

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 8
Merenja na kolima sa raspodeljenim parametrima

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

1 Merenja na kolima sa raspodeljenim parametrima

1.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl za sinhronizaciju
3. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
4. tri koaksijalna BNC-to-BNC kabla dužine po nekoliko metara, $Z_C = 50 \Omega$
5. koaksijalni BNC-to-BNC kabl dužine oko 1 m, $Z_C = 50 \Omega$
6. T-elementi za povezivanje koaksijalnih kablova, 3 komada
7. elementi za produžavanje koaksijalnih kablova, 2 komada
8. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla karakterističnom impedansom $Z_C = 50 \Omega$
9. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla kratkim spojem
10. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla sa izvodima za protobord
11. protobord
12. otpornik otpornosti 22Ω , 5%, 1 komad
13. otpornik otpornosti 100Ω , 5%, 1 komad
14. kondenzator kapacitivnosi 1 nF, 1 komad
15. kondenzator kapacitivnosi 100 nF, 1 komad
16. žica za protobord, kratka
17. žica za protobord, dugačka
18. računar sa softverom za vežbu broj 8
19. **studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja**

1.2 Opis i ciljevi vežbe

U ovoj vežbi se ilustruju efekti karakteristični za kola sa raspodeljenim parametrima kod kojih u model kola ulaze i prostorne dimenzije kola, a ne samo električni parametri kola i vreme. U vežbi će biti razmatran najjednostavniji slučaj kada je jedina prostorna dimenzija koja je od značaja dužina voda. Studenti treba da uoče efekte prostiranja signala po vodu: kašnjenje i slabljenje. Takođe, studenti treba da uoče kako se posmatranjem reflektovanog talasa i merenjima na njemu može identifikovati i ustanoviti gde je na vodu došlo do prekida ili kratkog spoja. Biće ilustrovani efekti refleksije kada vod nije zatvoren karakterističnom impedansom. Na kraju vežbe će biti ilustrovani efekti frekvencijske zavisnosti ulazne impedanse otvorenog i kratko spojenog voda koja ispoljava beskonačno mnogo rezonansi iz kojih je moguće odrediti dužinu voda.

Očekuje se da studenti kroz vežbu steknu iskustvo u povezivanju kola sa raspodeljenim parametrima i unaprede svoje veštine u izboru odgovarajućih parametara za prikazivanje slike na ekranu osciloskopa i merenju vremenskih intervala i naponskih nivoa. Takođe, studenti

će steći osećaj da je merenje prostiranja signala brzinama bliskim brzini svetlosti moguće i relevantno, da se na u laboratoriji ostvarivim frekvencijama otvoren vod može ponašati kao kratak spoj i obrnuto, kratko spojen vod kao otvorena veza. Štaviše, iz takvih merenja je moguće odrediti dužinu voda.

Teme obrađene u ovoj vežbi imaju teorijsku podlogu obrađenu u predmetu Teorija električnih kola. Stoga, studentima se preporučuje da pre vežbe prouče teorijske osnove obrađene u ovom predmetu.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

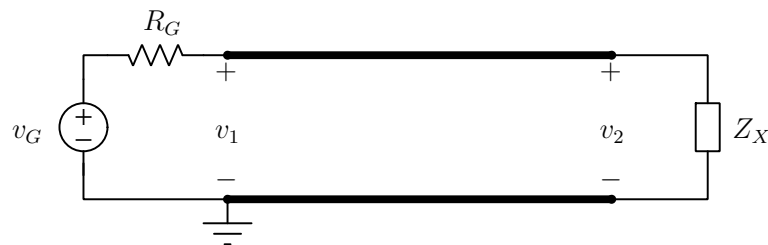
1.3 Napomene

U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

U svim delovima vežbe sprega po kanalima osciloskopa treba da bude DC.

Sistem koji će biti razmatran u vežbi je prikazan na slici 1. Razmatrani vod ima karakterističnu impedansu $Z_C = 50 \Omega$ kolika je (prema specifikaciji proizvođača) i unutrašnja otpornost generatora signala, $R_G = Z_C$, tako da refleksije na strani generatora ne može biti. Tokom vežbe će biti menjana dužina voda nadovezivanjem tri segmenta, biće menjana završna impedansa Z_X i biće proučavani efekti ovih promena.

Generator signala se na dostupnom priključku može predstaviti rednom vezom idealnog naponskog izvora v_G i otpornika $R_G = 50 \Omega$, slika 1. Na generatoru signala je moguće podesiti otpornost potrošača koja utiče na način zadavanja napona idealnog naponskog izvora (komande **Utility**, **Output Setup**, **Load**, potom izbor otpornosti potrošača). U zavisnosti od izabrane otpornosti potrošača, idealni naponski izvor v_G realizuje napon potreban da se na potrošaču postigne zadata vrednost napona, v_1 na slici 1. U slučaju da podešena otpornost potrošača ne odgovara stvarnoj, realizovani napon v_1 na potrošaču neće biti jednak zadatom.



Slika 1: Vod.

1.4 Zadatak

1.4.1 Prostiranje talasa po vodu

Pokrenuti `terminal`. Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/a`.

Podesiti podrazumevanu otpornost potrošača na 50Ω komandama **Utility**, **Output Setup**, **Load**, 50Ω . Podesiti frekvenciju generatora signala na 1 MHz. Podesiti tip signala na **Pulse**, minimalnu vrednost signala na nulu, maksimalnu vrednost na 1 V, trajanje impulsa na 20 ns, trajanje ivica na 5 ns. Ovakva pobuda u datom kontekstu verno predstavlja povorku Dirakovih impulsa.

Na stolu je već povezan generator signala kratkim koaksijalnim kablom na kanal 1 osciloskopa preko T-elementa. Takođe, prvi segment koaksijalnog kabla je povezan na taj T-element. Ostali segmenti kabla koji su međusobno vezani na red preko elemenata za nastavljjanje voda.

Na kraju, preko T-elementa kabl je povezan na kanal 2 osciloskopa, a na izlazni kraj T-elementa je povezan element za završavanje voda karakterističnom impedansom (terminacija). **Početo povezivanje je da su sva tri segmenta vezana na red u skladu sa rastućim rednim brojevima** i na to povezivanje ćemo se pozivati u daljem tekstu vežbe.

Na ekranu osciloskopa treba prikazati signale sa kanala 1 i kanala 2 tako da je nula kanala 1 postavljena na -3 div, a nula kanala 2 osciloskopa postavljena na 0 div. Podela naponske ose treba da bude 0.5 V/div na oba kanala. Tokom vežbe potrebno je podešavati podelu vremenske ose i horizontalnu poziciju slike kako bi na ekranu bili prikazani željeni efekti.

Prilikom merenja kašnjenja i vršne vrednosti impulsa u oba slučaja kursor treba da bude vremenskog tipa, pošto prikazani podaci obuhvataju i vreme i trenutnu vrednost označene tačke signala. Kod merenja vremena propagacije i vršne vrednosti poslatog impulsa, izvor podataka za kursor treba da bude kanal 1. Kod merenja vršne vrednosti primljenog impulsa, izvor podataka za kursor treba da bude kanal 2. Za računanje razlike u vršnim vrednostima signala moguće je koristiti program `Calc`.

U prvom delu vežbe treba dokumentovati kašnjenje signala i slabljenje signala snimanjem odgovarajućih dijagrama za svih sedam mogućih kombinacija povezivanja segmenata voda specificiranih u tabeli 1.

Tabela 1: Prostiranje signala po vodu

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
3	✓		✓		
4		✓	✓		
5			✓		
6		✓			
7	✓				

Na stolu je već povezana kombinacija 1 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt , tip kursora vreme, izvor podataka kanal 1. Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py k1dt
```

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa, prebaciti izvor podataka za kursor na kanal 2. Izračunati razliku vršnih vrednosti i zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py k1dv
```

.

Povezati kombinaciju 2 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py k2dt
```

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k2dv

.

Povezati kombinaciju 3 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k3dt

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k3dv

.

Povezati kombinaciju 4 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k4dt

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k4dv

.

Povezati kombinaciju 5 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k5dt

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k5dv

.

Povezati kombinaciju 6 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k6dt

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k6dv

.

Povezati kombinaciju 7 iz tabele 1. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k7dt

. Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 1 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py k7dv

.

1.4.2 Kvarovi na vodu

U ovom delu vežbe cilj je da se ilustruju efekti kakve kvarovi, prekidi i kratki spojevi na vodu, izazivaju na ulaznom i na izlaznom portu voda. Studenti treba da uoče da kvar na vodu izaziva prekid prenosa signala ka izlaznom portu voda, ali i pojavu reflektovanog talasa na ulaznom portu voda prema čijem obliku i kašnjenju je moguće ustanoviti tip i mesto kvara na vodu („reflektometrija”).

Povezati početnu konfiguraciju voda. Podešavanja generatora treba ostaviti kao u prethodnoj tački. Kod osciloskopa nivo nule prvog kanala treba da bude na 2 div, a nivo nule drugog kanala na -2 div. Podela naponske ose na oba kanala treba da bude 500 mV/div. Podelu vremenske ose i horizontalnu poziciju slike treba podešavati po potrebi. Isključiti pokazivače.

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/b`.

U cilju ilustrovanja normalnog prenosa signala po vodu, snimiti dijagram poslatog i primljenog signala bez kvarova pokretanjem programa

```
python getfig.py ok
```

Uočiti prisustvo signala na izlazu, kašnjenje usled propagacije, kao i odsustvo refleksije na ulazu voda.

Prekinuti („odspojiti”) vod na kraju segmenta 3. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 3o
```

Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu voda.

Na kraju segmenta 3 kratko spojiti vod primenom završetka u kratkom spoju. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 3s
```

Uočiti da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu, različit u odnosu na slučaj kada je vod u prekidu. Prema obliku reflektovanog talasa moguće je ustanoviti da li je vod u kratkom spoju ili u prekidu. Ukloniti završetak u kratkom spoju i povezati kraj trećeg segmenta voda na kanal 2 osciloskopa.

Prekinuti („odspojiti”) vod na kraju segmenta 2. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 2o
```

Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu nakon kašnjenja koje je kraće nego kada je prekid bio na izlazu trećeg segmenta voda.

Umesto segmenta za nastavljajanje vodova povezati T-element i tako povezati vod na kraju segmenta 2 sa početkom segmenta 3. Kratko spojiti vod na tom mestu povezivanjem završetka u kratkom spoju na T-element. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 2s
```

Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu koji ukazuje na kratak spoj, dok kašnjenje reflektovanog talasa ukazuje na mesto na kome je kratak spoj nastao. T-element sa završetkom za kratko spajanje zameniti elementom za produžavanje voda.

Prekinuti vod na kraju segmenta 1. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 1o
```

Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu, nakon malog kašnjenja koje odgovara bliskom prekidu.

Povezati vod na kraju segmenta 1 primenom T-elementa sa završetkom u kratkom spoju umesto elementa za produžavanje voda. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 1s
```

Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu koji ukazuje na kratak spoj na malom rastojanju, zbog malog kašnjenja.

Da zaključimo: prekidanje ili kratko spajanje voda na bilo kom mestu dovodi do nestanka signala na kraju voda i do pojave reflektovanog talasa na početku voda. Po obliku reflektovanog talasa moguće je zaključiti da li je na vodu nastao prekid ili kratak spoj. Po kašnjenju reflektovanog talasa moguće je zaključiti gde je kvar nastao. Sledeći deo vežbe se bavi određivanjem mesta i tipa kvara na vodu na osnovu merenja parametara reflektovanog talasa.

1.4.3 Refleksija na otvorenom vodu

Podesiti radni direktorijum na ~/Desktop/vezba-8/c.

U prethodnoj tački su kvalitativno analizirani efekti koje proizvodi presecanje (otvaranje) voda ili kratko spajanje voda. U ovoj i sledećoj tački će biti kvantitativno analizirani ti efekti. Kako prekidanje ili kratko spajanje voda isključuje izlaz, u ovom i u sledećem delu vežbe treba isključiti prikazivanje signala na kanalu 2, sva merenja će se obavljati na kanalu 1.

Povezati sistem na početnu konfiguraciju. Prekinuti vod na kraju segmenta 3 rastavljanjem na T-elementu. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa (vremenski tip pokazivača). Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3ot
```

Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa (naponski tip pokazivača). Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3oa
```

.

Prekinuti vod na kraju segmenta 2 rastavljanjem. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2ot
```

Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2oa
```

.

Prekinuti vod na kraju segmenta 1 rastavljanjem. Podesiti osciloskop tako da je moguće tačno i precizno izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 1ot
```

Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 2 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 1oa
```

.

Tabela 2: Refleksija na otvorenom vodu

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
7	✓				

1.4.4 Refleksija na vodu u kratkom spoju

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/d`.

U ovom delu vežbe će biti kvantitativno analizirani efekti refleksije na kratko spojenom vodu. Do sada su u vežbi pokazivači korišćeni za merenje kašnjenja i slabljenja signala na dva načina. Sada će biti ilustrovan treći način, u kome osciloskop računa vremensku razliku i meri nivoe vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa, a kako bi očitavanje bilo stabilnije koristi se usrednjavanje slike. Podesite usrednjavanje koristeći `Acquire`, `Average`, podesiti usrednjavanje na 128.

Povezati sistem na početnu konfiguraciju, bez povezivanja na kanal 2. Kratko spojiti vod na kraju segmenta 3 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače vremenskog tipa na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 3 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3s
```

Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa (program `Calc`) i upisati je u tabelu 3 .

Ukloniti završetak u kratkom spoju sa kraja segmenta 3 voda. Rastaviti vod na spoju segmenata 2 i 3 i kratko spojiti vod na kraju segmenta 2 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 3 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2s
```

Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa i upisati je u tabelu 3 .

Ukloniti završetak u kratkom spoju sa kraja segmenta 2 voda. Rastaviti vod na spoju segmenata 1 i 2 i kratko spojiti vod na kraju segmenta 1 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 3 . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

python getfig.py 1s

□. Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa i upisati je u tabelu 3 □.

Isključiti usrednjavanje slike koristeći `Acquire`, `Sample`. Isključiti pokazivače.

Tabela 3: Refleksija na vodu u kratkom spoju

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
7	✓				

1.4.5 Određivanje dužine voda

Za vodove koji nisu zatvoreni karakterističnom impedansom moguće je odrediti dužinu voda merenjem vremena koje protekne između polaska pobudnog i dolaska reflektovanog talasa, imajući u vidu da se talasi po vodu prostiru brzinom

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}.$$

Imajući u vidu da je $\mu_r \approx 1$ za materijale od kojih se prave vodovi, brzina prostiranja se svodi na

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

gde je $c \approx 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a ϵ_r je relativna permitivnost dielektrika voda. U konkretnom slučaju voda koji se koristi na vežbama $\epsilon_r \approx 2.25$, pa je brzina prostiranja signala po vodu

$$v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{ns}} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{ns}}.$$

Poznavanje brzine prostiranja talasa po vodu i kašnjenja i oblika reflektovanog signala koristi se u reflektometriji da se odredi mesto i tip kvara na vodu.

Koristeći poznatu brzinu prostiranja talasa po vodu i rezultate merenja izvršenih u prvoj tački, 1.4.1, kao i u prethodne dve tačke, 1.4.3 i 1.4.4, odrediti dužine pojedinih segmenata kabla. Popuniti tabelu 4.

Pitanja za razmišljanje:

1. Po kojim formulama ste izračunali dužine zahtevane u tabeli 4?
2. Koliko su međusobno saglasni rezultati zasnovani na merenju propagacije, merenjima na otvorenom vodu i merenjima na vodu u kratkom spoju?
3. Imajući u vidu ograničenja raspoložive opreme, koja merenja dužine voda imaju manju mernu nesigurnost: merenja zasnovana na reflektovanom talasu iza tačaka 1.4.3 i 1.4.4 ili merenja zasnovana na prostiranju talasa iz tačke 1.4.1?

Tabela 4: Dužine segmenata voda

segment(i)	dužina [m], zavisno od metoda		
	propagacija	otvoren vod	vod u kratkom spoju
1 + 2 + 3			
1 + 2			
1			
2			
3			

1.4.6 Vod zatvoren neprilagođenom impedansom

Povezati sva tri segmenta koaksijalnog voda na red (početna konfiguracija) i zatvoriti vod završetkom koji omogućava vezu sa protobordom. Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/e`.

Na ekranu osciloskopa posmatrati samo kanal 1.

Zatvoriti vod otpornošću od $100\ \Omega$. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t100ohm
```

Zatvoriti vod otpornošću od $22\ \Omega$. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t22ohm
```

Zatvoriti vod kondenzatorom kapacitivnosti $1\ \text{nF}$. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t1nF
```

Zatvoriti vod kondenzatorom kapacitivnosti $100\ \text{nF}$. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t100nF
```

Zatvoriti vod kratkom žicom za protobord, efektivno praveći kratak spoj. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py tshort
```

Zatvoriti vod dugačkom žicom za protobord tako da žica napravi najveću moguću petlju, ali i dalje efektivno praveći kratak spoj. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py tlong
```

Pitanja za razmišljanje:

1. Može li se na osnovu reflektovanog talasa proceniti otpornost otpornika kojim je zatvoren vod?
2. Može li se na osnovu reflektovanog talasa odrediti mesto na kome je vod zatvoren?
3. Da li se kondenzatori koji zatvaraju vod ponašaju nalik otvorenoj ili nalik kratkoj vezi?
4. Da li se žice kojima se kratko spaja vod preko protoborda ponašaju kao dobar kratak spoj?

1.4.7 Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na otvorenom vodu

Cilj ovog i sledećeg dela vežbe je da ilustruje efekte izazvane raspodeljenim parametrima voda. Ako bi kolo sa slike 1 bilo sa koncentrisanim parametrima, $Z_X \rightarrow \infty$ bi uslovalo $v_1 = v_G$, dok bi $Z_X = 0$ uslovalo $v_1 = 0$. Ovo će na niskim frekvencijama zaista i biti tako, ali na višim frekvencijama će se električno ponašanje voda menjati tako da će se na portu gde se meri v_1 videti impedansa koja se menja od približno otvorene do približno kratke veze, zavisno od frekvencije i zavisno od toga da li je vod otvoren ili kratko spojen na svom kraju.

Merenja frekvencijske zavisnosti efektivne vrednosti napona v_1 u kolu sa slike 1 se vrše u 400 tačaka, u opsegu frekvencija od 50 kHz do 20 MHz na svakih 50 kHz. Ovakva merenja ne bi bilo moguće izvršiti na vežbama ručno u razumnom roku, pa su merenja automatizovana, a od studenata se očekuje da razumeju dobijene dijagrame i identifikuju parametre na njima.

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/f`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod otvoren. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske zavisnosti komandom

```
python fresponseopen.py
```

□. Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitano napona. Potrebno je sačekati da program završi rad i pogledati dobijeni dijagram `open.png`. Na dijagramu ustanoviti na kojim frekvencijama se vod ponaša približno kao kratak spoj. Identifikovane frekvencije uneti u tabelu 5 □. Ukoliko želite da tačnije očitajte frekvencije pri kojima ulazni napon ima lokalni minimum, izlaz programa možete zapisati u fajl koristeći redirekciju izlaza

```
python fresponseopen.py > open.dat
```

i potom pretražiti podatke u fajlu `open.dat`.

Tabela 5: Frekvencije na kojima se otvoren vod na ulazu ponaša kao kratak spoj

	f [MHz]
f_1	
f_2	
f_3	

Imajući u vidu da razlika dve uzastopne frekvencije na kojima se vod ponaša kao kratak spoj odgovara polovini talasne dužine talasa koji se prostire po vodu brzinom $v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, proceniti dužinu voda na kome je merenje vršeno (pomoć: $l = \frac{100 \text{ m MHz}}{\Delta f}$). Procenjena dužina voda je

$l =$ _____ □.

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

```
python fresponseopen-autorange.py
```

□ koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

1.4.8 Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na vodu u kratkom spoju

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/g`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod zatvoren završetkom u kratkom spoju. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske zavisnosti komandom

```
python fresponseseshort.py
```

□. Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitano napona. Potrebno je sačekati da program završi rad (oko minut) i pogledati dobijeni dijagram `short.png`. Na dijagramu ustanoviti na kojim frekvencijama se vod ponaša približno kao kratak spoj. Identifikovane frekvencije uneti u tabelu 6 □. Ukoliko želite da tačnije očitajte frekvencije pri kojima ulazni napon ima lokalni minimum, izlaz programa možete zapisati u fajl koristeći redirekciju izlaza

```
python fresponseseshort.py > short.dat
```

i potom pretražiti podatke u fajlu `short.dat`.

Tabela 6: Frekvencije na kojima se kratko spojen vod na ulazu ponaša kao kratak spoj

	f [MHz]
f_1	
f_2	
f_3	
f_4	

Imajući u vidu da razlika dve uzastopne frekvencije na kojima se vod ponaša kao kratak spoj odgovara polovini talasne dužine talasa koji se prostire po vodu brzinom $v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, proceniti dužinu voda na kome je merenje vršeno (pomoć: $l = \frac{100 \text{ m MHz}}{\Delta f}$). Procenjena dužina voda je

$l =$ _____ □.

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

```
python fresponseseshort-autorange.py
```

koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

Pitanja za razmišljanje:

1. Koliko se merenje dužine voda na osnovu merenja razlike uzastopnih frekvencija na kojima se vod ponaša kao kratak spoj slaže sa rezultatom merenja dužine voda na osnovu merenja vremena prostiranja talasa izvršenog u tački 1.4.1 i merenja vremena proteklog od slanja pobudnog do prijema reflektovanog talasa, vršenog u tačkama 1.4.3 i 1.4.4?
2. Koliko međusobno nezavisnih informacija o dužini voda daju merenja iz tačke 1.4.7, a koliko merenja iz tačke 1.4.8?
3. Kako bi izvršili agregaciju rezultata merenja iz tačaka 1.4.7 i 1.4.8 u jedinstven rezultat za dužinu voda? Zašto bi to činili? Pomoć: primeniti metod najmanjih kvadrata.
4. Od svih navedenih metoda za merenje dužine voda merenjima električnih karakteristika na ulaznom portu voda, kom metodu najviše verujete i zašto?
5. Kom vremenu propagacije odgovara najveća nesaglasnost dobijenih rezultata? (Pomoć: talas po posmatranom vodu propagira sa 20 cm/ns.)
6. Da li je na osnovu rezultata merenja u tačkama 1.4.7 i 1.4.8 moguće proceniti koeficijent slabljenja voda?
7. Da li je moguće odrediti dužinu voda merenjem razlike uzastopnih frekvencija na kojima se vod ponaša kao otvorena veza? Zašto ta mogućnost u vežbi nije korišćena?
8. Zašto automatska regulacija podele naponske ose popravljja kvalitet snimljene zavisnosti ulaznog napona voda od frekvecnije?

1.4.9 Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na vodu koji je zatvoren svojom karakterističnom impedansom

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/h`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod zatvoren karakterističnom impedansom. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske zavisnosti komandom

```
python fresponseZc.py
```

Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitano napona. Potrebno je sačekati da program završi rad (oko minut) i pogledati dobijeni dijagram `Zc.png`.

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

```
python fresponseZc-autorange.py
```

koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li je dobijeni dijagram očekivan?
2. Smatrate li da su odstupanja od očekivanog dijagrama velika ili mala?
3. Šta uzrokuje odstupanja od očekivanog dijagrama?
4. Da li je automatska regulacija podele naponske ose u ovom slučaju popravila dijagram? Zašto?

1.4.10 Funkcija prenosa voda zatvorenog karakterističnom impedansom

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku.

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/i`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, da je kraj voda povezan na kanal 2 osciloskopa i da je na kraju vod zatvoren karakterističnom impedansom, kao u tački 1.4.1 vežbe. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske karakteristike funkcije prenosa (u linearnoj razmeri) od kanala 1 do kanala 2 komandom

```
python Hf-linspace.py
```

i zadati $f_{max} = 20$ MHz, broj tačaka `npoints = 100`, amplitudu ulaznog napona od 2 V i ime fajla `Zc` .

Pogledati dobijeni dijagram. Pitanje za razmišljanje: da li dobijeni dijagram odgovara idealnom sistemu za prenos signala, da li, koliko i gde od njega odstupa?

1.4.11 Funkcija prenosa otvorenog voda

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku.

Ostaviti radni direktorijum `~/Desktop/vezba-8/i`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, da je kraj voda povezan na kanal 2 osciloskopa i da je na kraju vod otvoren, ukloniti terminaciju karakterističnom impedansom. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske karakteristike funkcije prenosa (u linearnoj razmeri) od kanala 1 do kanala 2 komandom

```
python Hf-linspace.py
```

i zadati $f_{max} = 20$ MHz, broj tačaka `npoints = 100`, amplitudu ulaznog napona od 2 V i ime fajla `open` .

Pogledati dobijeni dijagram i uporediti ga sa snimljenim u prethodnoj tački. Pitanja za razmišljanje:

1. Da li dobijeni dijagram odgovara idealnom sistemu za prenos signala, da li, koliko i gde od njega odstupa?
2. Da li bi otvoren vod izobličio poslati signal, da li unosi izobličenje? Zašto?
3. Može li se otvoren vod smatrati za linearan sistem?
4. Mogu li linearni sistemi unositi izobličenje?
5. U čemu se razlikuje izobličenje koje unose nelinearni sistemi u odnosu na izobličenje koje unose linearni sistemi?

1.4.12 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum `vezba-8` i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .