

## VAJA 28. - MERJENJE POGOSTNOSTI NAPAK V OPTIČNI ZVEZI

### 28.1. Merila za kvaliteto optične zveze

Zvezo po optičnem vlaknu ovrednotimo na enak način kot vsako drugo vrsto zveze. V slučaju analognega prenosa je merilo kvalitete zveze razpoložljivo razmerje signal/šum in popačenje želenega signala. V slučaju digitalnega prenosa je merilo še enostavnejše: pri prenosu digitalnih podatkov nas zanima predvsem verjetnost pojavljanja napak v prenosu oziroma pogostnost, s katero se bojo pojavljale napake.

Pogostnost napak (angl. Bit Error Rate ali BER) je zato merilo kvalitete vsake digitalne zveze. V slučaju zveze po optičnem vlaknu je edini upravičen vzrok pojavljanja napak kvantni oziroma toplotni šum sprejemnika, saj so tu pojavi presihanja polja, motenj ipd, ki jih običajno srečamo v radijskih zvezah, povsem odsotni. Zveze po optičnih vlaknih zato vedno odlikuje izredno nizka pogostnost napak, ki se natančno pokorava enostavnemu statističnemu zakonu šuma.

Obljubljeno kvaliteto zveze po optičnem vlaknu je treba seveda dokazati, se pravi izmeriti pogostnost napak na resnični, obstoječi zvezi. Zvezo enostavno preizkusimo tako, da po njej pošljemo znano sporočilo in na drugem koncu zveze preverimo, kaj smo sprejeli ter preštejemo napake. Ker je pogostnost napak v optičnih zvezah zelo majhna številka, tudi manj kot  $10^{-9}$ , mora biti sporočilo zadosti dolgo, da bomo sploh lahko opazili napako.

Poleg tega je treba pri izbiri sporočila paziti tudi na to, da bomo v njegovi vsebini lahko sploh opazili napako. Naprimer, če vsebuje sporočilo same logične ničle, ne bomo v njem nikoli opazili pokvarjene logične enice, ki se je zaradi napake spremenila v ničlo. Preizkusno sporočilo mora biti zato zelo skrbno izbrano, da vsebuje vse dopuščene bitne vzorce.

Matematična rešitev naloge iskanja primernega preizkusnega sporočila je zaporedje maksimalne dolžine, ki ga proizvaja pomikalni register z linearno povratno vezavo. V slučaju binarnega pomikalnega registra dajo linearno povratno vezavo EXOR logična vrata, dolžina maksimalnega zaporedja pa znaša  $(2^N)-1$ , kjer je N število stopenj pomikalnega registra.

Ker delovanje pomikalnega registra z linearno povratno vezavo ustreza algoritmu verižnega deljenja polinomov z binarnimi koeficienti, napravo imenujemo polinomski generator ter jo popolnoma opišemo s pripadajočim polinomom. Maksimalno zaporedje dajo le nerazcepni polinomi in še to ne vsi, zato je treba povratno vezavo pomikalnega registra skrbno izbrati. Matematična odlika maksimalnega zaporedja je v tem, da vsebuje prav vse možne bitne vzorce dolžine enake dolžini registra (razen stanja samih ničel), kar hkrati daje frekvenčni spekter s samimi enako visokimi spektralnimi črtami.

Na sliki 28.1 je prikazan polinomski generator  $1+X^{12}+X^{17}$ , ki proizvaja zaporedje maksimalne dolžine 131071 bitov. Pri bitni hitrosti 20Mb/s to pomeni, da se celoten vzorec ponavlja komaj 153-krat v sekundi oziroma da je razmak med posameznimi spektralnimi črtami komaj 153Hz. Poleg

pomikalnega registra in povratne vezave vsebuje polinomski generator še "kužapazi" vezje (6-stopenjski binarni števec), ki preprečuje, da bi naprava ob vklopu ali zaradi napake pri delovanju "obvisela" v neželenem stanju samih ničel.

Na drugem koncu merjenca, optične zveze, moramo sprejeti signal primerjati z znanim zaporedjem. Polinomski generator je sicer enostavno izdelati, pojavi pa se problem sinhronizacije obeh polinomskih generatorjev. Enostavnejša rešitev je prikazana na sliki 28.1: na sprejemni strani imamo sicer skoraj enako vezje, le da signal povratne vezave ne vodimo nazaj v pomikalni register, pač pa ga primerjamo s sprejetim signalom s pomočjo še enih EXOR vrat. Opisano napravo imenujemo polinomski delilnik.

V slučaju brezhibnega prenosa se po komaj 17 taktih vsebina obeh pomikalnih registrov izenači, kar da enak rezultat obeh enakih logičnih funkcij in zadnja primerjava z EXOR vrati da rezultat nič. Osamljena napaka povzroči v opisanem vezju tri izhodne impulze: ko je na začetku registra, ko doseže 12. stopnjo in končno ko pride do 17. stopnje. Pri velikem številu napak zato lahko pride do prekrivanja impulzov oziroma do napačnega rezultata meritve.

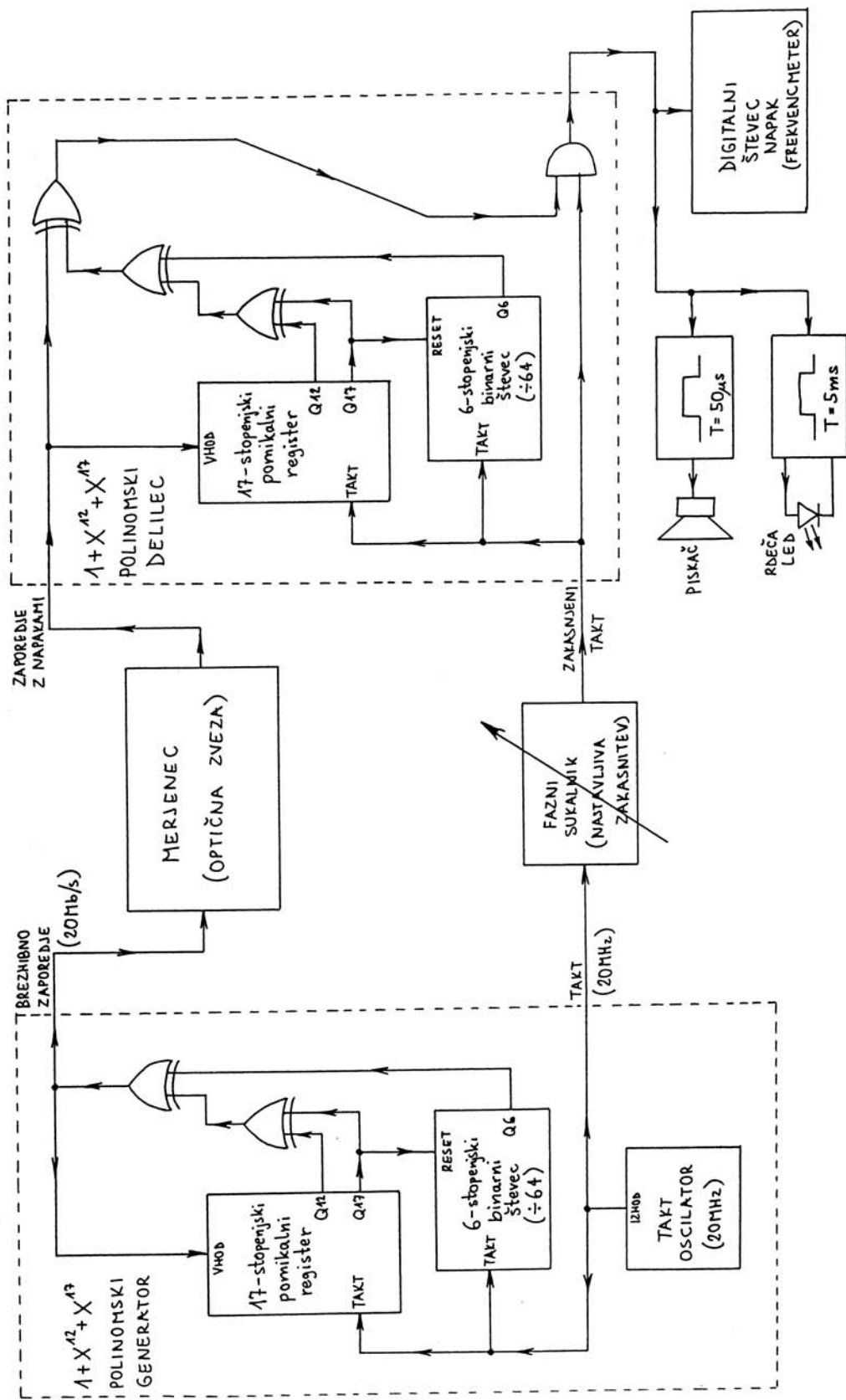
Ker so zveze s pogostnostjo napak večjo od  $10^{-2}$  povsem neuporabne, pri tej pogostnosti napak pa znaša napaka meritve manj kot 10%, lahko opisano metodo uporabljamo za merjenje vseh resničnih optičnih zvez. Število napak običajno preštejemo z digitalnim števcem (digitalnim frekvencometrom). Poleg frekvencometra nas na napake opozarjata še piskač in rdeča LED, ki sta zaradi počasnosti naših ušes in oči krmiljena preko primernih časovnih konstant. Ker je napaka v resnični zvezi po optičnem vlaknu (s primerno rezervo jakosti signala) izjemno redek pojav, imajo vsi merilniki napak vedno vgrajeno zvočno in svetlobno opozorilo operaterju, ko se to zgodi.

## 28.2. Seznam potrebnih pripomočkov

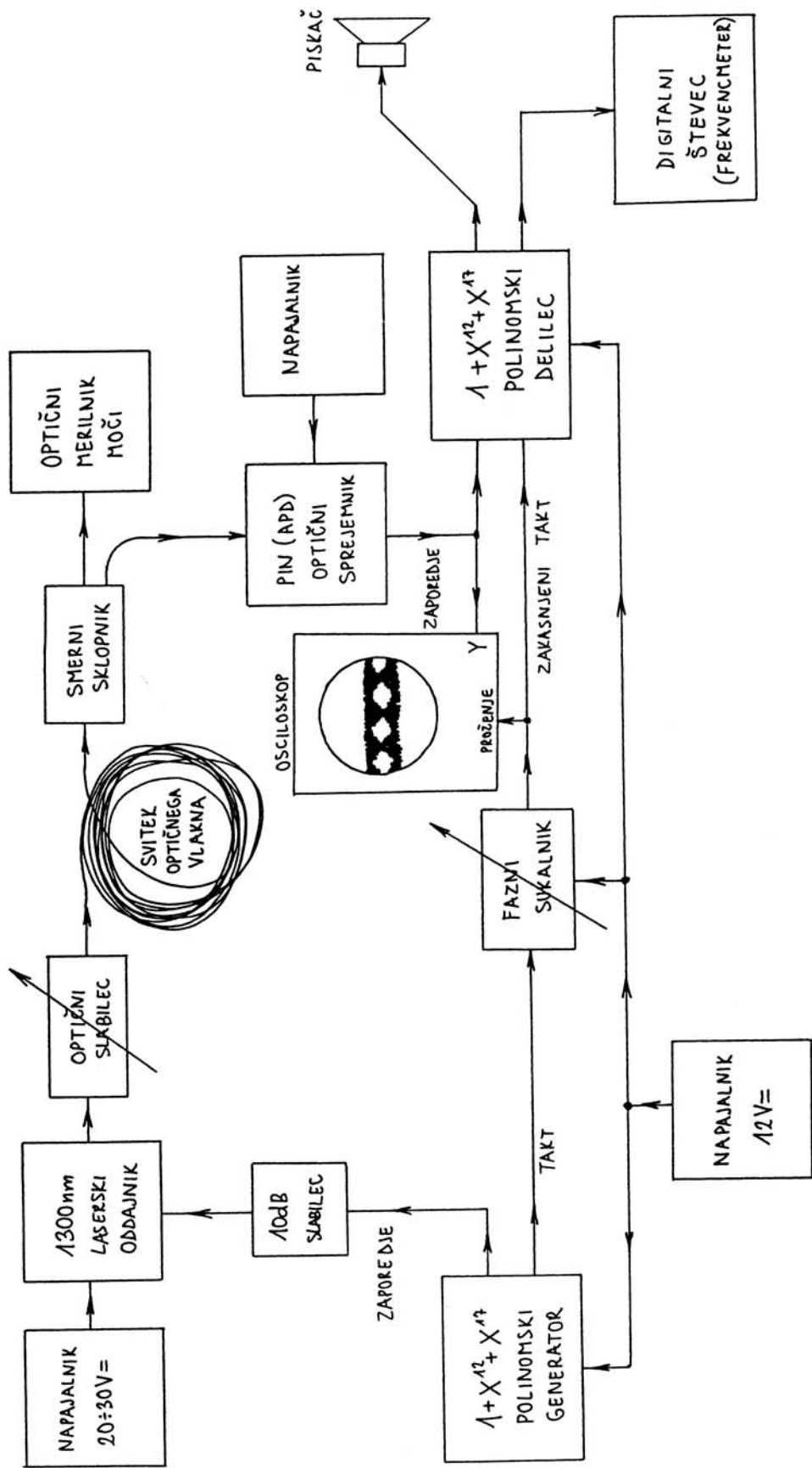
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1)  $1+X^{12}+X^{17}$  polinomski generator za 20Mb/s.
- (2) 10dB VF slabilnik.
- (3) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (4) Nastavljivi optični slabilnik.
- (5) Svitek enorodovnega optičnega vlakna.
- (6) Enorodovni optični smerni sklopnik 50:50.
- (7) Optični merilnik moči.
- (8) PIN ali APD optični sprejemnik z napajalnikom.
- (9) Fazni sukalnik za 20MHz.
- (10) Osciloskop za 60MHz.
- (11)  $1+X^{12}+X^{17}$  polinomski delilnik s piskačem.
- (12) Digitalni števec (frekvencometer) za 50MHz in ura s štoparico.
- (13) 12V napajalnik za polinomski generator in delilnik.
- (14) Kable in konektorje za vse povezave.

Vezava inštrumentov je prikazana na sliki 28.2.



Slika 28.1. – Merjenje pogostosti napak v optični zvezi.



Slika 28.2. – Razporeditev in vezava merilnih instrumentov.

### 28.3. 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 (APD) 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, PIN (APD) sprejemnika in sklopnika so sicer zaščitena, vendar še vedno zahtevajo pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorji na koncih vlaken. Izhod polinomskega generatorja (+15dBm) povežemo preko 10dB slabilnika, kar da primerno moč (+5dBm) za krmiljenje laserskega oddajnika.

Nivo sprejetega signala merimo z optičnim merilnikom moči preko smernega sklopnika. Z optičnim slabilnikom poiščemo primerno jakost signala za meritev, ko se ravno začnejo pojavljati napake v prenosu. Fino nastavljanje optične moči lahko opravimo tudi z napajalno napetostjo laserskega oddajnika.

Svitek optičnega vlakna oziroma vlakno v resnični zvezi vnaša veliko zakasnitev. Ker uporabljeni sprejemnik ne zna sam izluščiti takta iz signala, privedemo do njega takt iz polinomskega generatorja preko faznega sukalnika. Ker je takt periodičen signal s frekvenco 20MHz, zadošča nastavljanje zakasnitve v območju od 0 do 50ns, kar ustreza fazi takta od 0 do 360°. Uporabljeni fazni sukalnik omogoča tudi precej večje zakasnitve, zato se slika periodično ponavlja. Fazo takta seveda izberemo tako, da dobimo minimalno število napak.

### 28.4. Prikaz značilnih rezultatov

Preden začnemo s pravo meritvijo, preverimo delovanje vseh naprav, predvsem pa ne smemo pozabiti nastaviti točno fazo takta za polinomski delilnik na sprejemni strani zveze. Poleg faze takta je pomembna tudi polariteta signala. V ta namen ima polinomski generator vgrajeno stikalo, da polariteto prilagodimo uporabljenim optičnim oddajnikom in sprejemnikom.

Pri preračunavanju rezultata ne pozabimo, da naredi vsaka napaka tri izhodne impulze. Ker večina digitalnih števecv nima enosmerno sklopljenega vhoda, ima polinomski delilnik na izhodu še dodatno vezje, ki odstranjuje enosmerno komponento, a hkrati razpolovi število impulzov. Očitek s števca je zato treba deliti s faktorjem 1.5. Končno, pri merjenju optične moči ne smemo pozabiti na faktor sklopa smernega sklopnika!

Primer končnega rezultata je prikazan na sliki 28.3. Glede na občutljivost uporabljenega sprejemnika naj bi v pravilno delujoči zvezi prišlo le do vodoravnega premika resnično izmerjenega diagrama, oblika krivulje pa naj se bistveno ne bi spreminjala.

