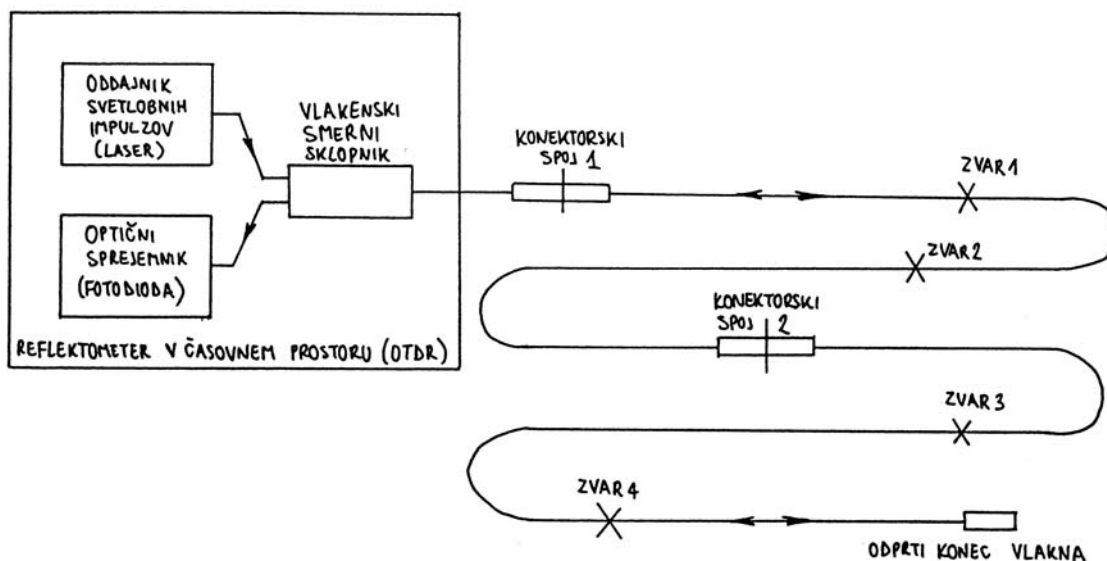


VAJA 13. - OPTIČNI REFLEKTOMETER V ČASOVNEM PROSTORU (OTDR)

13.1. Reflektometerske meritve optične zveze

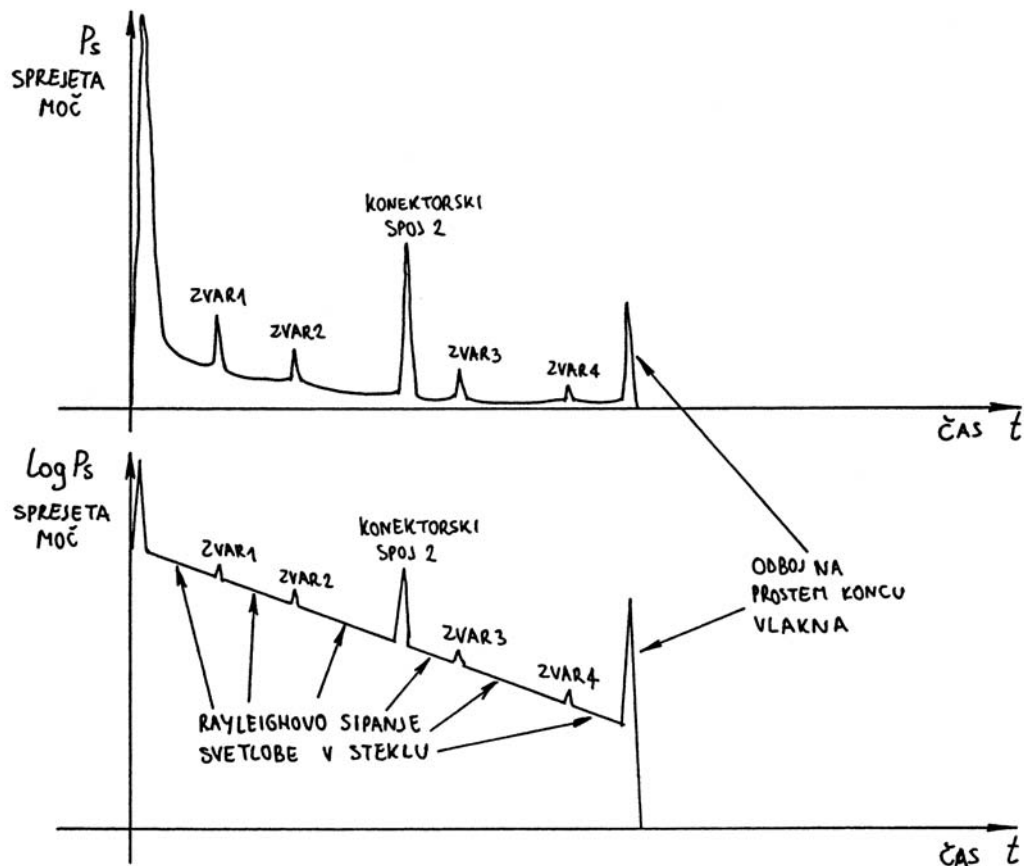
Pri meritvah resničnih optičnih zvez sta si oba konca zveze nekaj deset do nekaj sto kilometrov narazen, torej običajno nista dostopna hkrati. Za meritev optične zveze bi zato želeli postopek, ki zna izmeriti optično vlakno v vkopanem kablju z dostopom na enem samem koncu optične zveze. Takšno meritev imenujemo reflektometerska meritev. Izvedemo jo tako, da v vlakno pošljemo na enem koncu znan signal in opazujemo, kaj se po določenem času zaradi različnih odbojev vrne na istem koncu vlakna.

Reflektometerska meritev v časovnem prostoru je prikazana na sliki 13.1. V vlakno pošljemo časovno kratek impulz svetlobe. Svetlobni impulz se odbije predvsem na odprtem koncu vlakna in na konektorskih spojih. Precej slabotnejše je Rayleigh-ovo sipanje svetlobe v steklu vzdolž celotne dolžine vlakna (glej sliko 13.2). Odboji na zvarih so zanemarljivo majhni.



Slika 13.1. – Reflektometerska meritev v časovnem prostoru.

Posamezne odbite signale ločimo med sabo po času prihoda v sprejemnik, saj mora vsak signal preteči najprej pot od oddajnika do točke odboja in se potem po isti poti vrniti nazaj. Iz izmerjenega časa med oddajo impulza in sprejemom odboja lahko potem izračunamo mesto nepravilnosti ali položaj napake vzdolž vlakna. Pri brezhibni optični zvezi vedno opazimo tudi odboj na drugem, prostem koncu vlakna.



Slika 13.2. – Rezultat reflektometerske meritve v linearni (zgoraj) in logaritemski (spodaj) skali sprejete moči.

Ustrezen merilnik, ki vsebuje oddajnik optičnih impulzov, smerni sklopnik, optični sprejemnik in prikazovalnik rezultata meritve, imenujemo optični reflektometer v časovnem prostoru ali OTDR (angl. Optical Time-Domain Reflectometer). Glavna omejitev optičnega reflektometra je uporaben domet. Signal reflektometra se sicer širi po istem vlaknu kot signal resnične optične zveze, toda signal reflektometra mora isto pot preteči dvakrat!

Poleg tega so odboji slabotni: najmočnejši odboj na prostem koncu vlakna znaša komaj 4% moči vpadne svetlobe, odboji dobrih konektorjih so še manjši. Najslabotnejše je Rayleigh-ovo sipanje svetlobe, saj predstavlja glavni mehanizem izgub kakovostnih optičnih vlaknih, ki ga skušamo čimbolj zmanjšati z izbiro primerne valovne dolžine svetlobe. Od celotne sipane moči se je večji delež razprši izven vlakna in le manj kot 1% sipane moči se nazaj "ujame" v optični valovod.

V reflektometer v časovnem prostoru zato vgradimo laser s čimvečjo izhodno močjo, vendar je ta omejena s konstrukcijo polprevodniškega laserja in nastopom nelinearnih pojavov v samem vlaknu pri močeh 10 do 100mW. Pri določanju dometa ne smemo pozabiti niti na izgube v smernem sklopniku. Ker je smerni sklopnik recipročen sestavni del, znašajo te izgube najmanj 6dB (3dB na oddaji in še 3dB na sprejemu).

Domet reflektometra povečamo tudi s povprečenjem večjega števila meritev, končni rezultat pa običajno ponazorimo v logaritemski skali, kot je to prikazano na sliki 13.2 spodaj. Ker je Rayleigh-ovo sipanje dobro poznan pojav, predvsem pa se vzdolž vlakna ne spreminja, lahko iz naklona krivulje v logaritemski skali enostavno določimo slabljenje zveze.

Edina preostala spremenljivka je trajanje svetlobnega impluza. S krajšim impulzom dosežemo boljšo natančnost določanja mesta odboja, a hkrati zmanjšamo domet reflektometra.

Ker nam je merilo za domet reflektometra možnost opazovanja Rayleigh-ovega sipanja, je reflektometer za valovno dolžino 850nm razmeroma enostaven, za valovno dolžino 1300nm je zahtevnejši in za valovno dolžino 1550nm je reflektometer v časovnem prostoru tehnološko zelo zahtevna naprava.

13.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

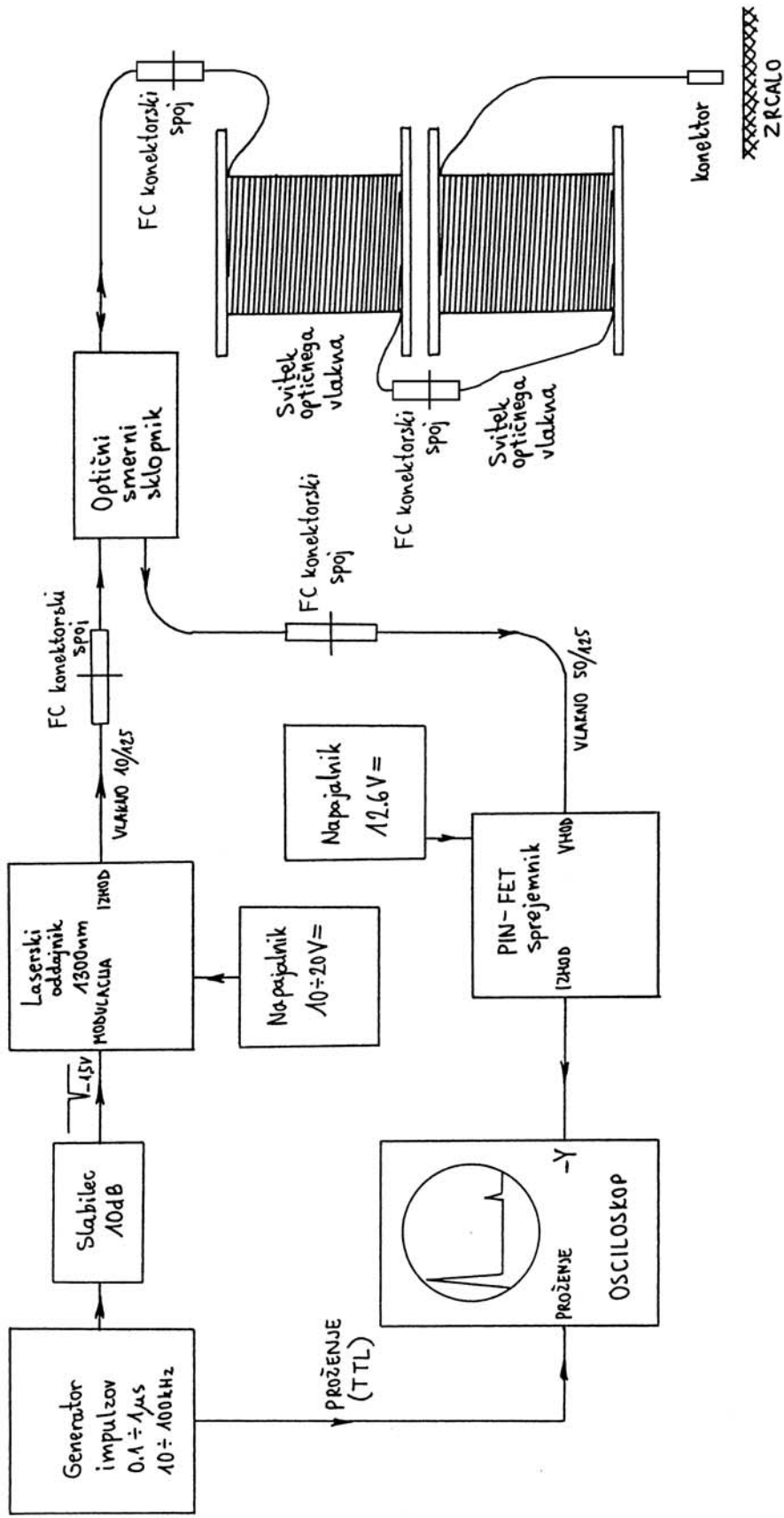
- (1) Generator impulzov 0.1-1 μ s, izhod 1.5V/50 Ω (s slabilnikom).
- (2) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (3) Mnogorodovni optični smerni sklopnik.
- (4) Dva svitka mnogorodovnega gradientnega optičnega vlakna skupne dolžine približno 1km (merjenca).
- (5) Zrcalo.
- (6) Optični sprejemnik s PIN-FET modulom in napajalnikom.
- (7) Osciloskop (60MHz).
- (8) Kable in konektorje za vse povezave.

Vezava pripomočkov je prikazana na sliki 13.3.

13.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Polprevodniški sestavni deli za komunikacije preko optičnih vlaken so zelo občutljivi elektronski sestavni deli, ki zahtevajo nežno in natančno rokovanje. Polprevodniški laserski modul oziroma PIN-FET sprejemniški modul lahko poškodujemo električno ali mehansko. Pri tej vaji je treba paziti predvsem na to, da laserskega oddajnika ne prekrmilimo niti z enosmernim izvorom, niti z modulacijskimi impulzi. Pazimo tudi na polariteto izvorov, ker ima laserski oddajnik plus (+) pol napajanja na ohišju, sprejemnik pa minus (-) pol napajanja na ohišju.

Optična vlakna laserja, PIN-FET sprejemnika in sklopnika so sicer zaščitena, vendar še vedno zahtevajo pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorji na koncih vlaken. Ker imajo vse laserske diode pozitivni pol napajanja na ohišju, krmilimo laserski oddajnik z negativnimi impulzi z amplitudo okoli -1.5V. Na laserski oddajnik hkrati pripeljemo enosmerno napajanje. Enosmerni izvor nastavimo tako, da skozi laser teče tok, ki je le nekoliko nižji od pragovnega toka laserja. S tem se izognemo motečemu šumu laserja.



Slika 13.3. – Vezava reflektometra v časovnem prostoru (OTDR).

Kot sprejemnik uporabimo PIN-FET modul, ker ima zadosti veliko ojačenje, da lahko naravnost krmili osciloskop brez dodatnih ojačevalnih stopenj. Merilnik na PIN-FET modulu se v tej vaji ne odkloni, ker deluje laser le v ozkih impulzih, povprečna moč pa je zelo nizka. Smiselno jakost signalov zato poiščemo na osciloskopu.

13.4. Prikaz značilnih rezultatov

Glede na to, da smo uporabili navaden (komunikacijski) InGaAsP laser z majhno izhodno močjo, s sestavljenim reflektometrom ne bomo opazili Rayleigh-ovega sipanja na valovni dolžini 1300nm. S šolskim reflektometrom lahko zato opazujemo le odboje na nezaključenih koncih vlaken, kapilarnih spojih in konektorjih.

Če sestavimo vajo po sliki 13.3, opazimo na osciloskopu tri impulze. Prvi impulz je odboj na konektorjih sklopnika oziroma presluh sklopnika. Drugi impulz je na konektorskem spoju, ki povezuje oba svitka vlakna in je zaradi dobrega sklopa običajno majhen. Če konektorski spoj malo odvijemo, vidimo povečanje drugega impulza na osciloskopu. Tretji impulz pa je odboj na prostem koncu drugega svitka vlakna. Če prosti FC konektor približamo in natančno usmerimo v zrcalo, lahko tudi opazimo povečanje odboja.

Glede na trajanje uporabljenih impulzov v velikostnem razredu $0.5\mu\text{s}$, znaša ločljivost reflektometra okoli 50m v optičnem vlaknu. Zato s sestavljenim reflektometrom ne moremo razločiti med različnimi odboji v bližini samega sklopnika, se pravi raznih odbojev na konektorjih in presluh samega sklopnika. Prav tako ne moremo med sabo ločiti odbojev na drugem koncu kilometrske optične poti.

Kar pa lahko izmerimo s smiselno natančnostjo, je dolžina vlakna v prvem in drugem svitku, iz izmerjenega časa med impulzi na zaslonu osciloscopa. Pri izračunu dolžine vlakna ne smemo pozabiti, da preteče svetloba vlakno dvakrat in to s hitrostjo, ki je za lomni količnik ($n_{\text{vlakna}}=1.46$) manjša od hitrosti svetlobe v praznem prostoru.

13.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Koliko je dolžina posameznega koluta?
2. Koliko je v našem primeru ločljivost OTDR?
3. Katera je optimalna dolžina impulza?