

VAJA 5. - MERITEV BARVNE RAZPRŠIVE OPTIČNEGA VLAKNA

5.1. Barvna razpršitev optičnega vlakna

Pri potovanju svetlobnega impulza skozi optično vlakno pride do njegove razširitve (angl. dispersion). Pojavu razširitve impulza v žargonu pravimo tudi disperzija. V vlakno vstopa lepo oblikovan digitalni optični impulz, iz vlakna pa dobimo razširjen impulz. Ta pojav je moteč predvsem pri velikih bitnih pretokih, ko so časovne razdalje med impulzi dokaj majhne. Po razširitvi pride namreč do prekrivanja impulzov, kar poveča verjetnost narobe sprejetega bita.

Če imamo opravka z mnogorodovnim optičnim vlaknom, je prevladujoča mnogorodovna razpršitev. Za odpravo le-te obstajata dve rešitvi. Prva je izdelava vlakna z gradientnim lomnim likom, kjer je mnogorodovna razpršitev manj izrazita kot pri mnogorodovnem vlaknu s stopničastim lomnim likom. Druga rešitev za odpravo mnogorodovne razpršitve pa je uvedba enorodovnega optičnega vlakna.

Če zmanjšamo premer jedra optičnega vlakna toliko, da se po njem širi samo osnovni rod HE_{11} svetlobnega valovanja, dobimo enorodovno vlakno, ki zaradi širjenja enega samega rodu ne pozna mnogorodovne razpršitve. Pri enorodovnem vlaknu pa prihajata do izraza še barvna razpršitev in polarizacijska razpršitev.

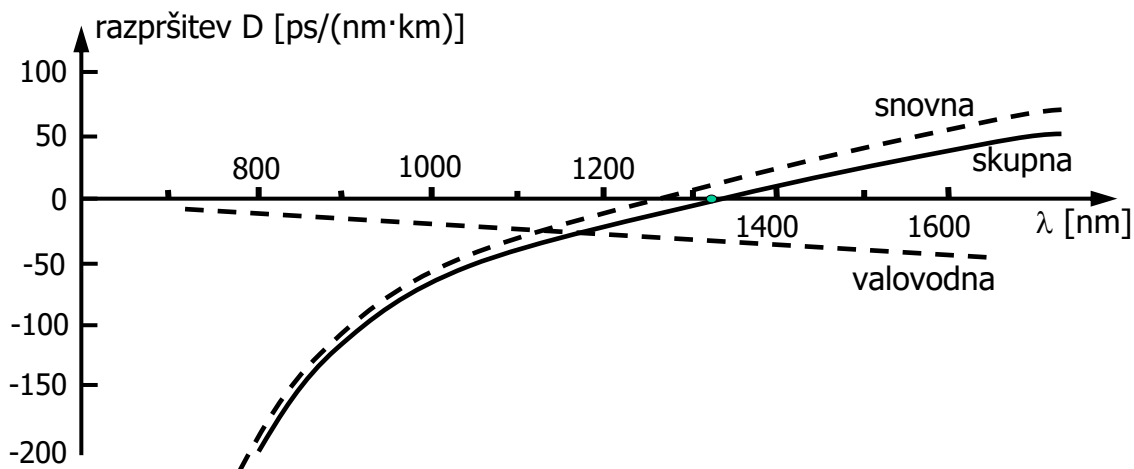
Omenjeni pojavi razpršitve svetlobnega signala so po fizikalnem principu delovanja povsem različni, vendar pri vseh pride do nezaželenega učinka razširitve optičnega impulza v časovnem prostoru. Glede na velikostni razred je v optičnih vlaknih najbolj prevladujoča mnogorodovna razpršitev, ki pa v enorodovnem optičnem vlaknu ni prisotna, ker po njem potuje en sam rod valovanja. Pri uporabi enorodovnega optičnega vlakna za krajše komunikacijske zveze z nizkim bitnim pretokom je polarizacijska razpršitev mnogokrat celo zanemarljivo majhna, v obzir pa moramo skoraj vedno jemati barvno razpršitev.

Barvno razpršitev (angl. chromatic dispersion; s tujko v žargonu tudi kromatska disperzija) sestavljata snovna in valovodna razpršitev, katerih učinki se v praktičnih primerih lahko seštevati ali odštevati.

Snovna razpršitev je sicer optični pojav, ki se ga lahko tudi koristno izrablja za razločevanje posameznih komponent svetlobe v prizmi. Gre torej za pojav, ko ima svetloba pri potovanju skozi steklo različne hitrosti glede na njeno valovno dolžino. Steklo je snov, katere lomni količnik je odvisen od frekvence (valovne dolžine) svetlobe, ki prehaja skozenj. Snovna razpršitev pride tem bolj do izraza, čim širši optični spekter ima svetlobni vir.

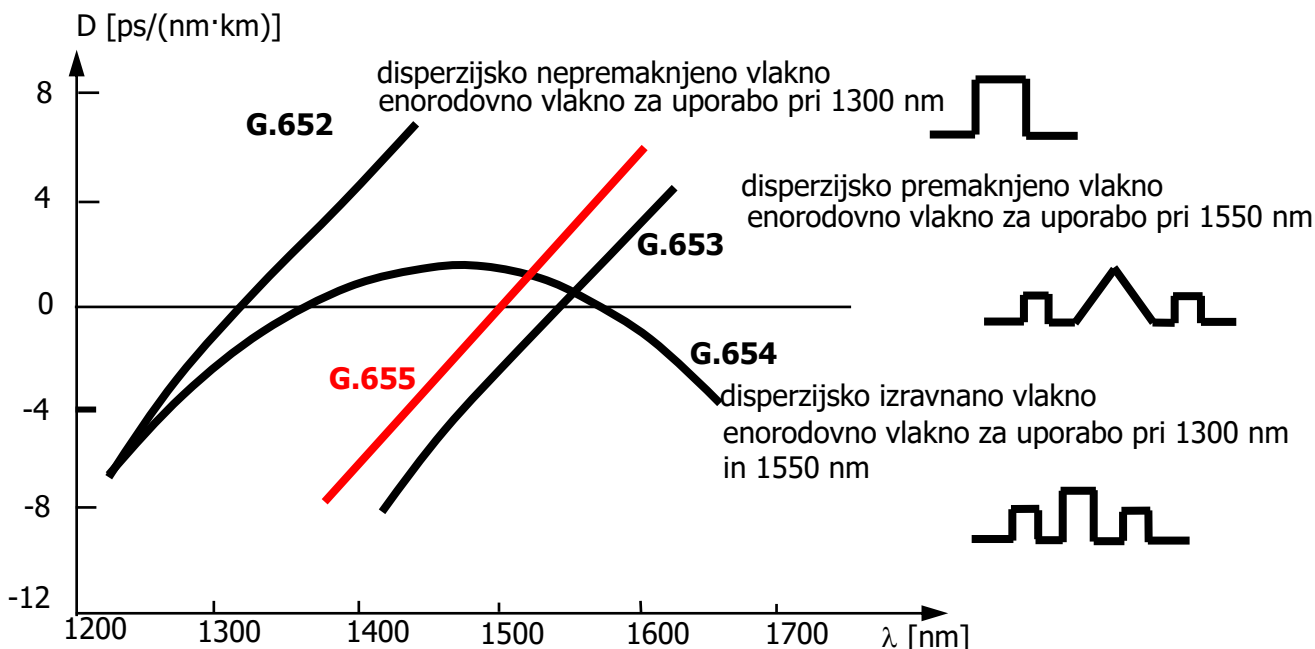
Iz grafa na sliki 5.1 je razvidno, da snovna razpršitev SiO_2 stekla narašča z naraščanjem valovne dolžine. Točka ničelne razpršitve za SiO_2 nastopi pri valovni dolžini 1270 nm. Poleg snovne razpršitve stekla ima optično vlakno tudi valovodno razpršitev, ki je odvisna od oblike lomnega lika. Standardno enorodovno vlakno ima valovodno razpršitev takšno, da skupaj z snovno razpršitvijo tvorita pri valovni dolžini 1310 nm točko ničelne razpršitve za

standardno enorodovno vlakno. To je tudi razlog za nastanek drugega spektralnega okna v optičnih komunikacijah.



Slika 5.1. – Snovna, valovodna in skupna barvna razpršitev v optičnem vlaknu v odvisnosti od valovne dolžine.

Z obliko lomnega lika pri enorodovnem optičnem vlaknu lahko vplivamo na razpršitvene lastnosti svetlovoda. S seštevkom snovne in valovodne razpršitve lahko dobimo vlakno s skorajda poljubno razpršitvijo. Na sliki 5.2 so prikazani standardizirani tipi enorodovnega optičnega vlakna.



Slika 5.2. – Razpršitev vlaken z ITU oznako G.652, G.653, G.654 in G.655.

Običajno G.652 vlakno ima standardni premer jedra $9\ \mu\text{m}$. Skupna valovna dolžina se ne premakne veliko in je še vedno blizu $1310\ \text{nm}$. To vlakno je bilo prvo enorodovno vlakno in se še danes najpogosteje uporablja.

Disperzijsko premaknjeno vlakno G.653, označeno tudi kot 8/125, je znatno premaknjeno v desno. Minimalna razpršitev tovrstnega vlakna je v okolici $1550\ \text{nm}$, kjer je slabljenje najmanjše. Pri G.654 vlaknu sta snovna in valovodna razpršitvi tako izenačeni, da dobimo disperzijsko izravnano optično vlakno. Razpršitev je pri tem vlaknu minimalna v drugem in tretjem spektralnem oknu. Kasnejši razvoj optičnih sistemov je pokazal, da zaradi nastanka nezaželenih nelinearnih pojavov za komunikacijo ni najbolj idealno področje z minimalno razpršitvijo. Iz tega razloga se je polaganje optična vlakna tipa G.653 in G.654 opustilo.

Najnovejše je vlakno z oznako G.655, označeno tudi z LEAF, ki ima v področju delovanja manjšo pozitivno razpršitev (od 4 do $8\ \text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$). Dobi se v raznih izvedbah strmine in efektivne površine jedra, ki sta na žalost prenosorazmerna parametra.

5.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

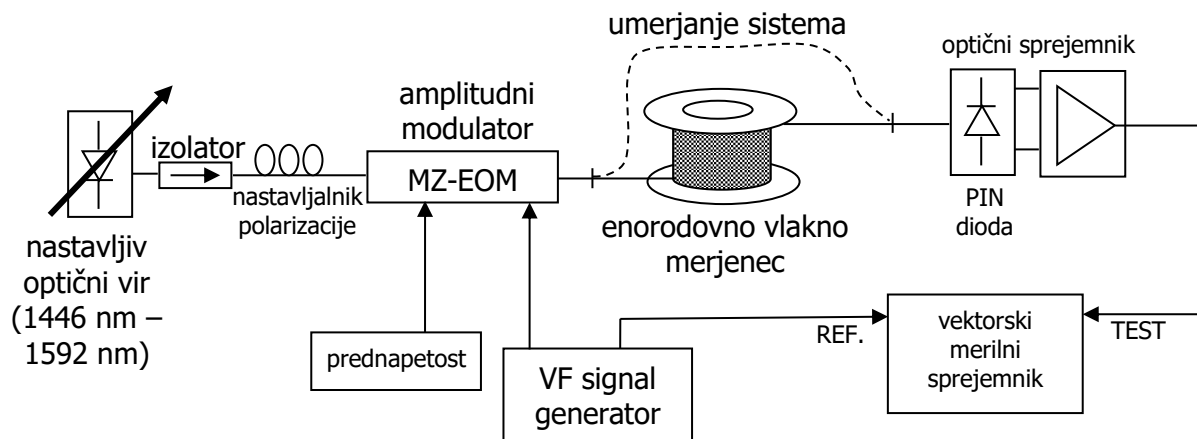
- (1) nastavljivi optični vir z izolatorjem,
- (2) vlakenski nastavljalnik polarizacije,
- (3) Mach-Zehnderjev elektrooptični modulator na LiNbO_3 ,
- (4) nastavljiv enosmerni napetostni generator,
- (5) VF signalni generator frekvence $1\ \text{GHz}$,
- (6) vektorski merilni sprejemnik,
- (7) optični sprejemnik s PIN fotodiodo pasovne širine vsaj $1\ \text{GHz}$,
- (8) enorodovno optično vlakno (merjenec) na primer $10\ \text{km}$ G.652 vlakna,
- (9) povezovalne optične FC/PC kable in pripadajoče adapterje.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 4.3.

5.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Meritev razpršitve merilnih vzorcev izvedemo s pomočjo standardiziranega postopka faznega premika [ITU-T recommendation G.650: Definition and test methods for the relevant parameters of single mode fibers]. Pred pričetkom meritve je potrebno izvesti kalibracijo sistema s pomočjo kratkega vlakna.

Nastavljivi optični vir služi za spremembo valovne dolžine v širokem področju od $1446\ \text{nm}$ do $1592\ \text{nm}$. Na svetlobni signal je s pomočjo zunanega Mach-Zehnderjev amplitudnega modulatorja jakostno moduliran visokofrekvenčni signal konstantne frekvence $1\ \text{GHz}$. Moduliran signal potuje po merjenem optičnem vlaknu in se detektira na optičnem sprejemniku.



Slika 5.3. – Prikaz vezave za merjenje spektralnega poteka razpršitve optičnega enorodovnega vlakna.

Zaradi barvne razpršitve, ki nastane pri potovanju skozi merjenec, je optični signal deležen faznega premika. Z vektorskim merilnim sprejemnikom opazujemo fazni premik, ki nastane med referenčnim in testnim vhodom. Iz faznega premika in modulacijske frekvence f_m izračunamo skupinsko zakasnitev.

$$\tau_g(\lambda) = \frac{\varphi(\lambda)}{2\pi f_m}$$

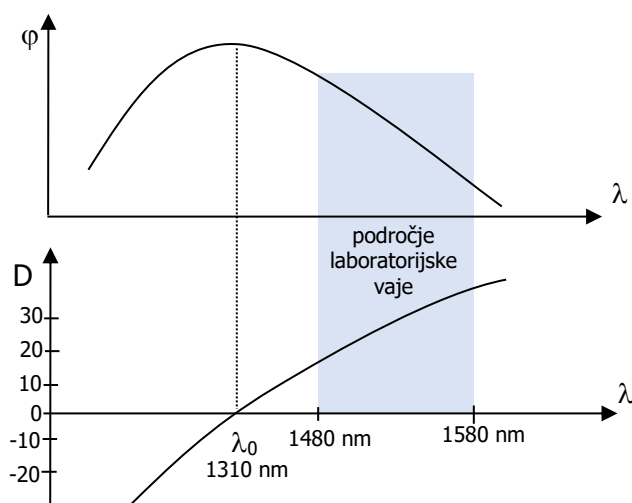
Iz spremembe skupinske zakasnitve, ki nastane zaradi spremembe valovne dolžine, se izračuna barvno razpršitev (D). Ker zakasnitev pomeni negativno fazo, ne smemo pozabiti na negativni predznak.

$$D = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta\tau_g}{\Delta\lambda} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{2\pi f_m} \cdot \frac{-\Delta\varphi}{\Delta\lambda} = \frac{1}{f_m \cdot \Delta\lambda \cdot L} \cdot \frac{-\Delta\varphi [^\circ]}{360^\circ}$$

Barvno razpršitev se torej lahko določi direktno iz spremembe faznega premika, ki ga povzroči sprememba valovne dolžine. Valovna dolžina, pri kateri fazni premik spremeni predznak, je valovna dolžina nične razpršitve (λ_0). Simbolično to prikazuje slika 4.4. Če lahko spreminjamo valovno dolžino laserja v dovolj širokem razponi, lahko na tak način natančno določimo valovno dolžino, pri kateri je razpršitev nič. Pri izbranem optičnem vlaknu G.652 in omejenem laserskem izvoru, prevoja fazne funkcije ne bomo opazili, temveč bo opazno zgolj upadanje faze z valovno dolžino.

Pred pričetkom laboratorijske vaje je potrebno razmisliti še o izbiri koraka spremembe valovne dolžine ($\Delta\lambda$) in frekvence visokofrekvenčnega generatorja (f_m). Korak valovne dolžine izberemo glede na smiselno število merilnih rezultatov, ki jih želimo izvesti v danem področju valovnih dolžin. Frekvenco generatorja pa izberemo glede na pričakovani rezultat barvne razpršitve (D) in dolžino merjenca (L). Za vlakno tipa G.652, ki ima barvno razpršitev približno 17 ps/(nm·km) in je dolžine 10 km, je smiselna izbira frekvence 1 GHz, ki pri koraku 1 nm daje merljivo fazno razliko 60°. Če bi imeli samo 1 km istega vlakna, bi pri

tovrstni izbiri koraka in frekvence imeli fazno razliko zgolj 6° , kar je sila nenatančno.



Slika 5.4. – Prikaz določitve nične valovne dolžine.

5.4. Prikaz značilnih rezultatov

Pred začetkom meritve je po standardu sicer nujna kalibracija sistema, ki pa za samo vajo ni potrebna, ker je napaka priključnih vrvic za najmanj tri velikostne razrede manjša od merjene veličine. Če preverimo barvno razpršitev sistema brez merjenca, bomo videli, da je praktično nič. Smiselno pa je preveriti, če je frekvenca visokofrekvenčnega generatorja 1 GHz res dovolj stabilna, da se nam meritev faze ne spreminja v času, ko bomo meritev opravili. Največjo napako pri meritvi, pa lahko pričakujemo, če se s spreminjanjem valovne dolžine pri laserju spreminja tudi moč in če se PIN-FET modul nahaja v nasičenju, ki povzroča AM/PM pretvorbo. Za zagotavljanje slednjega, je smiselno nastaviti PIN-FET modul daleč stran od nasičenja.

Iz nastavljivega laserja izhajajoč signal zunanje moduliramo z VF signalom frekvence 1 GHz. Pri vaji z beleženjem faznih sprememb, ki nastanejo ob spremembi valovne dolžine laserja za 1 nm, lahko izračunamo barvno razpršitev merjenca.

Nato izvedemo meritev na merjencu preko celotnega valvnodolžinskega področja (na primer od 1480 nm do 1580 nm), ki ga omejuje nastavljivi laserski vir. Merilne rezultate prikažemo grafično na diagramu, ki prikazuje barvno razpršitev v odvisnosti od valovne dolžine.

Izmerjena faza se v celotnem razponu valovnih dolžin večkrat zavrti za celotnih 360° . Pri vpisovanju merilnih rezultatov moramo zato biti pozorni, da vedno, ko faza preskoči iz skrajno negativne na pozitivno stran skale, to upoštevamo pri merilnem rezultatu.

