

1. Osnove mernih sistema

Zadatak 1. Izvesti izraze za sigurne granice relativnih i apsolutnih grešaka indirektno merenih veličina

$$y_1 = C \cdot x_1 \quad (1.1)$$

$$y_2 = x_1 + x_2 \quad (1.2)$$

$$y_3 = x_1 - x_2 \quad (1.3)$$

$$y_4 = x_1 \cdot x_2 \quad (1.4)$$

$$y_5 = x_1 / x_2 \quad (1.5)$$

$$y_6 = x_1^2 \quad (1.6)$$

$$y_7 = \sqrt{x_1} \quad (1.7)$$

$$y_8 = f(x_1) \quad (1.8)$$

Gde su C - konstanta, x_1 i x_2 – direktno merene veličine, Gx_1 i Gx_2 - apsolutne greške merenja veličina x_1 i x_2 respektivno, a $f(x)$ – neprekidna, diferencijabilna funkcija.

Zadatak 2. Izvesti izraze za sigurne granice relativne greške indirektno merene veličine

$$y = \frac{x_1 x_2}{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}} \quad (2.1)$$

Gde su x_1 , x_2 , x_3 i x_4 – direktno merene veličine, a $|Gx_1|$, $|Gx_2|$, $|Gx_3|$ i $|Gx_4|$ - njihove apsolutne greške merenja.

Zadatak 3. Izvesti izraze za sigurne granice relativne greške indirektno merene veličine

$$y = A \cos(\omega x) \quad (3.1)$$

Gde su A i ω konstante, x – direktno merena veličina, a $|\Delta x|$ - njena apsolutna greška merenja.

Zadatak 4. Potrebno je projektovati pristupnu ADSL mrežu konfiguracije tačka-tačka. Električna snaga ubačena u liniju od strane predajnika iznosi $P_t = 1$ mW. Prag osetljivosti prijemnika je $a_r = -35$ dBm. Slabljenje konektora na prijemu i predaji je 2 dB. Rezerva sistema treba da bude 10 dB. Odrediti maksimalnu dužinu veze, ako se koristi ADSL kabel podužnog slabljenja 5 dB/km

2. Bit Error Rate Test

Zadatak 1. Izračunati potreban broj prenetih informacionih bita u BER testu za 0, 1, 2 i 3 pogrešno detektovana bita na prijemu, tako da se u sistemu sa brzinom signalizacije od 1 Mbps može tvrditi da je verovatnoća greške prenosa manja od 10^{-9} sa nivoom poverenja od 95 %. Koliko je odgovarajuće trajanje BERT-a?

Zadatak 2. Prilikom BER testa ISDN komunikacione linije, kroz kanal je propuštena pseudoslučajna sekvenca od $n = 2^{35}$ informacionih bita. Koliko je trajalo merenje, ako je brzina signalizacije 64 kbps, a redudansa korišćenog protokola iznosi 20 %? Ako na prijemu nije detektovan ni jedan neispravan bit da li je korektno tvrditi da je verovatnoća greške kanala manja od 10^{-10} sa nivoom poverenja od 99 %?...

a) ...Da!

Koliko informacionih bita je potrebno propustiti kroz kanal da bi BERT prošao sa jednom detektovanom greškom? Za koliko bi se u ovom slučaju produžilo merenje?

b) ...Ne!

Sa kolikim se nivoom poverenja CL može tvrditi da je BERT bio uspešan? Kolika je gornja granica verovatnoće greške kanala $p(\varepsilon)$ koju možemo proglasiti sa nivoom poverenja od 99% na osnovu datog merenja?

c) ...Nema dovoljno podataka!

Koliki nivo poverenja je potrebno usvojiti da bi se BERT mogao proglasiti uspešnim, ako želimo da merenje traje najviše 10 min? Koliki je nivo poverenja, ako je brzina signalizacije u sistemu 64 Mbps?

Nekoliko praktičnih napomena vezanih za procenu ispravnosti BERT testa

Kada je $n \cdot p = 1$ tada je

$$CL_{\max} = CL(N = 0) = 1 - e^{-np} = 1 - e^{-1} = 63,21 \%$$

Za nivo poverenja testa od 95 %, kroz kanal je potrebno propustiti bar

$$n_0(95 \%) = -\frac{\ln(1 - CL)}{p} = -\frac{\ln 0,05}{p} = \frac{3,0}{p} \text{ bita}$$

za nivo poverenja testa od 99 %, kroz kanal je potrebno propustiti minimalno

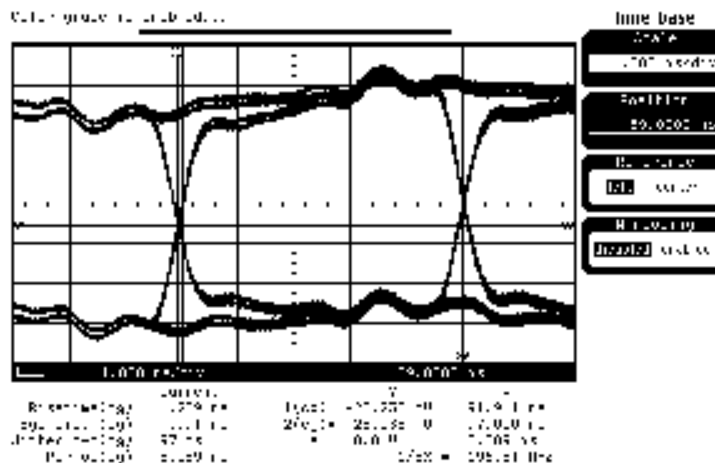
$$n_0(99\%) = -\frac{\ln(1-CL)}{p} = -\frac{\ln 0,01}{p} = \frac{4,6}{p} \text{ bita}$$

dok je za nivo poverenja od 99,9 %, potrebno najmanje

$$n_0(99,9\%) = -\frac{\ln(1-CL)}{p} = -\frac{\ln 0,001}{p} = \frac{6,9}{p} \text{ bita}$$

3. Merenje džitera i sinhronizacija

Zadatak 1. Prilikom merenja džitera u IEEE 1394 sistemu dobijen je dijagram oka prikazan na slici 1.1.



Slika 1.1. Djagram oka IEEE 1394 sistema

Izračunati su parametri:

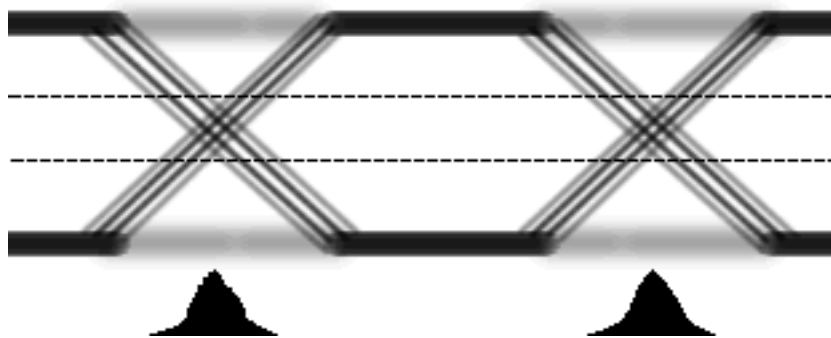
$$\begin{aligned} \sigma &= 17 \text{ ps} \\ \text{range} &= 80 \text{ ps.} \end{aligned}$$

Signal je potom usrednjavao i ponovo su izračunate vrednosti ovih parametara koje su iznosile:

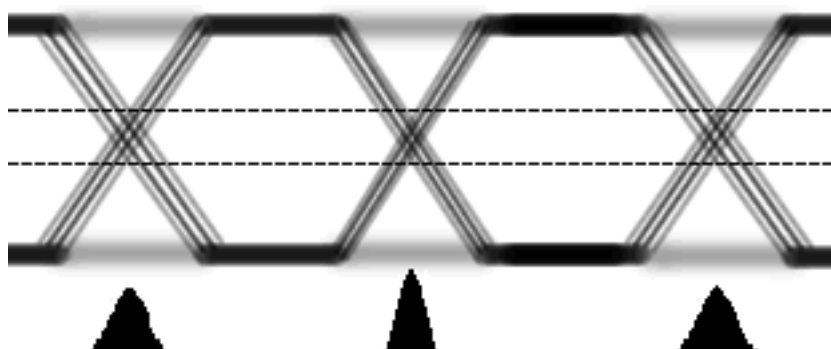
$$\begin{aligned} \sigma &= 16 \text{ ps} \\ \text{range} &= 30 \text{ ps.} \end{aligned}$$

Standardom je deklarirano da je maksimalna dozvoljena vrednost džitera u sistemu $\Delta t_{\max} = 100 \text{ ps}$, sa standardnom devijacijom od $\sigma_{\max} = 20 \text{ ps}$, odnosno da je nominalna vrednost džitera $\Delta t_{\text{nom}} = 50 \text{ ps}$ sa standardom devijacijom od $\sigma_{\text{nom}} = 18 \text{ ps}$. Da li na osnovu izmerenih vrednosti džitera sledi da je sistem usklađen sa standardom?

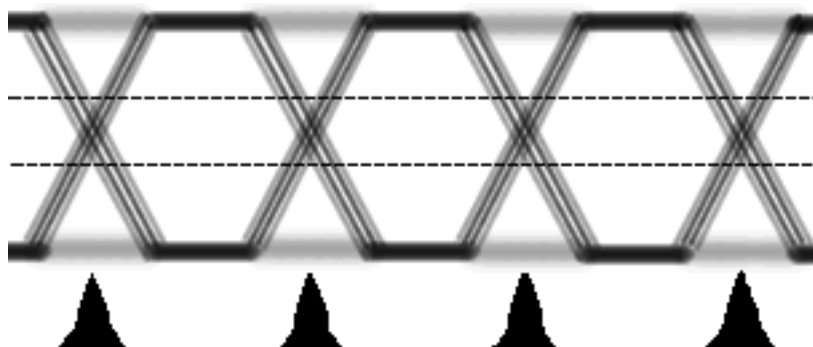
Zadatak 2. Dijagrami oka binarnih signala sa jedne komunikacione linije prikazani su na slikama 2.1, 2.2 i 2.3. Na slikama su dati i histogrami dijagrama oka. U prvom slučaju (slika 2.1) vremenska baza osciloscopa bila je podešena tako da prikazuje samo jednu periodu signala. U drugom slučaju (slika 2.2) vremenska baza je prepolovljena, a u trećem (slika 2.3) postavljena na jednu trećinu periode. Perioda signala je $T = 1$ ns.



Slika 2.1. Prvo merenje



Slika 2.2. Drugo merenje



Slika 2.3. Treće merenje

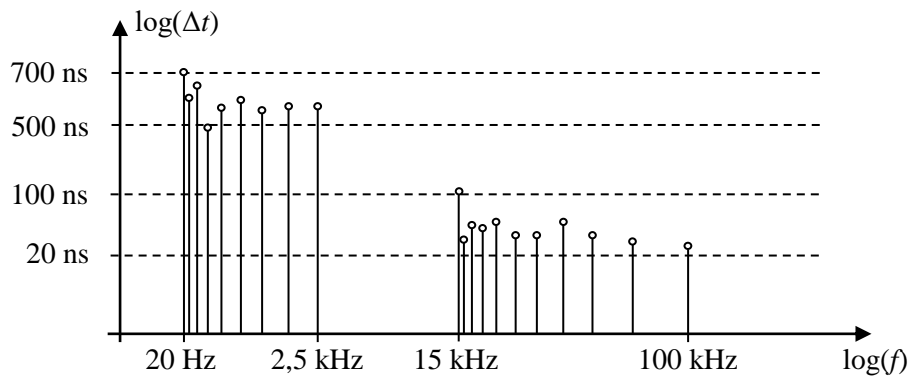
Šta se na osnovu prikazanih dijagrama može zaključiti o ciklusnom džiteru, a šta o džiteru periode? Šta se može zaključiti o stohastičkom, a šta o determinističkom džiteru? Na osnovu datih slika izmerite vrednosti onih elemenata džitera koje možete (stohastički, deterministički, ciklusni i džiter periode).

Zadatak 3. Granične vrednosti džitera u PDH sistemima, prema ITU-T preporuci G.823, date su u tabeli 3.1.

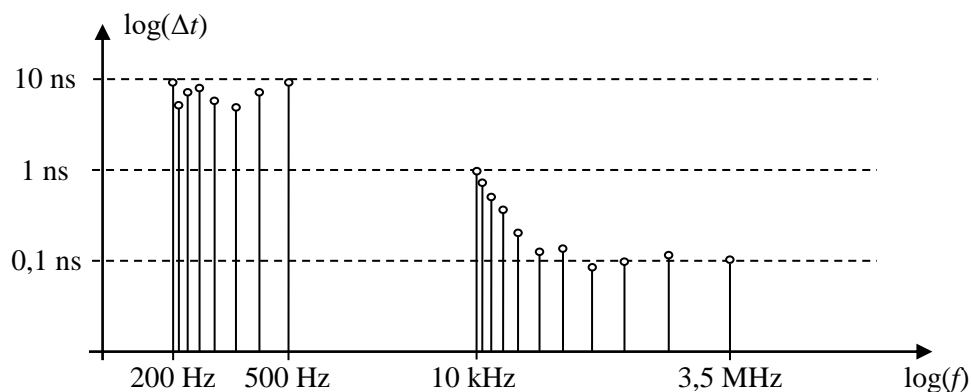
Tabela 3.1. Tolerancije džitera prema G.823

Brzina signalizacije (kbps)	$f_1 - f_2$ (UI _{pp})	$f_3 - f_4$ (UI _{pp})	f_1 (kHz)	f_2 (kHz)	f_3 (kHz)	f_4 (kHz)
2048	1,5	0,2	0,02	2,4	18	100
8448	1,5	0,2	0,02	0,4	3	400
34368	1,5	0,15	0,1	1,0	10	800
139264	1,5	0,075	0,2	0,5	10	3500

Obavljena su dva merenja u jednom PDH sistemu. Prvo za minimalnu, a potom i za maksimalnu brzinu signalizacije. Dobijeni su grafici FFT džiterskog signala kao na slikama 3.1 i 3.2. Da li je, za ispitivane brzine signalizacije, džiter u testiranom sistemu usklađen sa standardima?

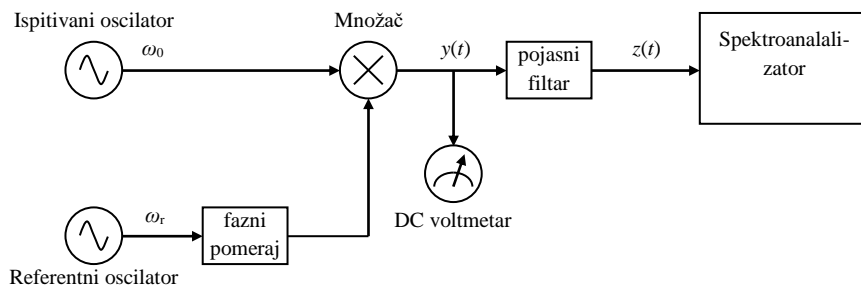


Slika 3.1. FFT džiterskog signala dobijenog u prvom merenju



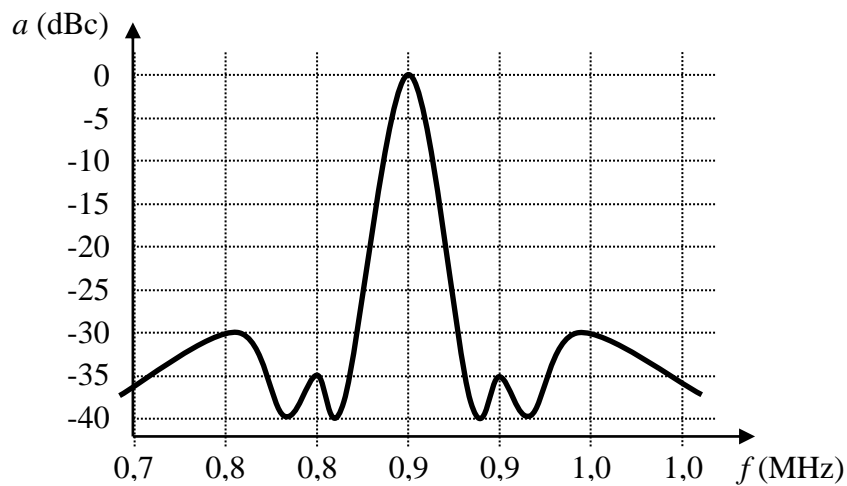
Slika 3.2. FFT džiterskog signala dobijenog u drugom merenju

Zadatak 4. Prilikom merenja faznog šuma oscilatora od 1,2 MHz, pomoću šeme prikazane na slici 4.1.



Slika 4.1. Šema za merenje faznog šuma oscilatora

Na analizatoru spektra dobijena je frekvencijska karakterisitka prikazana na slici 4.2.

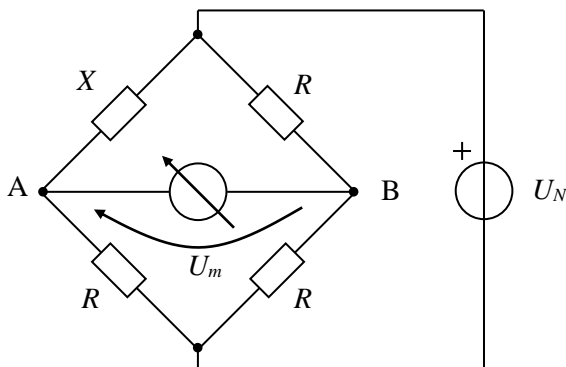


Slika 4.2. Frekvencijska karakteristika oscilatora

Koliko iznosi izmerena vršna vrednost šuma izražena u jediničnim intervalima (UI_{pp})? Koliko bi iznosila vršna vrednost šuma oscilatora od 120 MHz, da je dobivena identična frekvencijska karakterisitka?

4.3. Merni mostovi

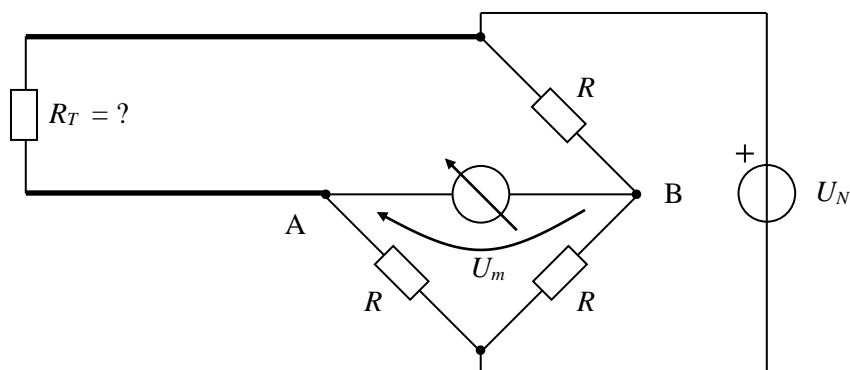
Zadatak 1. Vitstonov most prikazan na slici 1.1 koristi se merenje promene otpornosti X .



Slika 1.1. Merni most za merenje promene otpornosti

Izvesti tačan izraz za zavisnost napona merne dijagonale U_m u funkciji od ΔX , ako je most u ravnoteži za $\Delta X = 0 \Omega$, a voltmetar i generator su idealni. Ako je napon napajaja mosta $U_N = 5 \text{ V}$, otpornost R iznosi 100Ω , a otpornost $X = 100,1 \Omega$, koliki je napon merne dijagonale U_m ? Za koliko će se promeniti ovaj napon ako se, umesto na naponski izvor, most priključi na strujni izvor jačine $I_N = 50 \text{ mA}$?

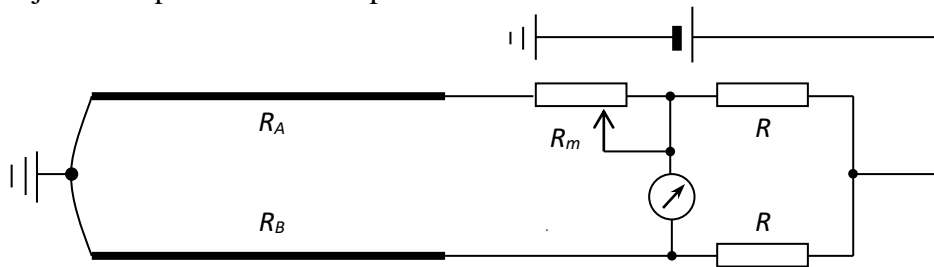
Zadatak 2. Most prikazan na slici 2.1 koristi se za merenje terminirajuće otpornosti na ADSL instalaciji. Odrediti pokazivanje instrumenta u dijagonali mosta ako su vrednosti stalnih otpornika R u granama mosta 100Ω , za slučajeve da je linija terminirana otpornošću od 100Ω , $100,1 \Omega$, 120Ω , kratkom vezom i otvorenim vezom.



Slika 2.1. Merni most za merenje terminirajuće otpornosti

Zadatak 3. U istom kućištu nalaze se dva nezavisna (odvojena) Pt-100 termometra. Treba meriti temperaturu kupke od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Predviđeno je da se termometri vežu u most sa naponom napajanja od $U_N = 5\text{ V}$. Termometri su od mosta udaljeni 50 m i povezani bakarnim provodnicima ($S = 0,5\text{ mm}^2$, $\rho_{Cu} = 0,0175\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Važi da je $\alpha_{Cu} = \alpha_{Pt} = 4 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$. Kompletirati most tako da on bude u ravnoteži na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kolika je greška merenja temperature kupke na na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ako se temperatura ambijenta promeni sa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, za slučajeve da su tremometri u most vezani dvožično i trožično?

Zadatak 4. Most prikazan na slici 4.1. koristi se za merenje razlike otpornosti žila a i b u jednoj parici. Stalni otpornici R u granama mosta su jednaki i imaju vrednost od $1\text{ k}\Omega$. Potencijometar R_m ima ukupnu otpornost od $100\text{ }\Omega$ kada je klizač u krajnjem levom položaju, odnosno kada je otklon potencijometra 0 podeoka.



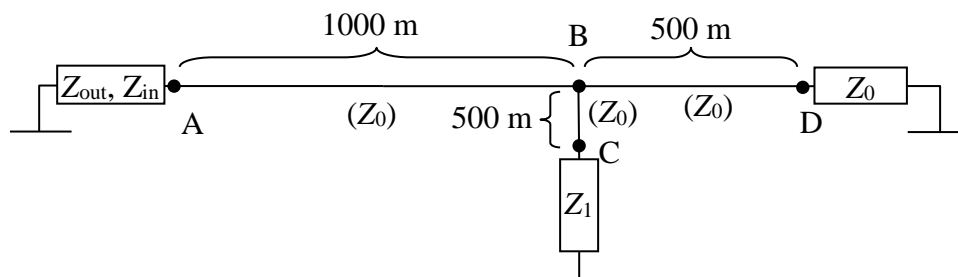
Slika 4.1. Konfiguracija kablovskog mernog mosta

Ako je instrument izbrojao otklon od $M = 2341$ podeoka na potencijometru od ukupno $M_{\max} = 10000$, kolika je razlika otpornosti žila a i b?

4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

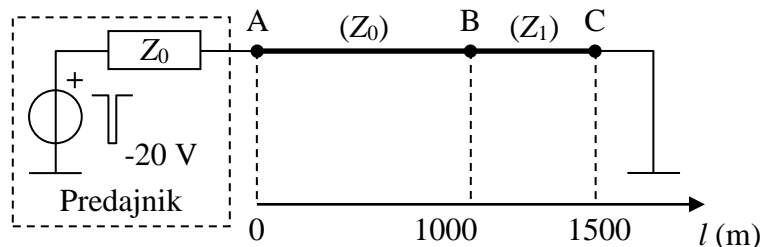
Zadatak 1. Vod bez gubitaka, dužine 4 km, karakteristične impedanse 600Ω , zatvoren je impedansom od 600Ω i na sredini ima kratku odvodnu liniju impedanse 300Ω . Kroz liniju je propušten usamljen naponski impuls amplitude 15 V , trajanja $1 \mu\text{s}$. Nacrtati *lattice* dijagram radi ilustracije prostiranja impulsa kroz vod. Pretpostaviti brzinu prostiranja impulsa kroz provodnik od 200.000 km/s i impedansu izvora od 300Ω . Ponoviti postupak za slučaj da je pobuda odskočna (Hevisajdova) funkcija amplitude 15 V .

Zadatak 2. Za vod bez gubitaka, prikazan na slici 2.1 odrediti refleksije u svim granama korišćenjem *lattice* dijagrama i nacrtati naponski signal na prijemu, u tački D. Nivo šuma u kanalu iznosi 100 mV , kašnjenje linije je $4 \mu\text{s/km}$, širina korišćenog impulsa je $1 \mu\text{s}$, a amplituda 15 V . Izlazna impedansa instrumenta iznosi 50Ω , a ulazna 100Ω . Karakteristična impedansa Z_0 svih vodova iznosi 100Ω , a odvod dužine 500 m zatvoren je impedansom od $Z_1 = 1 \text{ k}\Omega$. Ponoviti postupak za slučaj da je pobuda odskočna funkcija amplitude 15 V .



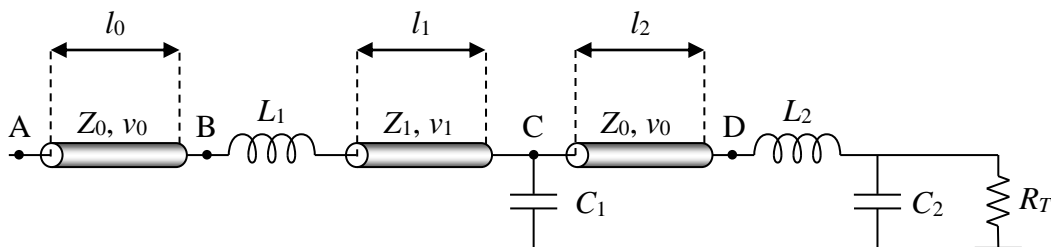
Slika 2.1. Vod bez gubitaka

Zadatak 3. Na slici 3.1 prikazan je vod sa podužnim slabljenjem od $\alpha = 3 \text{ dB/km}$ podeljen u dve sekcije različitih karakterističnih impedansi $Z_0 = 120 \Omega$ i $Z_1 = 100 \Omega$. Ako je kašnjenje linije $5 \mu\text{s/km}$, a izvor emituje usamljeni impuls amplitude -20 V , širine $2 \mu\text{s}$, odrediti refleksije u svim granama korišćenjem *lattice* dijagrama i nacrtati naponske signale u tačkama A, B i C. Nivo šuma u kanalu iznosi $\pm 10 \text{ mV}$.



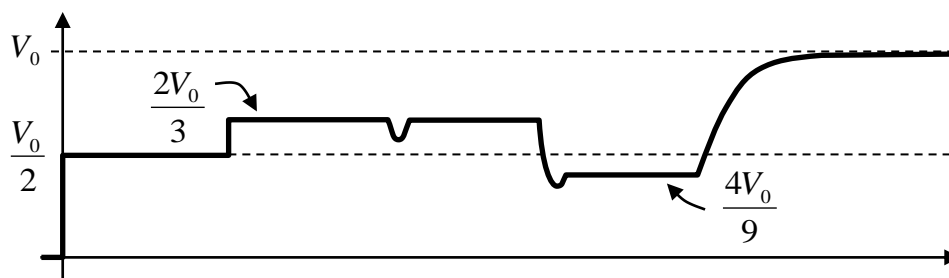
Slika 3.1. Vod sa gubicima

Zadatak 4. Za konfiguraciju voda sa slike 4.1 skicirati izgled ekrana TDR-a koji je priključen u tački A i čija je impedansa prilagođena prvoj sekciji voda. Brzine propagacije signala kroz pojedine segmente voda, kao i karakteristične impedanse ovih vodova date označeni su na slici 4.1. Važi da je $Z_1 > Z_0$ i da je $R_T < Z_0$. Emitovani impuls je odskočna (Hevisajdova) funkcija amplitude V_0 .



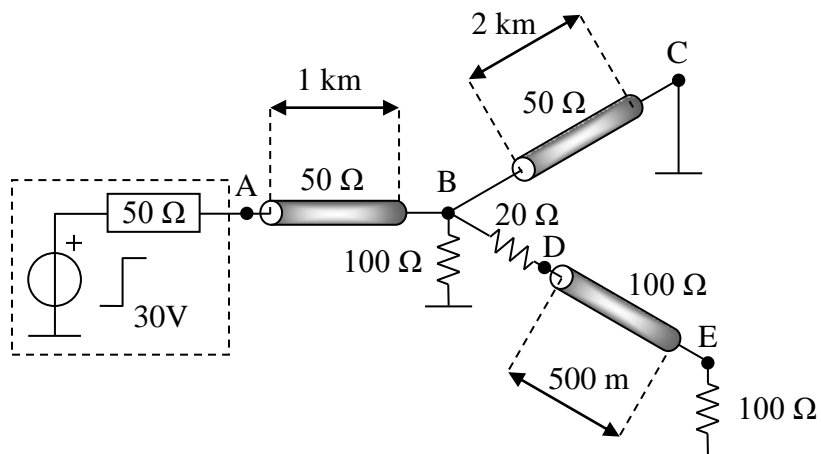
Slika 4.1. Vod koji se testira

Zadatak 5. Za krivu povratnog rasejanja prikazanu na slici 5.1, koja je dobijena na TDR-u izlazne impedanse 50Ω , nacrtati moguće konfiguracije voda. Koliko ima ovih konfiguracija? Incidentni impuls je Hevisajdova funkcija amplitude V_0 .



Slika 5.1. Izgled krive na ekranu TDR-a

Zadatak 6. Za vod sa slike 6.1 odrediti koeficijente refleksije i transmisije u svim tačkama i nacrtati *lattice* dijagram propagacije signala kroz svaki od segmenata voda. Na osnovu nacrtanog *lattice* dijagrama skicirati izgled naponskih signala u tačkama A, B, D i E. Pobuda je odskočna funkcija amplitude 30 V . Dužine linija i vrednosti svih imepdansi dati su na slici 6.1. Brzina propagacije signala kroz svaki od segmenata voda je ista i iznosi $4,2 \mu\text{s}/\text{km}$.



Slika 6.1. Vod sa više grana i rednim impedansama