

VAJA 20. - OPTIČNI REFLEKTOMETER V FREKVENČNEM PROSTORU

20.1. Reflektometerske meritve v frekvenčnem prostoru

Osnovna omejitev reflektometra v časovnem prostoru (angl. Optical Time-Domain Reflectometer ali OTDR) je domet. Ker je vršna moč laserja omejena, se domet reflektometra manjša s krajšanjem impulzov. S krajšanjem impulzov se ob nespremenjeni vršni moči laserja manjša energija signala, s katero razpolagamo za meritve. Hkrati se s krajšanjem impulza večja zahtevana pasovna širina in s tem šum sprejemnika. Seveda pa se je potrebno zavedati, da zelo kratke svetlobne impulze ni prav enostavno narediti.

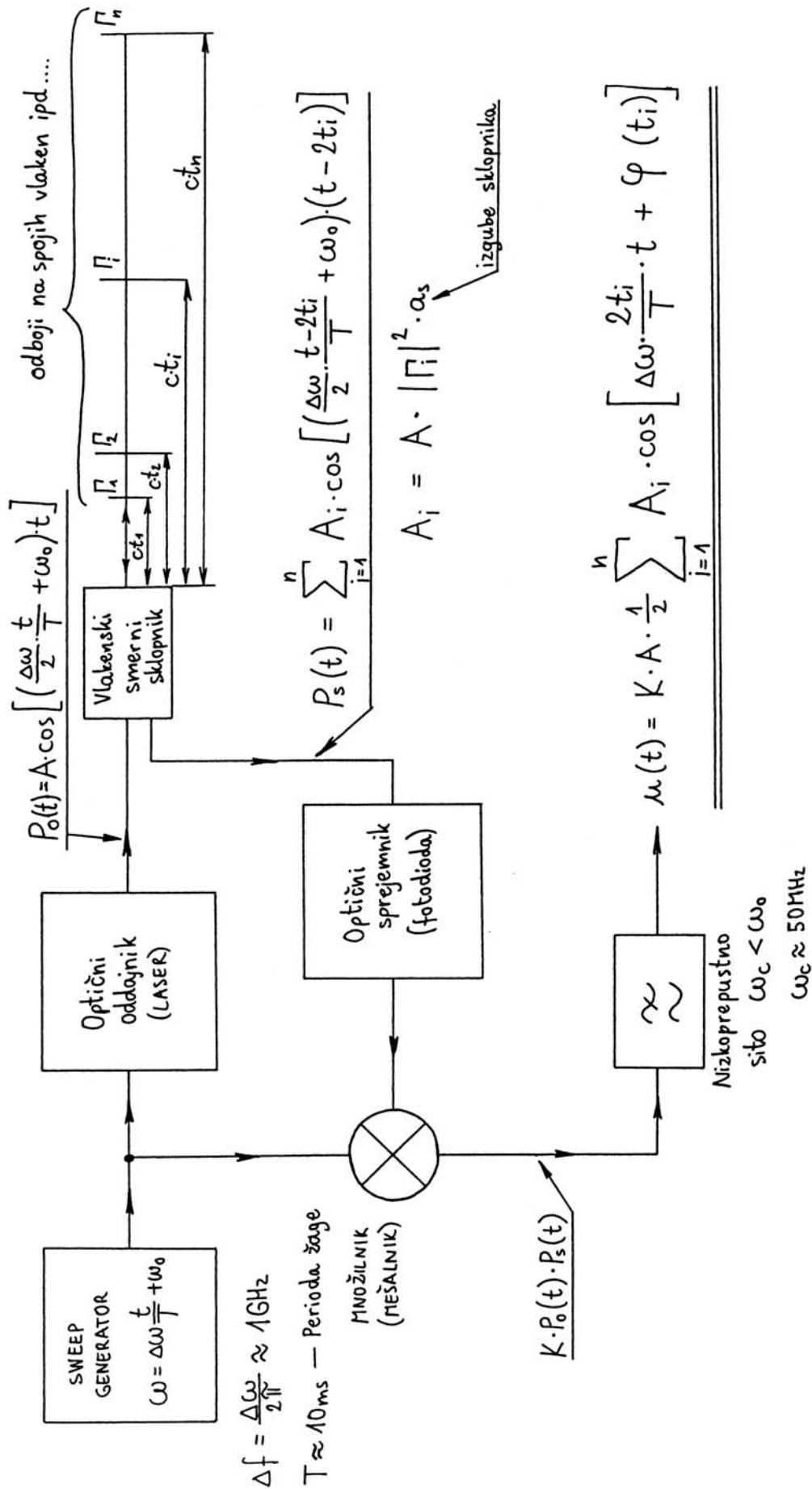
Ko zahtevamo ločljivost reflektometra manjšo od nekaj metrov oziroma trajanje impulza krajše od nekaj deset nanosekund, postane domet OTDR merilnika neuporabno majhen za praktične meritve. Tehnično rešitev problema poznamo že iz radarske tehnike: medtem ko se na velike razdalje obnese radar, ki je amplitudno 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 20.1. Optični oddajnik (laser) amplitudno moduliramo s sinusnim signalom spremenljive frekvence. Podobno kot OTDR vsebuje tudi OFDR vlakenski smerni sklopnik in optični sprejemnik. Za razliko od OTDR je potrebno pri OFDR izhodni signal sprejemnika še ustrezno obdelati za prikaz rezultata.

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 zakasneni, 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 20.1 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.

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



Slika 20.1. – Osnova delovanja reflektometra v frekvenčnem prostoru.

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 1GHz, razločimo čas prihoda dveh odbojev v velikostnem razredu ene nanosekunde oziroma 10cm steklenega optičnega vlakna.

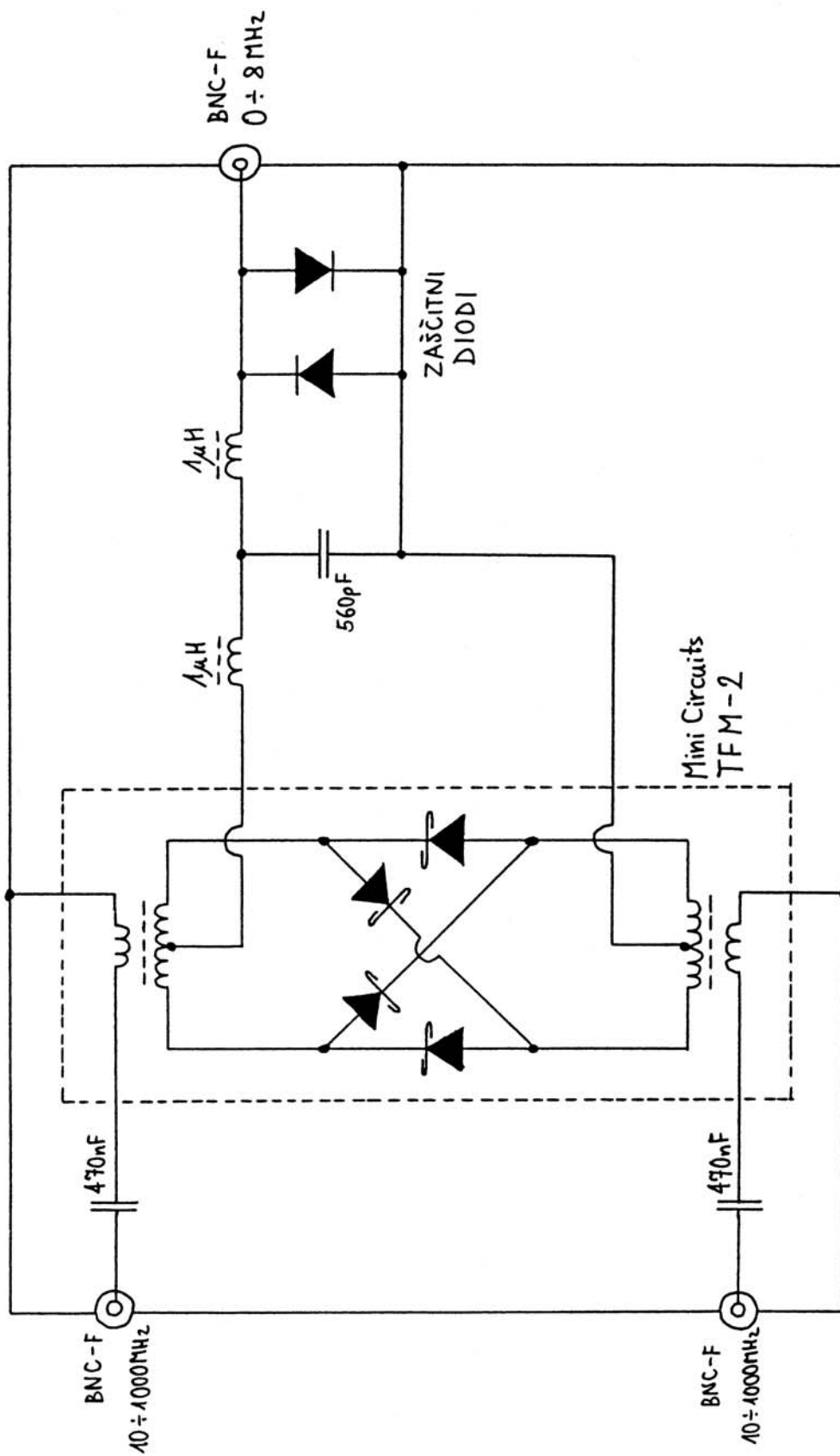
Domet OFDR je omejen predvsem s šumom oddajnika (laserja), ki preko presluha smernega sklopnika in močnih odbojev prodre v sprejemnik in prekrije signale šibkih odbojev. OFDR zato ni nadomestilo, pač pa le dopolnilo OTDR. Medtem ko uporabljamo OTDR predvsem za meritve na prenosnih vodih (velike dolžine), 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.

20.2. Seznam potrebnih pripomočkov

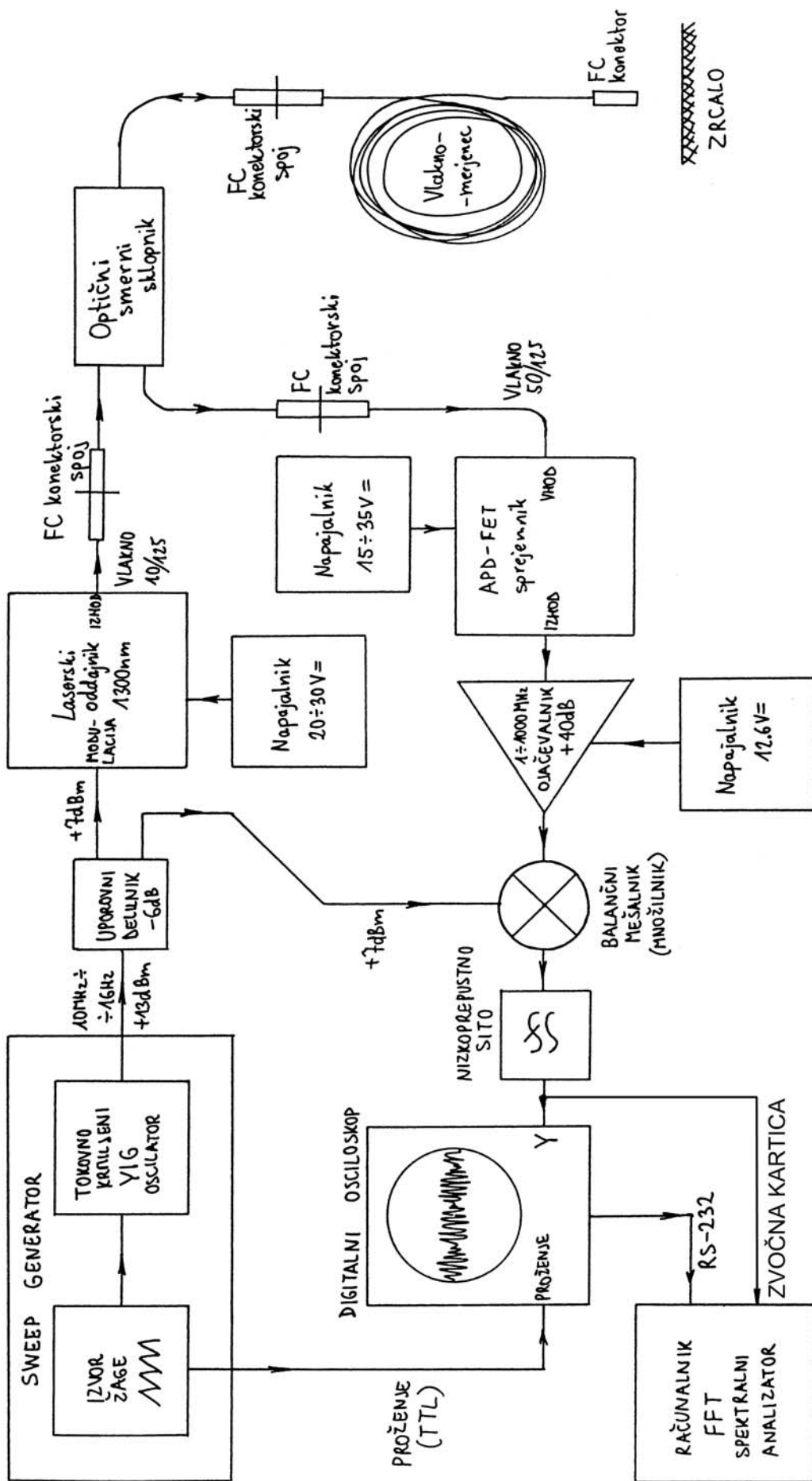
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Preletni generator 10MHz - 1.3GHz z izhodno močjo +13dBm.
- (2) VF uporovni delilnik moči.
- (3) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (4) Mnogorodovni optični smerni sklopnik.
- (5) Nekaj kosov optičnih vlaken s FC konektorji (merjenci).
- (6) Zrcalo.
- (7) Optični sprejemnik z APD-FET modulom in napajalnikom.
- (8) VF ojačevalnik 40dB, 1MHz - 1GHz.
- (9) Balančni mešalnik (množilnik signalov, glej sliko 20.2).
- (10) Digitalni osciloskop (20MHz) z vmesnikom za računalnik.
- (11) Računalnik s programom za FFT spektralni analizator in zvočno kartico (A/D pretvornik namesto digitalnega osciloskopa).
- (12) Kable in konektorje za vse povezave.

Vezava inštrumentov je prikazana na sliki 20.3.



Slika 20.2. – Balančni mešalnik z nizkonapetostnim sitom.



Slika 20.3. – Vezava reflektometra v frekvenčnem prostoru.

20.3. 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 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 (+13dBm) povežemo preko uporabnega delilnika, kar da primerno moč (+7dBm) 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 40dB 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 $\pm 200\text{mV}$ (približno 0dBm), sicer bi deloval mešalnik v nelinearnem režimu. Signal na izhodu mešalnika naj tudi ne bo manjši od $\pm 100\text{mV}$, 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 800MHz. 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.

20.4. Prikaz značilnih rezultatov

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.

20.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Izračunaj dolžine posameznih vrvic!
2. Kakšno vlogo ima frekvenca preletanja izvora?
3. Kakšna je modulacija svetlobnega signala?
4. Ali je opisani merilni postopek primeren tudi za mnogorodovna vlakna?
5. Kakšne so omejitve v primeru merjenja mnogorodovna vlakna?