

## Vežba 6 – Mostovi za jednosmernu i naizmeničnu struju

### Uvod

Cilj vežbe je da se sagledaju mogućnosti za merenja nepoznatih kapacitivnosti i promena otpornosti metodama mosta.

U okviru prvog dela vežbe meri se kapacitivnost pomoću Sotievog mosta. Osnovna pretpostavka je da se gubici kondenzatora mogu zanemariti. Dobijene vrednosti se porede sa vrednostima izmerenim RLC metrom i virtuelnim instrumentom za merenje impedanse primenom *Analog Discovery 2* (National Instruments, SAD) uređaja i kompatibilne *Waveforms* (Digilent, SAD) aplikacije. Virtuelni instrument za merenje impedanse, principski radi tako što realni i imaginarni deo impedanse indirektno meri, merenjem modula i faze (kompleksne) impedanse. Može se pokazati, izvedeći izraz za mernu nesigurnost, da je ovakav način merenja osetljiv na tačnost merenja faze, što kao rezultat može imati relativno veliku mernu nesigurnost koja je naročito izražena za vrednosti faze bliske nuli ili bliske  $\pi/2$ . RLC metar radi na principu automatizovanog mosta (*autobalancing bridge*) i, od ova tri načina merenja kapacitivnosti, ima najveću (najbolju) tačnost.

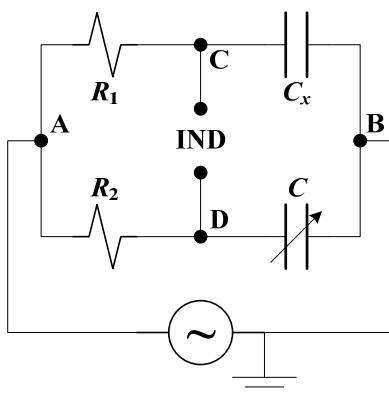
U okviru drugog dela vežbe meri se promena otpornosti temperaturno osetljivog otpornika pomoću neuravnoteženog Vitstonovog mosta.

### Zadatak i uputstvo za merenje

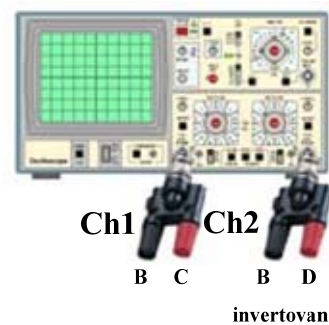
#### Zadatak 1 – merenje kapacitivnosti

1. Sastaviti Sotiev most za merenje kapacitivnosti prema šemi sa Sl. 1. Poznate su vrednosti sledećih elemenata:  $R_1=1000 \Omega$ ,  $R_2=1000 \Omega$ . Podesiti frekvenciju generatora na  $f=1000 \text{ Hz}$ . Za promenljivu kapacitivnosti  $C$  koristiti dekadu kapacitivnosti. Na mestu nepoznate kapacitivnosti  $C_x$  povezati jednu od kapacitivnosti koje će biti merene.
2. Kao indikator ravnoteže koristiti se analogni osciloskop, Sl. 2. Koriste se oba kanala dvokanalnog osciloskopa, a na ekranu se posmatra napon  $U_{CD}$ . To se postiže tako što se na kanalu 1 posmatra signal u tački C (u odnosu na masu, tačka B), a na kanalu 2 signal u tački D (u odnosu na masu, tačka B). Preklapnici analognog osciloskopa se podese tako da se signal koji se vodi na kanal 2 invertuje i da se na ekranu osciloskopa iscrtava zbir signala sa kanala 1 i kanala 2:

$$U_{CD} = U_{CB} + (-U_{DB}).$$

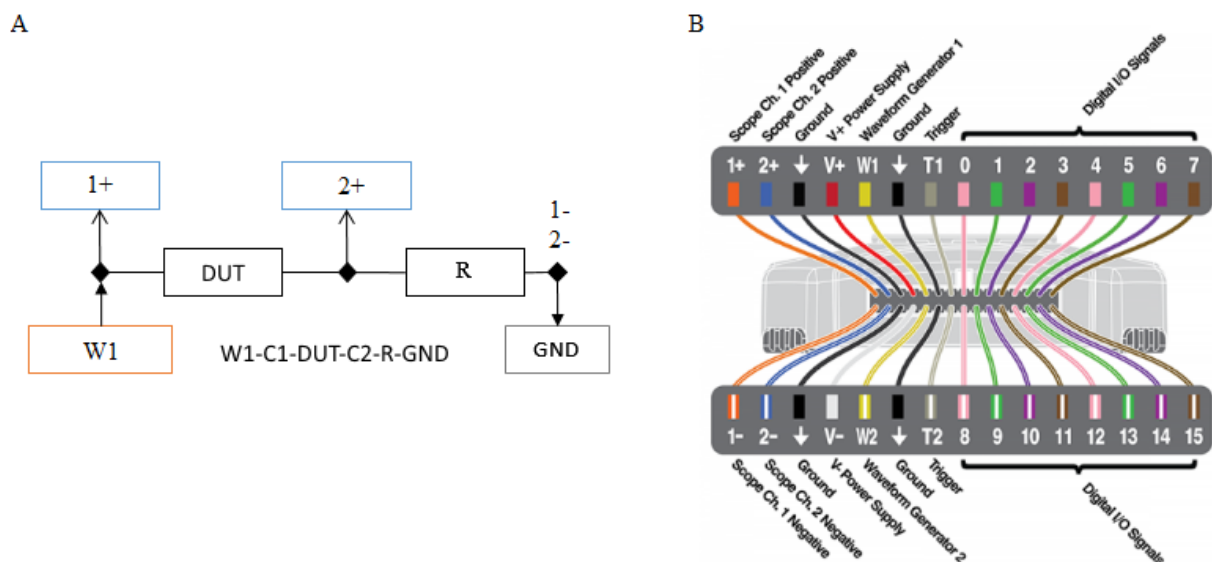


Slika 1: Sotiev most



Slika 2: Osciloskop se koristi kao indikator u mostu

3. Izmeriti kapacitivnost svih priloženih kondenzatora pomoću Sotievog mosta. Za svaku od kapacitivnosti dovesti most „u ravnotežu“ ( $U_{CD} \approx 0$ ) promenom vrednosti dekadne kapacitivnosti  $C$ .
4. Da li prikazana metoda merenjem kapacitivnosti pomoću Sotijevog mosta ima ograničenja? Objasniti odgovor.
5. Izmerene vrednosti kapacitivnosti proveriti pomoću RLC metra (*Hewlette Packard 4263B*). Pri merenju na RLC metru, meriti kapacitivnost kondenzatora i gubitke za oba pretpostavljena modela, redni i paralelni. To se postiže tako što se pri izboru parametra koji se meri (dugme **Meas Prmrtr**) biraju prvo  $C_s$  i  $R_s$  a potom  $C_p$  i  $R_p$ . Ukoliko je pretpostavka da se gubici mogu zanemariti,  $C_s$  i  $C_p$  će biti približno jednaki.
6. C1 kapacitivnost priključiti kao *Device Under Test* (DUT) na *Analog Discovery 2* uređaj prema šemi sa Sl. 3A. Šema sa Sl. 3A je unapred **POVEZANA** (otpornost  $R=1\text{ M}\Omega$ ), a potrebno je samo na označena mesta u kolu priključiti nepoznatu kapacitivnost C1. Raspored pinova (tzv. *pinout*) za *Analog Discovery 2* uređaj je prikazan na Sl. 3B. Za *Analog Discovery 2* uređaj je na računaru instaliran drajver koji preko aplikacije *Waveforms* omogućava generisanje sinusoidalnog napona (*Waveform Generator 1*, na pinu W1) i merenje dva naponska signala (jedan naponski signal  $v_1$  između 1+ i 1- pina, i drugi naponski signal  $v_2$  između 2+ i 2- pina), Sl. 3. Na osnovu merenja ova dva naponska signala i poznate otpornosti  $R$ , aplikacija *Waveforms* proračunava moduo i fazu impedanse ili admitanse, u slučaju modela serijske ili paralelne veze respektivno.



**Slika 3:** A) Konfiguracija W1-C1-DUT-C2-R-GND za merenje impedanse, B) Raspored pinova za *Analog Discovery 2* uređaj, preuzeto sa <https://atadiat.com/en/the-multi-function-instrument-analog-discovery-2-review/>

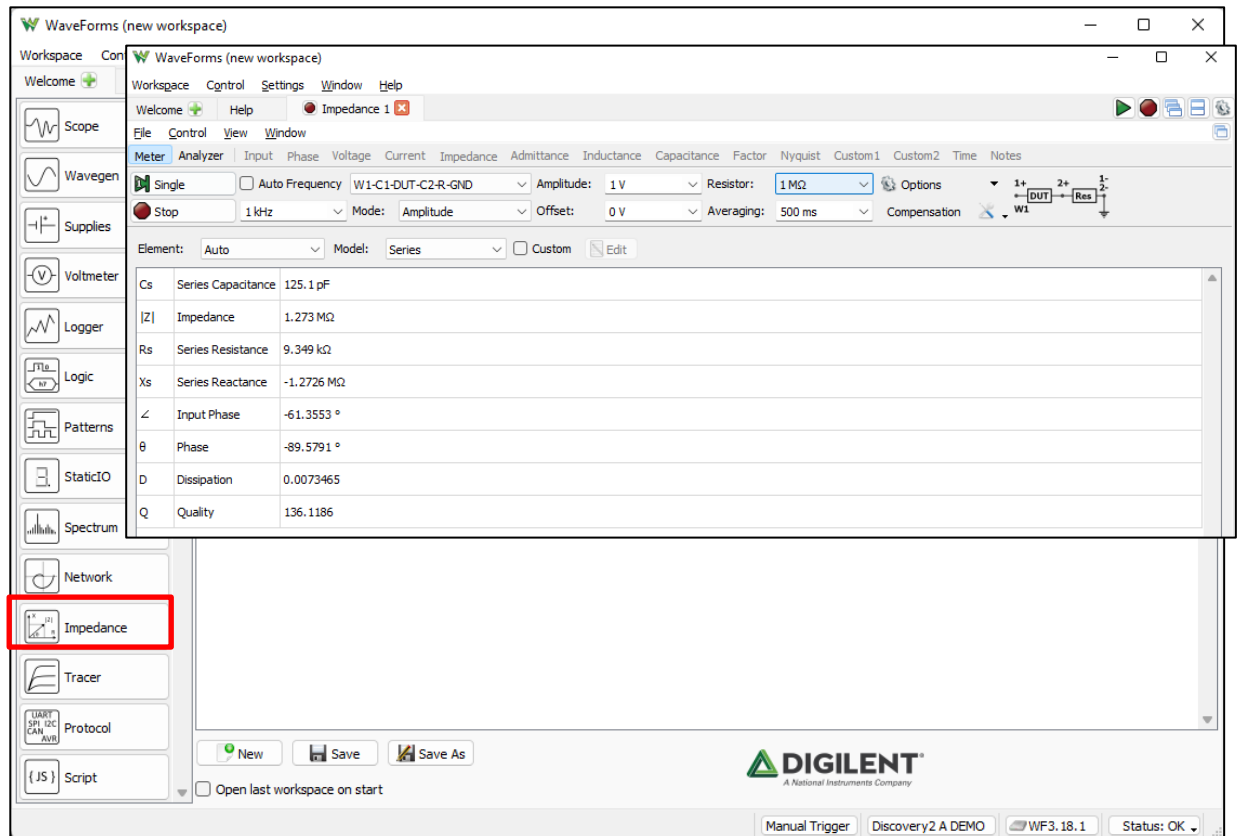
Pomoću virtuelnog instrumenta za merenje impedanse *Impedance/Meter* u okviru *Waveforms* aplikacije, Sl. 4, izmeriti nepoznatu kapacitivnost C1 (na interfejsu aplikacije podesiti konfiguraciju na W1-C1-DUT-C2-R-GND, amplitudu ulaznog sinusoidalnog napona na 1 V i frekvenciju na 1 kHz, a vrednost poznatog otpornika (*Resistor*) na  $R=1\text{ M}\Omega$ ). Očitati pokazivanja virtuelnog instrumenta i u slučaju redne i u slučaju paralelne veze (*Model: Series* ili *Parallel*), pritiskom na dugme *Run*.

Zaustaviti rad virtuelnog instrumenta (pritiskom na dugme *Stop*) i fizički na protobordu zameniti otpornik  $R=1\text{ M}\Omega$  otpornikom od  $100\ \Omega$ . Proveriti sada pokazivanje instrumenta. Zašto su sada odstupanja od pokazivanja na RLC metru veća nego u slučaju kada je bio upotrebljen otpornik od  $1\text{ M}\Omega$ ?

Pomoću virtuelnog instrumenta za merenje impedanse *Impedance/Analyzer* u okviru *Waveforms* aplikacije, prikazati frekvencijske karakteristike za  $|Z|$ ,  $|R_s|$ ,  $|X_s|$  i fazu  $\theta$  u

opsegu frekvencija od 100 Hz do 10 MHz. Na osnovu fazne karakteristike proceniti do koje učestanosti su kapacitivni efekti u modelu impedanse najizraženiji.

**Po završetku rada sa virtuelnim instrumentom, ukloniti otpornik od 100  $\Omega$  i povezati ponovo otpornik od 1 M $\Omega$  onako kako je inicijalno bio povezan.**

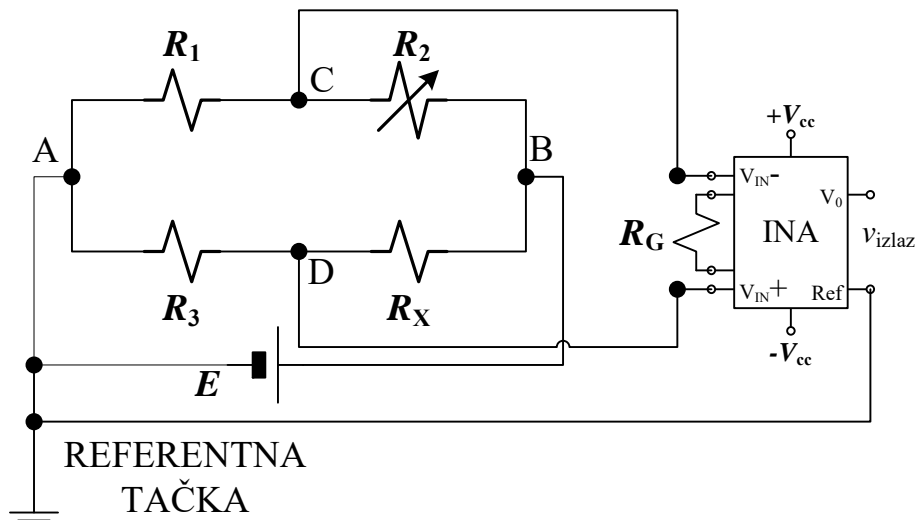


Slika 4: Waveforms aplikacija

## Zadatak 2 – merenje otpornosti u neuravnoteženom Vitstonovom mostu

**Kolo je povezano i NE TREBA ga razvezivati i ponovo povezivati, već samo uočiti karakteristične delove kola.**

1. Sagledati kako je na protobordu sastavljen Vitstonov most sa instrumentacionim pojačavačem kao izlaznim stepenom, Sl. 5.  $R_X$  je temperaturno osetljivi otpornik, NTC (*Negative Temperature Coefficient*) termistor, čija promena otpornosti se ispituje,  $R_X = R \pm \Delta R$ ,  $R = 10 \text{ k}\Omega$ .  $R_2$  je potenciometar koji služi za uravnotežavanje mosta,  $R_{2\text{max}} = 20 \text{ k}\Omega$ .  $R_1 = R_3 = R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $\pm V_{cc} = \pm 15 \text{ V}$ ,  $E = 5 \text{ V}$ .



Slika 5: Vitstonov most sa instrumentacionim pojačavačem kao izlaznim stepenom

Za neuravnotežen Vitstonov most važi:

$$u_{CD} = u_{CB} + u_{BD} = -E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + E \cdot \frac{R_X}{R_X + R_3}$$

$$u_{CD} \approx E \cdot \frac{\Delta R}{2R},$$

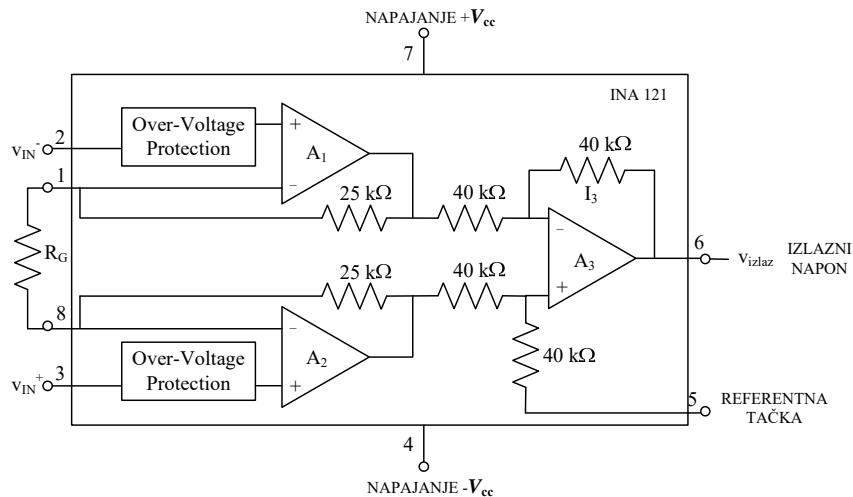
pod uslovom da je promena otpornosti  $\Delta R$  mnogo manja od nominalne otpornosti temperaturno osetljivog otpornika  $R$ .

Pomoću otpornika  $R_G = 5 \text{ k}\Omega$  je podešeno da pojačanje instrumentacionog pojačavača INA121 sa Sl. 6 iznosi:

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G} = 11,$$

Izlazni napon instrumentacionog pojačavača je:

$$v_{izlaz} = G \cdot u_{CD} \approx G \cdot E \frac{\Delta R}{2R}.$$



Slika 6: INA 121

2. Analogni ulaz NI USB A/D konvertora (**AI0** pin) je povezan tako da meri napon  $V_{izlaz}$  ( $V_{izlaz}$  na **AI0** pin, referentna tačka od INA121 na GND pin). Proveriti kako je ostatak kola povezan.
3. Pokrenuti program *Most.vi* na *Desktop*-u i izabrati tekstualnu datoteku (npr. *proba.txt* na *Desktop*-u) u koju će prikupljeni podaci biti upisivani. Ovaj program prikuplja podatke sa analognog ulaza **AI0** i prikazuje ih na monitoru zajedno sa maksimalnom i minimalnom vrednošću koje proračunava u realnom vremenu na osnovu prikupljenih odbiraka.
4. Pomoću potencijometra  $R_G$  podesiti da most bude „u ravnoteži“, tj. da napon koji se meri na kanalu **AI0** bude 0.
5. Između dva prsta uhvatiti temperaturno osetljivi otpornik. Uočiti da se napon  $V_{izlaz}$  povećava zbog porasta temperature. Na interfejsu su dostupni digitalni indikatori koji daju vrednosti za maksimalnu i minimalnu vrednost napona  $V_{izlaz}$  u poslednjih 10 s, kao i za vrednost poslednjeg prikupljenog odbirka napona  $V_{izlaz}$ . Očitati maksimalnu vrednost napona koja se dostiže pri ovakvom zagrevanju temperaturno osetljivog otpornika. Potom pustiti otpornik. Uočiti da se napon  $V_{izlaz}$  smanjuje. Za maksimalnu vrednost napona pri „zagrevanju“ otpornika odrediti odgovarajuću promenu otpornosti  $\Delta R$ .
6. Nakon izlaska iz programa *Most.vi*, otvoriti datoteku *proba.txt* u Notepad aplikaciji i pogledati njen sadržaj. Uočiti da su podaci organizovani u obliku kolone odbiraka napona  $V_{izlaz}$ . Snimljenu tekstualnu datoteku zatvoriti i obrisati.