройства за изграждане на оптични мрежи.	6
Конструктивни особености на оптичните влакна и кабели	6
Първично покритие на оптичното влакно.....	6
Вторично покритие на оптичното влакно	6
Цветово кодиране на оптичните влакна.....	6
Оптични влакна с плътно вторично покритие	7
Оптични влакна с комбинирано вторично покритие	8
Оптични влакна със свободно вторично покритие	9
Оптични влакна с лентова конструкция.....	9
Оптичен кабел	10
Станционен оптичен кабел.....	13
Оптичен шнур.....	14
Някои основни работни параметри на оптичните влакна.....	14
Стандартизирани типове оптични влакна.....	15
Оптични съединители	17

Оптични разклонители.....	19
Дървовиден разклонител (tree coupler).....	19
Звездообразни разклонители.....	20
Отклонител (tap).....	20
Основни параметри при описанието на разклонителите.....	21
Оптични превключватели.....	26
Оптични мултиплексори - WDM.....	27
Параметри на устройствата за вълново уплътнение WDM....	28
Основни технически параметри на WDM устройствата.....	29
Оптични атенюатори.....	32
Затихване.....	33
Оптически изолатори.....	34
Приемни оптоелектронни модули.....	35
Принцип на работа на фотоприемника.....	37
Оптически повторители и усилватели.....	39
Оптически усилватели.....	39
Усилватели на Фабри-Перо.....	39
Усилватели на основата на влакно, използващи брилюеновско разсейване.....	40

Усилватели на основата на влакно, използващи рамановско разсейване.	40
Полупроводникови лазерни усилватели (ППЛУ)	41
Усилватели на базата на примесни влакна.	43
Предавателни оптоелектронни модули (ПОМ)	53
Типове и характеристики на източниците на излъчване	53
Лазерни диоди	58
Основни експлоатационни характеристики на източниците на излъчване	68
Основни правила при проектиране на оптични кабелни линии	72
Съдържание на инвестиционния проект	72
Проект на каналната мрежа	73
Проект в участъци без канална мрежа.....	76
Основни правила при проектиране на кабелни линии в технологични сгради	81
Съгласувания на проектите	82
Основни правила при изграждане на оптични кабелни мрежи	83
Изисквания за безопасност на мрежите.....	83
Общи изисквания при изграждане на подземни оптични кабелни мрежи	84

Общи изисквания при изграждане на подземни оптични кабелни мрежи извън границите на урбанизираните територии	85
Общи изисквания при изграждане на подземни оптични кабелни мрежи в границите на урбанизираните територии	86
Общи изисквания при изграждане на въздушни кабелни оптични мрежи	87
Общи изисквания при изграждане на оптични кабелни съобщителни инсталации в сгради.....	88
Основни правила за изграждане на оптична кабелна линия в канална мрежа.....	89
Полагане на защитни HDPE тръби.....	89
Ръчно въвеждане на защитната тръба в каналната мрежа.....	89
Механизирано изтегляне на защитна HDPE тръба в каналната мрежа.....	91
Изтегляне на оптичен кабел.....	92
Укрепване на тръбата и оптичния кабел в шахтите	95
Основни правила за изграждане на оптична кабелна линия в участъци без канална мрежа.....	96
Трасиране на мястото на изкопа.....	96
Полагане на HDPE тръбите в изкопа	101
Запълване на изкопите	102
Полагане на HDPE-тръби с вибрационен плуг	104

Изтегляне на оптичния кабел.	104
Директно изстрелване на оптичен кабел в тръбата.	105
Изтегляне (изстрелване) на оптичния кабел.	106
Изстрелване на кабела	107
Изстрелване на оптичен кабел в селищната канална мрежа с оставяне на резерви за абонатни отклонения.	108
Изваждане на кабел от тръба.	111
Свързване на оптичните кабели при изграждане на оптична кабелна линия	112
Предварително формиране.	112
Предварително формиране на крайната муфта.	113
Подготовка на кабелните краища	113
Затваряне и укрепване на муфата.	114
Технологии за свързване на тръби при изграждане на оптична кабелна мрежа	115
Съединители за HDPE тръби.....	120
Запушващи елементи за защитни тръби от HDPE	120
Основни правила при монтаж на кабелни линии в подземната телефонна тръбна мрежа.....	122
Разполагане на оптични кабели в колектор.....	124
Формиране на кабелния резерв и укрепване на муфите в шахтите.....	124

Разполагане на муфите и формиране на резервите в кабелните тунели (колектори)	125
Изграждане на кабелните шахти	125
Кабелната шахта тип I.....	126
Кабелната шахта тип II	127
Шахти от полимерни материали	127
Маркировка на мрежите.....	127
Маркировка с табелки.....	127
Маркировка с реперни стълбчета	128
Маркировка със сигнална лента.....	130
Пасивни честотни маркери.....	130
Муфи за оптични кабели.....	132
Примерна технология за изготвяне на оптична муфа.	132
Някои по-важни инструменти, приспособления и машини.....	146
Електродъгово свързване на оптични влакна	148
Изисквания за качеството на заварките.....	150
Уреди и инструменти за свързване на оптичните кабели и влакна.	150
Изпълнение на заварка на автоматичен апарат	152

Използвани инструменти за работа с оптични влакна.....	154
Пример за реализация оптична мрежа по кръгова топология ..	157
Литература.....	163
Съдържание.....	164

При необходимост от по-задълбочено проучване на предложените въпроси, авторът препоръчва използването на приложената към учебника литература.

Други публикации на автора в тематичното направление:

1. Тошков А., Оптични комуникации, БСУ, Бургас, 2005г.
2. Тошков А., Оптични мрежи, БСУ, Бургас, 2011г.
3. Тошков А., Ethernet в оптичните мрежи, БС, Бургас, 2011г.
4. Тошков А., Анализ на връзките между конструктивните и експлоатационните параметри на оптичните влакна, Онгъл, Варна, 2011г.

ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗГРАЖДАНЕ
НА ОПТИЧНИ МРЕЖИ

Автор: доц. д-р Ангел Захариев Тошков

Рецензенти: проф. д-н Андон Димитров Лазаров
проф. д-р Димитър Владимиров Македонски

Тип на изданието: учебник
Издание: първо
Националност: българска
Издателство: ОНГЪЛ
Формат: А5, 14,8/21
Печатни коли: 11,00
Тираж: 100 бр.
Година на издаване: 2011

ISBN №: 978-954-9370-77-5

Издателство: ОНГЪЛ - Варна

Бургаски свободен университет
Бургас 2011 г.