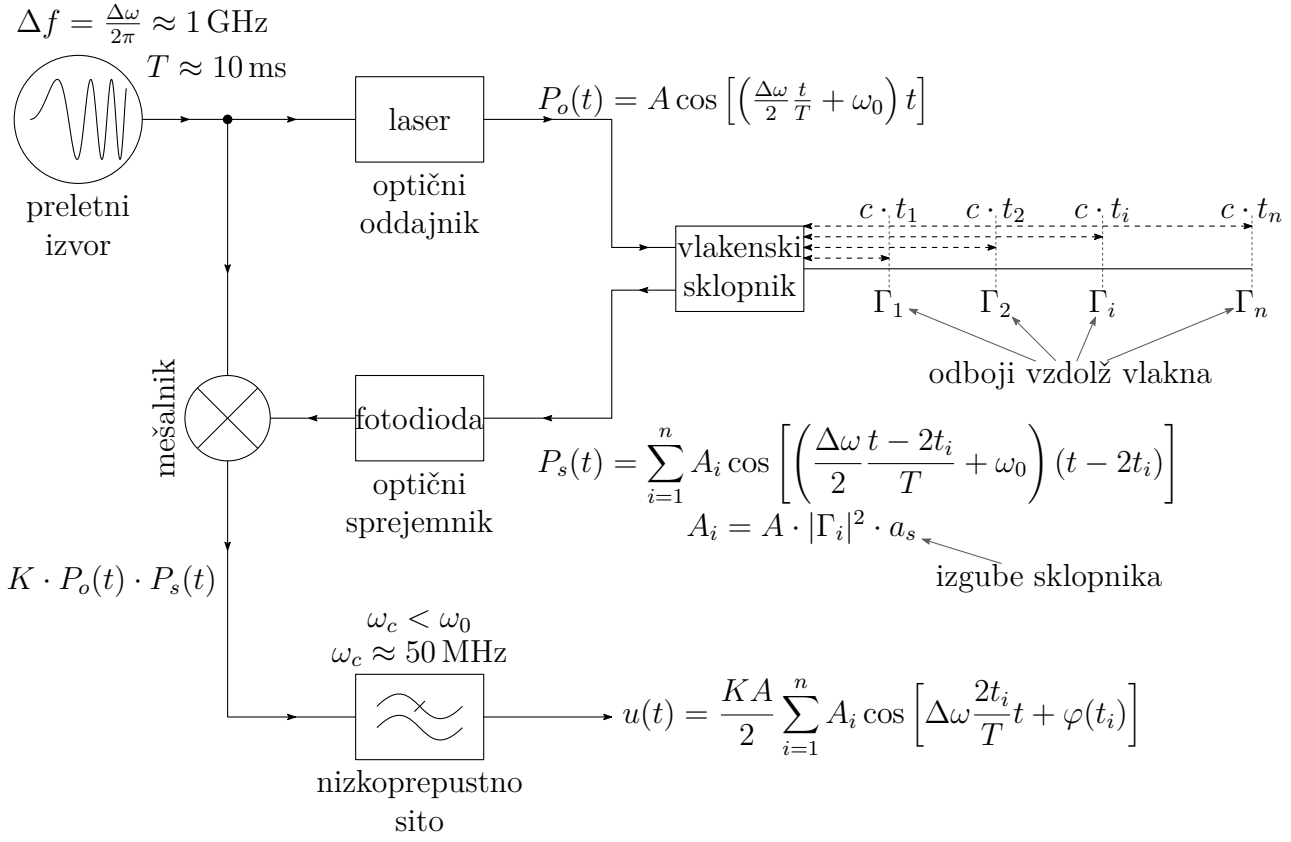
Frekvenčno moduliran radar za merjenje dolžine vlakna

Za merjenje kratkih dolžine optičnega vlakna z ločljivostjo manjšo od 10 cm je primerno uporabiti frekvenčno moduliran radar in izvesti reflektometersko meritev. Tehnična rešitev problema je poznana že iz radarske tehnike: medtem ko se na velike razdalje obnese radar, ki je amplitudno moduliran (AM) z impulzi, je za majhne razdalje in visoko ločljivost primernejši frekvenčno moduliran (FM) radar.

Visoko prostorsko ločljivost dosežemo z optičnim reflektometrom v frekvenčnem prostoru (angl. *Optical Frequency-Domain Reflectometer* ali OFDR). Osnova delovanja reflektometra v frekvenčnem prostoru je prikazana na sliki 0.1. Optični oddajnik (laser) amplitudno moduliramo s sinusnim signalom spremenljive frekvence. Tudi OFDR vsebuje vlakenski smerni sklopnik in optični sprejemnik. Pri OFDR je treba izhodni signal sprejemnika še ustrezno obdelati za prikaz rezultata.



Slika 0.1: Osnova delovanja reflektometra v frekvenčnem prostoru.

Kot izvor modulacijskega sinusnega signala uporabimo preletni (angl. *sweep*) generator, ki daje na svojem izhodu visokofrekvenčen signal, katerega frekvenca linearno narašča. Ker so merjeni odboji zakasnjeni, njihova modulacijska frekvenca zaostaja za trenutnim izhodom preletnega generatorja. S pomočjo mešalnika, ki opravlja na vhodnih signalih matematično operacijo množenja, dobimo razliko med frekvenco trenutnega izhoda preletnega generatorja in frekvenco odboja. Iz izhodnega signala z nizkoprepustnim sitom izločimo neželene produkte mešanja oziroma množenja.

Izhodni signal $u(t)$ vezja na sliki 0.1 je vsota kosinusnih signalov različnih amplitud in

frekvenc. Pri tem amplitude A_i natančno ustrezajo kvadratom velikosti optičnih odbojnosti, frekvence pa so v enostavni linearni zvezi z zakasnitvami t_i posameznih odbojev. Frekvence signalov so enostavno enake celotnemu frekvenčnemu pasu Δf, ki ga preleti generator v eni periodi T, pomnoženemu z razmerjem celotne zakasnitve v obeh smereh, deljene s periodo preletnega generatorja.

$$f_i = \Delta f \cdot \frac{2t_i}{T} \tag{0.1}$$

Če z OFDR opazujemo en sam (najmočnejši) odboj, potem enostavno izmerimo frekvenco in amplitudo izhodnega signala na osciloskopu. Ko sestavlja izhodni signal več frekvenc, je primernejša spektralna analiza. Ker lahko čas meritve oziroma periodo T preletnega generatorja poljubno večamo, je frekvenčni spekter izhodnega signala lahko zadosti ozek za spektralno analizo na računalniku s pomočjo FFT algoritma s smiselno okensko funkcijo.

Prostorska ločljivost OFDR je odvisna predvsem od širine spektra modulacijskih frekvenc iz preletnega generatorja. Dve sosednji spektralni črti z lahkoto ločimo, če imamo na razpolago zadosti vzorcev, da se sosednji frekvenčni komponenti ločita za vsaj eno celo periodo. To pomeni, da lahko s preletnim generatorjem, ki pokrije področje 1 GHz, razločimo čas prihoda dveh odbojev v velikostnem razredu ene nanosekunde oziroma 10 cm steklenega optičnega vlakna.

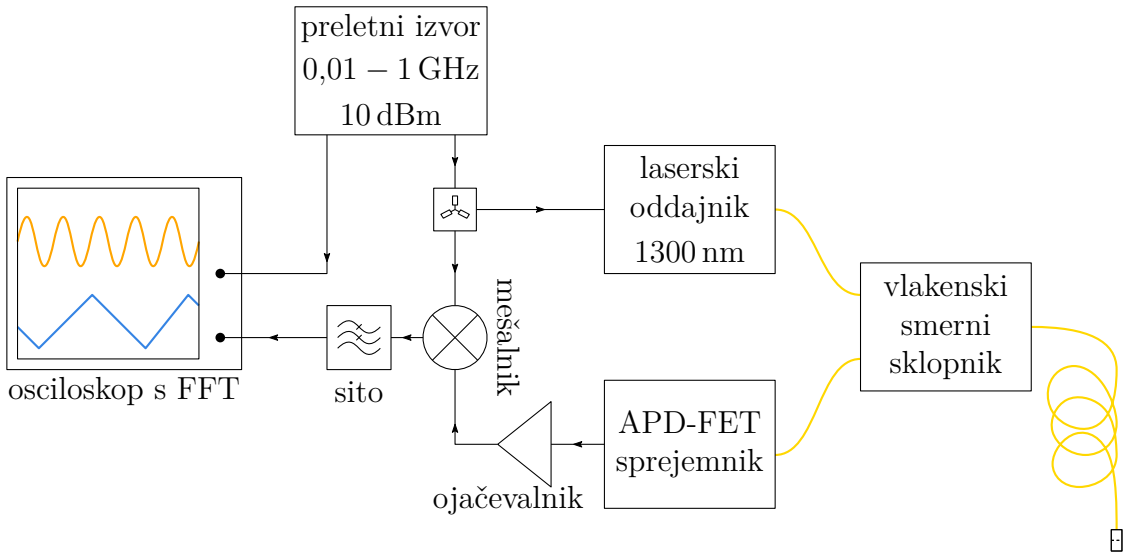
Domet OFDR je omejen predvsem s šumom oddajnika (laserja), ki preko presluha smernega sklopnika in močnih odbojev prodre v sprejemnik in prekrije signale šibkih odbojev. OFDR zato ni nadomestilo, pač pa le dopolnilo OTDR. Medtem ko uporabljamo OTDR predvsem za meritve na prenosnih vodih (velike dolžine), uporabljamo OFDR za meritve na sodobni terminalni opto-elektroniki, ki poleg laserskih diod in fotodiod vsebuje čedalje več optičnih sestavnih delov, povezanih s številnimi optičnimi vlakni in konektorji.

0.1 Seznam pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

1. preletni generator 10 MHz – 1,3 GHz z izhodno močjo 13 dBm,
2. uporovni delilnik moči,
3. laserski oddajnik za 1300 nm z ustreznim napajalnikom,
4. enorodovni optični smerni sklopnik,
5. nekaj kosov optičnik vlaken s FC konektorji (merjenci),
6. optični sprejemnik z APD-FET modulom in napajalnikom,
7. ojačevalnik 40 dB, 1 MHz – 1 GHz,
8. uravnotežen mešalnik (množilnik signalov),
9. digitalni osciloskop z vmesnikom za računalnik,

Vezava pripomočkov je prikazana na sliki 0.2.



Slika 0.2: Vezava optičnega reflektometra v frekvenčnem prostoru.

0.2 Obrazložitev 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 APD-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 modulacijskim signalom. Pazimo tudi na polariteto izvorov, ker ima laserski oddajnik plus (+) pol napajanja na ohišju, sprejemnik pa minus (−) pol napajanja na ohišju.

Optična vlakna laserja, APD-FET sprejemnika in sklopnika so sicer zaščitena, vendar še vedno zahtevajo pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorji na koncih vlaken. Izhod preletnega generatorja (13 dBm) povežemo preko uporovnega delilnika, kar da primerno moč (7 dBm) tako za krmiljenje laserskega oddajnika kot tudi za balančni mešalnik. Laserski oddajnik moramo modulirati v linearnem režimu, kar nastavimo s primerno napajalno napetostjo.

Izhod APD-FET sprejemnika dodatno ojačimo s 40 dB ojačevalnikom. Ojačenje celotne sprejemne verige med meritvijo nastavimo s pomočjo napetosti na plazovni diodi. Pri meritvi pazimo, da signal na izhodu balančnega mešalnika ne preseže ±200 mV (približno 0 dBm), sicer bi deloval mešalnik v nelinearnem režimu. Signal na izhodu mešalnika naj tudi ne bo manjši od ±100 mV, da se izognemo neidealnemu odzivu samega mešalnika.

Frekvenčno področje preletnega generatorja nastavimo čim širše, v predlagani postavitvi vaje ga omejuje predvsem frekvenčni odziv APD-FET modula na okoli 800 MHz. Frekvenco žage in proženje osciloskopa nastavimo tako, da dobimo uporabno sliko preko cele širine zaslona osciloskopa. Pri vseh nastavitvah preverimo točne vrednosti veličin, da bomo iz njih lahko izračunali končni rezultat.

0.3 Značilni rezultati

Reflektometer v frekvenčnem prostoru je za „namizne“ meritve v laboratoriju dosti bolj primerna naprava, ker delamo s kratkimi kosi vlaken, v nasprotju z reflektometrom v časovnem prostoru. Reflektometer najprej preizkusimo sam na sebi, to je brez priključenih merjencev. Na zaslonu osciloskopa tedaj dobimo razmeroma nizko frekvenco, ki ustreza odboju na prostem konektorju sklopnika. Odboj na koncu lahko seveda povečamo z zrcalom.

Nato priključimo na smerni sklopnik vlakna različnih dolžin. Med privijanjem konektorja se slika na osciloskopu živahno spreminja, ob pravilno spojenem konektorju pa na zaslonu ostane nihanje ene same frekvence. Razlika frekvenc, brez vlakna in z dodanim vlaknom, je natančno sorazmerna dolžini merjenega vlakna. Če je slika na osciloskopu nejasna, lahko želeni odboj na koncu vlakna spet povečamo z zrcalom.

Končno naredimo s pomočjo računalnika spektralno analizo zaslona osciloskopa. Spektralna analiza jasno pokaže vse odboje kot impulze različnih višin. Rezultat spektralne analize je pravzaprav povsem enak tistemu, kar bi naravnost dobili z reflektometrom v časovnem prostoru. Na koncu vaje namerno odvijemo konektor ob sklopniku, da na zaslonu osciloskopa dobimo zelo nepregleden vzorec, sestavljen iz več različnih frekvenc. Uganko spet reši spektralna analiza, ki jasno pokaže vse odboje.

0.4 Vprašanja in naloge

1. Nariši skico merilne postavitve! Preriši zaslon osciloskopa in označi merjene veličine!
2. Izračunaj dolžine posameznih vrvic?
3. Kakšno vlogo ima frekvenca preletanja izvora?
4. Kako je moduliran svetlobni izvor?