

Ime i prezime:	Broj indeksa:	
Datum:	Broj grupe:	Overa:

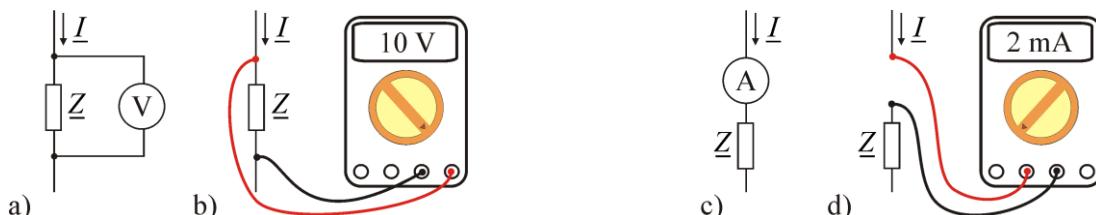
### **Prvi deo vežbe: merenje efektivnih vrednosti napona i struje**

U prvom delu vežbe univerzalni digitalni merni instrument (unimer) se koristi za merenje efektivnih vrednosti prostoperiodičnog napona i struje.

Unimer se priključuje u kolo na isti način kao i u slučaju vremenski konstantnih struja.

U kolima prostoperiodičnih struja, voltmetar meri efektivnu vrednost napona između dve tačke. Priključke voltmetra treba vezati za tačke između kojih se meri efektivna vrednost napona (slike 2.1.a, b).

U kolima prostoperiodičnih struja, ampermetar meri efektivnu vrednost struje kroz neki provodnik. Merenje struje vrši se tako što se provodnik u kome se meri struja prvo prekine, a nakon toga spoji takо da struja prolazi kroz ampermetar (slike 2.1.c i d).



Slika 2.1. a) i b) Primer vezivanja voltmetra, c) i d) primer vezivanja ampermetra.

### **Povezivanje unimera**



**Određivanje modula impedanse merenjem efektivnih vrednosti napona i struje**

Impedansa potrošača jednaka je količniku kompleksnih predstavnika napona i struje na potrošaču (za referentne smerove napona i struje označene na slici 2.2),

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}.$$

S obzirom da je kompleksni predstavnik napona  $\underline{U} = U e^{j\theta}$ , a kompleksni predstavnik struje  $\underline{I} = I e^{j\psi}$ , impedansa potrošača se može napisati kao

$$Z = \frac{U e^{j\theta}}{I e^{j\psi}} = \frac{U}{I} e^{j(\theta-\psi)} = \frac{U}{I} e^{j\varphi},$$

odakle se vidi da je argument impedanse jednak faznoj razlici napona i struje,  $\varphi = \theta - \psi$ , a moduo impedanse jednak količniku efektivnih vrednosti napona i struje,

$$Z = |\underline{Z}| = \frac{U}{I}.$$

Prema tome, merenjem efektivnih vrednosti napona i struje na potrošaču moguće je odrediti moduo impedanse potrošača.

Iz izmerenih efektivnih vrednosti napona na otporniku  $U_R$  i struje kroz otpornik  $I_R$ , s obzirom da je  $\underline{Z}_R = Z_R = R$ , može da se odredi njegova otpornost,

$$R = \frac{U_R}{I_R}.$$

Iz izmerenih efektivnih vrednosti napona na kalemu  $U_L$  i struje kroz kalem  $I_L$ , može da se odredi moduo impedanse kalema

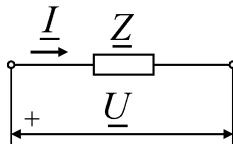
$$Z_L = \frac{U_L}{I_L}.$$

S obzirom da je

$$Z_L = |\underline{Z}_L| = |j\omega L| = \omega L,$$

gde je  $\omega = 2\pi f$  ( $\omega$  je kružna frekvencija, a  $f$  frekvencija) iz modula impedanse kalema može da se odredi njegova induktivnost,

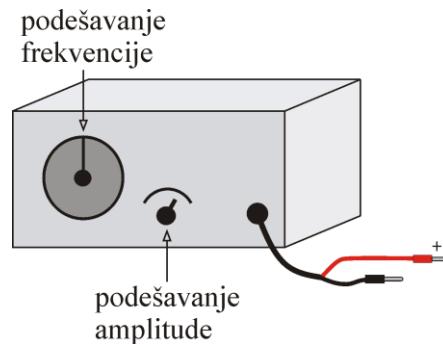
$$L = \frac{Z_L}{\omega} = \frac{Z_L}{2\pi f}.$$



**Slika 2.2. Usaglašeni referentni smerovi struje i napona na potrošaču.**

### Električno kolo

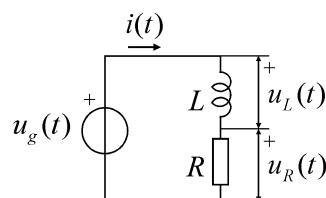
Kao izvor napajanja koristi se signal generator, čija je skica data na slici 2.3. Na slici je označen položaj dugmeta za podešavanje frekvencije i dugmeta za podešavanje amplitude. U desnom donjem uglu je prikazana sonda koja se koristi za priključivanje generatora u električno kolo.



Slika 2.3. Izgled signal generatora.

Na maketi spojiti kolo prema šemi sa slike 2.4 na sledeći način:

- pre povezivanja voditi računa da je generator isključen,
- na odgovarajući način povezati:
  - otpornik,
  - kalem,
  - otpornik  $R_g$  na maketi kratko spojiti,
  - signal generator (slika 2.3) bez njegovog uključivanja,
  - proveriti da li su svi elementi pravilno povezani.



Slika 2.4. Električno kolo.

### Upotreba unimera za merenje efektivnih vrednosti napona i struje

U slučaju vremenski promenljivih struja unimer meri efektivne vrednosti napona i struje. Oznaka na instrumentu za naizmeničnu struju je  $\sim$ .

U ovoj vežbi, kada se unimer koristi za merenje efektivne vrednosti napona preklopnik treba da se namesti na naponski merni opseg od

$20\text{ V } \sim$ .

Kada se unimer koristi za merenje efektivne vrednosti struje preklopnik treba da se namesti na merni opseg od

$200\text{ mA } \sim$ .

### Određivanje otpornosti otpornika i induktivnosti kalem

Preklopnik unimera namestite na naponski merni opseg od  $20V \sim$ . Crni provodnik postavite u COM priključak, a crveni provodnik na odgovarajuće mesto (krajnji desni priključak iznad kog se nalazi oznaka V). Priključite unimer tako da meri napon na generatoru.

Uključite generator i okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije podesite je na  $50\text{Hz}$ .

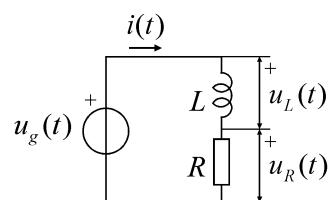
Uključite unimer. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitudu na generatoru i istovremenim očitavanjem unimera, namestite da efektivna vrednost napona generatora bude  $2\text{V}$ ,  $U_g = 2\text{V}$ . Isključite unimer i generator.

Priključite unimer tako da meri napon na otporniku. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na otporniku  $U_R$ . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.

Priključite unimer tako da meri napon na kalemu. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na kalemu  $U_L$ . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.

Preklopnik unimera namestite na strujni merni opseg od  $200\text{mA} \sim$ . Crni provodnik postavite u COM priključak, a crveni provodnik na odgovarajuće mesto (drugi priključak sa leve strane iznad kog se nalazi oznaka mA).

Priključite unimer tako da meri struju u kolu. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost struje  $I$ . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.



**Električno kolo.**

**Tabela 2.1.**

$f [\text{Hz}]$	$U_g [\text{V}]$	$U_R [\text{V}]$	$U_L [\text{V}]$	$I [\text{A}]$
50	2			

Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 2.1), izračunajte otpornost otpornika (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$R =$$

Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 2.1), izračunajte moduo impedanse kalem (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$Z_L =$$

Iz modula impedanse kalem izračunajte njegovu induktivnost (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$L =$$

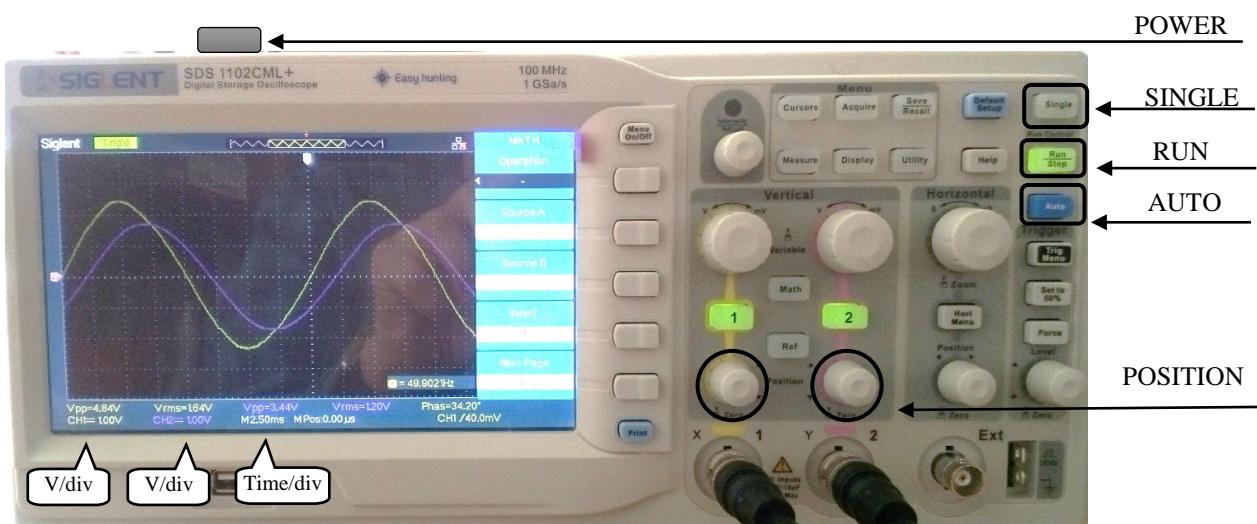
## Drugi deo vežbe – merenje napona dvokanalnim osciloskopom

U drugom delu vežbe za merenje napona koristi se dvokanalni osciloskop.

Za razliku od običnih voltmetera koji mere samo efektivnu vrednost napona, osciloskop se koristi za prikazivanje napona u zavisnosti od vremena.

### Upotreba osciloskopa

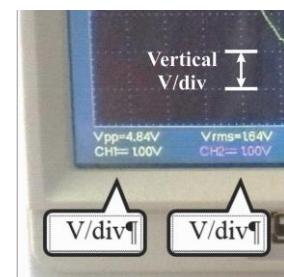
#### Digitalni osciloskop SIGLENT- SDS 1102 CML



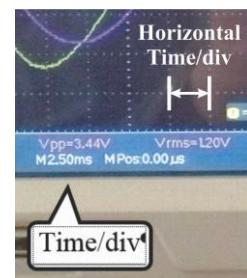
Slika 2.5. Izgled osciloskopa marke SIGLENT

### Osnovne operacije

- Priklučiti sonde.
- Uključiti osciloskop pritiskom na dugme **POWER**.
- Pritisnuti dugme **Auto**. Prikazaće se dva signala jedan ispod drugog.
- Za preklapanje signala (DC nivo 0) pritisnuti **Vertical: Position** za oba kanala.
- Pogledati vrednosti na dnu ekrana, kao što je prikazano na slici desno. Za kanale 1 i 2, u drugom redu, date su vrednosti podešavanja vertikalne ose, **V/DIV** – broj volti po podeoku. Moguće je da **V/DIV** nije isto za oba kanala. Dugmetom **Vertical: V ↔ mV** podešiti da oba kanala prikazuju 1 V/DIV (**CH1 = 1 V**, **CH2 = 1 V**).



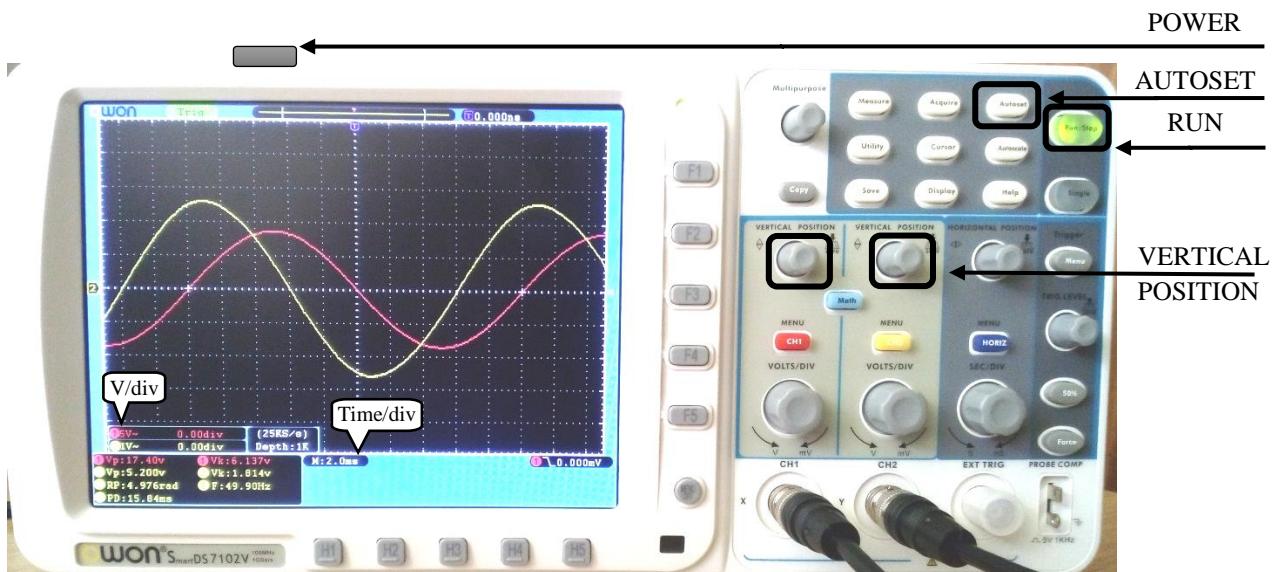
6. Na istom delu ekrana osciloskopa nalazi se i vrednost podešavanja zajedničke horizontalne, vremenske ose, **TIME/DIV** – broj sekundi po podeoku. Dugmetom **Horizontal: S ↔ nS** podesiti da se signali prikazuju sa 2,5 ms/DIV (**M 2.50 ms**).  
Za horizontalno pomeranje signala levo-desno koristi se dugme **Horizontal: Position**.



### Dodatne operacije

1. **Vertical: 1** – uključuje/isključuje prvi kanal.
2. **Vertical: 2** – uključuje/isključuje drugi kanal.
3. **Trigger: Trig Menu/Source /CH1** – sinh. na CH1 (.../Source /CH1 – sinh. na CH2).
4. **Vertical: V ↔ mV** - menja naponsku skalu (vertikalna osa) za svaki kanal pojedinačno.
5. **Vertical: Position** - pomera signal gore/dole.
6. **Horizontal: S ↔ nS** - menja vremensku skalu (horizontalna osa).
7. **Horizontal: Position** - pomera signal levo/desno.
8. **Run/Stop** – kontinualno merenje/zamrzavanje signala.
9. **Single** – Dok je uključeno ograničava osciloskop na jedno merenje. Isključuje se ponovnim pritiskom na dugme.
10. Trenutni prikaz svih parametara napona na ekranu:  
**Measure → All Mea. → Source (CH1 ili CH2) → Voltage (on/off)**
11. Trenutni prikaz svih parametara vremena na ekranu:  
**Measure → All Mea. → Source (CH1 ili CH2) → Time (on/off)**

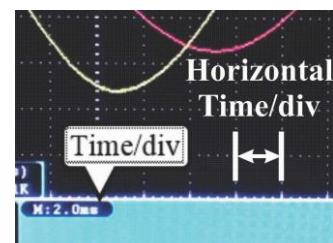
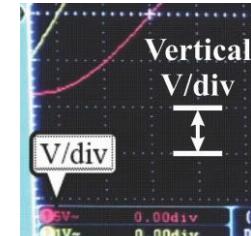
Digitalni osciloskop – Owon SDS 7102 V



Slika 2.6. Izgled osciloskopa marke Owon.

Osnovne operacije

1. Priklučiti sonde.
2. Uključiti osciloskop pritiskom na dugme **POWER**.
3. Pritisnuti dugme **Autoset**. Prikazaće se dva signala jedan ispod drugog.
4. Za preklapanje signala (DC nivo 0) pritisnuti dugme **VERTICAL POSITION** za oba kanala.
5. Pogledati vrednosti na dnu ekrana, tačno ispod signala, kao što je prikazano na slici. Za kanale 1 i 2, date su vrednosti podešavanja vertikalne ose, **V/DIV** – broj volti po podeoku. Moguće je da **V/DIV** nije isto za oba kanala. Dugmetom **VOLTS/DIV** podesiti da oba kanala prikazuju 1 V/DIV (① **1 V~**, ② **1 V~**).
6. Na istom delu ekrana osciloskopa nalazi se i vrednost podešavanja zajedničke horizontalne, vremenske ose, **TIME/DIV** – broj sekundi po podeoku. Dugmetom **SEC/DIV** podesiti da se signali prikazuju sa 2 ms/DIV (**M: 2.0 ms**). Za horizontalno pomeranje signala, koristi se dugme **Horizontal: Position**.



**Dodatne operacije**

1. **CH1, CH2** – uključuje/isključuje kanal.
2. **Trigger: Menu/Source (H2)/CH1 (F1)** – sinh. na CH1 (.../H2/F2 – sinh. na **CH2**).
3. **VOLTS/DIV** – menja naponsku skalu (vertikalna osa) za svaki kanal pojedinačno.
4. **VERTICAL POSITION** - pomera signal gore/dole.
5. **SEC/DIV** – menja vremensku skalu (horizontalna osa).
6. **HORIZONTAL POSITION** - pomera signal levo/desno.
7. **Run/Stop** – kontinualno merenje/zamrzavanje signala.
8. **Single** – jedno merenje (nakon toga zamrzava sliku).

**Save / Type (H1) → Setting / Setting (H2) → Setting 1 / Load**

9. Trenutni prikaz svih parametara odabranog kanala na ekranu:

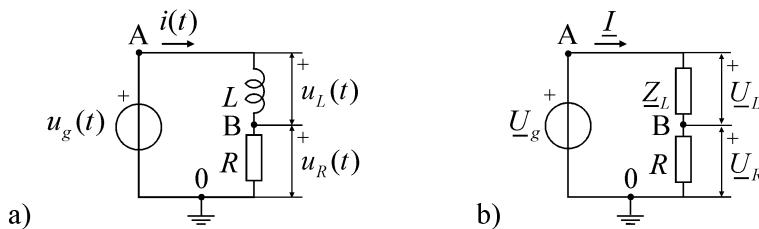
**Measure / Add (H1) / Show All**

### Promena modula impedanse i fazne razlike sa promenom frekvencije

Za drugi deo vežbe koristi se isto električno kolo kao i za prvi deo vežbe. U ovom delu vežbe, osciloskop se koristi za očitavanje amplitude napona i određivanje fazne razlike između napona generatora i napona na otporniku.

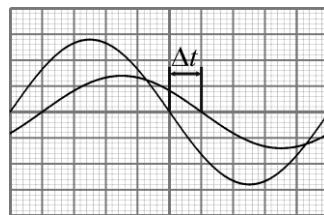
Osciloskop mora pažljivo da se priključi u kolo. Povezivanje osciloskopa se vrši uz pomoć koaksijalnog kabla - svaki kanal sa svojim kablom (sondom). Masu osciloskopa predstavlja oplet (oklop) koaksijalnog kabla i važno je da se mase obe sonde povežu u istu tačku. U protivnom, usled napona između dve mase, može da se ošteti osciloskop. Sonda osciloskopa je nastavak centralnog provodnika (to je crveni provodnik), a oplet kabla je drugi priključak – masa (to je crni provodnik).

Priklučite masu obe sondi osciloskopa (crne provodnike) u tačku koja je zajednička za generator i otpornik. Ta tačka je tačka 0 i označena je sa  $\underline{\underline{0}}$  na slici 2.6. Centralni (crveni) provodnik kanala 1 priključite na drugi kraj generatora (u tačku A). Centralni (takođe crveni) provodnik kanala 2 priključite na drugi kraj otpornika (u tačku B).



Slika 2.5. Električna šema za drugi dio vežbe sa označenom tačkom na koju se vezuju mase obe sondi  
a) u vremenskom domenu i b) u kompleksnoj notaciji.

Podesite vremensku bazu (horizontalnu osu) osciloskopa na 2 ms/DIV ili 2,5 ms/DIV, a vertikalne ose (oba kanala) na 1V/DIV. Na ekranu osciloskopa videćete vremenske oblike napona na generatoru i otporniku, kao na slici 2.7. Raspon od vrha do vrha signala (po vertikalnoj osi) odgovara vrednosti dve amplitude. Za napon generatora (veći napon) amplituda iznosi  $U_{gm} = 2,8\text{V}$ . (U prvom delu vežbe namešteno je da je efektivna vrednost napona generatora jednaka 2V, što odgovara amplitudi od  $\sqrt{2} \cdot 2\text{V} \approx 2,8\text{V}$ .)



Slika 2.6. Izgled ekrana osciloskopa pri merenju dva prostoperiodična napona.

Vremenski pomeraj  $\Delta t$  između napona možete da očitate na horizontalnoj osi osciloskopa, kao vremenski interval između prolazaka kroz nulu (slika 2.7) ili između maksimuma ovih napona. U ovom primeru ta razlika je jedan podeok koji odgovara vremenskom intervalu od  $\Delta t = 2\text{ms}$ . Fazna razlika između napona jednaka je  $\Delta\theta = \omega\Delta t$ , odnosno  $\Delta\theta = 2\pi f\Delta t$ . Prema tome, očitavanjem vremenskog pomeraja između napona  $\Delta t$  može da se odredi njihova fazna razlika  $\Delta\theta$ .

Kolo sa slike 2.6.a može da se rešava u kompleksnoj notaciji kao na slici 2.6.b. Ekvivalentna impedansa koju vidi generator jednaka je

$$Z_{\text{ekv}} = R + j\omega L = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} e^{j\arctg(\omega L/R)}.$$

Iz prethodnog izraza se vidi da su moduo i argument ekvivalentne impedanse jednaki

$$Z_{\text{ekv}} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad \varphi = \arctg(\omega L/R).$$

Kompleksna struja u kolu jednaka je količniku napona na generatoru i ekvivalentne impedanse  $\underline{I} = \underline{U}_g / Z_{\text{ekv}}$ , odnosno količniku napona na otporniku i otpornosti otpornika  $\underline{I} = \underline{U}_R / R$ , odakle se dobija  $\underline{U}_g / Z_{\text{ekv}} = \underline{U}_R / R$ , odnosno

$$\underline{U}_g / \underline{U}_R = Z_{\text{ekv}} / R.$$

Neka je  $\underline{U}_g = U_g e^{j\theta_g}$  i  $\underline{U}_R = U_R e^{j\theta_R}$ . Leva i desna strana prethodne jednačine mogu da se napišu kao

$$\frac{\underline{U}_g}{\underline{U}_R} = \frac{U_g}{U_R} e^{j(\theta_g - \theta_R)} = \frac{U_g}{U_R} e^{j\Delta\theta} \quad \text{i} \quad \frac{Z_{\text{ekv}}}{R} = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{R} e^{j\arctg(\omega L/R)}.$$

Dva kompleksna broja su jednaka ako su im jednaki i moduli i argumenti. Kako je amplituda prostoperiodične veličine  $\sqrt{2}$  puta veća od njene efektivne vrednosti,  $U_{Rm} = \sqrt{2}U_R$  i  $U_{gm} = \sqrt{2}U_g$ , sledi da se amplitude napona odnose isto kao efektivne vrednosti, tj.  $U_{Rm}/U_{gm} = U_R/U_g$ . Na osnovu prethodnog dobija se

$$U_{Rm} = U_{gm} \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \Delta\theta = \arctg(\omega L/R).$$

Za određivanje računatih vrednosti koristite vrednosti određene u prvom delu vežbe:

$$R =$$

$$L =$$

$$U_{gm} = 2,8 \text{ V}.$$

Frekvencija se bira okretanjem dugmeta na generatoru. Vrednost  $\Delta t$  je vremenski pomeraj između napona generatora i napona na otporniku (slika 2.7) i potrebno ga je očitati na osciloskopu. Vremenski pomeraj  $\Delta t$  između napona odgovara faznoj razlici  $\Delta\theta = \omega\Delta t$ , odnosno  $\Delta\theta = 2\pi f \Delta t$ . Ako želite da  $\Delta\theta$  izrazite u stepenima, tada je u prethodnom izrazu potrebno  $2\pi$  zameniti sa  $360^\circ$ , tj.  $\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$ .

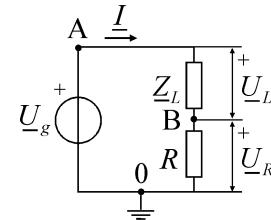
Tabela 2.2.

	računate vrednosti					očitane vrednosti		
$f$ [Hz]	$\omega L$ [ $\Omega$ ]	$Z_{\text{ekv}}$ [ $\Omega$ ]	$U_{Rm}$ [V]	$\Delta\theta$ [ $^\circ$ ]	$U_{Rm}$ [V]	$\Delta t$ [s]	$\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$	
50								
150								

Primetite da se impedansa kalema povećava sa povećanjem frekvencije. Zbog toga su se sa povećanjem frekvencije povećale i ekvivalentna impedansa i fazna razlika između napona.

Crtanje vremenskih oblika napona na generatoru i otporniku

Za ovaj deo vežbe koristi se kolo prikazano na slici 2.5. Okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije na generatoru podesite frekvenciju na 50Hz. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitude na generatoru i istovremenim očitavanjem osciloskopa, namestite da maksimalna vrednost napona generatora bude 2,8V,  $U_{gm} = 2,8\text{V}$ .



Očitajte amplitudu napona generatora  $U_{gm}$  i izračunajte njegovu efektivnu vrednost  $U_g$ ,

$$U_{gm} = 2,8\text{V} \quad U_g =$$

Očitajte amplitudu napona na otporniku  $U_{Rm}$  i izračunajte njegovu efektivnu vrednost  $U_R$ ,

$$U_{Rm} = \quad U_R =$$

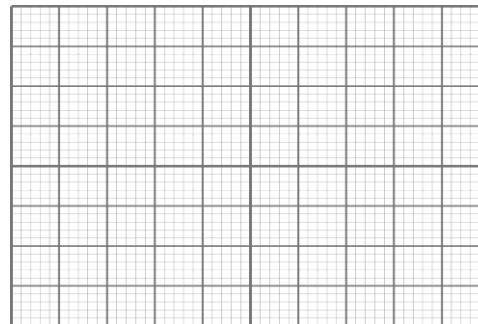
Odredite periodu  $T =$

Očitajte vremenski pomeraj između napona  $\Delta t =$

Odredite (u stepenima) faznu razliku između napona generatora i napona na otporniku:

$$\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t =$$

Nacrtajte vremenske oblike napona na generatoru  $u_g(t)$  (kanal 1 osciloskopa) i napona na otporniku  $u_R(t)$  (kanal 2 osciloskopa).

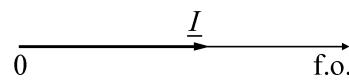


Nacrtajte fazorski dijagram svih napona ( $U_g$ ,  $U_R$  i  $U_L = U_g - U_R$ ) i struje u kolu ( $I$ ), pretpostavljajući da je početna faza struje jednaka 0.

Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona generatora i napona na kalemu:

Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona generatora i struje generatora:

$$\varphi =$$



Rešavanjem zadatog kola, za faznu razliku između napona i struje generatora biste dobili (za računanje koristite vrednosti  $R$  i  $L$  određene u prvom delu vežbe):

$$\varphi = \arctg(\omega L / R) =$$

Uporedite dobijene vrednosti fazne razlike između napona i struje generatora: