

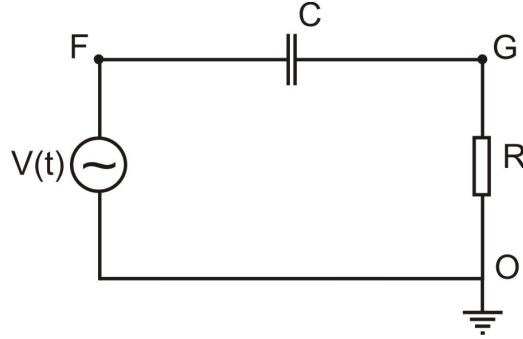
FP1–V4. Osciloskop i RC-krug

Ključni pojmovi

Osciloskop, RC-krug, period, amplituda, fazni pomak

I. TEORIJSKI UVOD

RC-sklop u krugu s izmjeničnom strujom



Slika 1: Shema za RC-sklop u krugu s izmjeničnim naponom.

Razmotrimo odnose električnih veličina u RC-sklopu s izmjeničnom strujom (Slika 1). Budući da u krugu nema čvorova, prema prvom Kirchoffovu pravilu kroz sve elemente strujnog kruga teče ista struja. Neka je vremenska ovisnost struje dana izrazom $I(t) = I_0 \cos \omega t$. Time smo u stvari odabrali vremensko ishodište tako da je struja u $t = 0$ maksimalna. Za međusobne odnose napona primjenjujemo drugo Kirchoffovo pravilo:

$$V(t) - V_C(t) - V_R(t) = 0 \quad (1)$$

Poznato je da je napon na krajevima otpornika u fazi sa strujom, a da napon na krajevima kondenzatora kasni u fazi za $\pi/2$:

$$V_R(t) = I_0 R \cos \omega t \quad (2)$$

$$V_C(t) = \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{I_0}{\omega C} \sin \omega t \quad (3)$$

Prema tome, napon izvora će kasniti za strujom za neki fazni pomak ϕ koji trebamo odrediti:

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t - \phi) \quad (4)$$

Korištenjem dosadašnjih jednadžbi i upotrebom trigonometrijskih izraza za sinus i kosinus razlike kutova dobivamo:

$$(V_0 \cos \phi - I_0 R) \cos \omega t + \left(V_0 \sin \phi - \frac{I_0}{\omega C} \right) \sin \omega t = 0 \quad (5)$$

Da bi prethodna jednadžba bila zadovoljena u svakom trenutku, moraju se izjednačiti koeficijenti uz $\sin \omega t$ i $\cos \omega t$ s nulom. Lako je pokazati da će taj uvjet biti zadovoljen stavimo li:

$$\operatorname{ctg} \phi = \omega RC \quad (6)$$

pa vidimo da je fazno kašnjenje određeno frekvencijom izvora i parametrima danog RC-sklopa.

II. MJERNI POSTAV I MJERENJE

Mjerni sklop, prikazan na Slici 2, sastoji se od izvora izmjeničnog napona, otpornika, kondenzatora i osciloskopa. Priključnice na izvoru i osciloskopu su koaksijalne BNC utičnice. Njihov vanjski vodič u kontaktu je s kućištem koje je uzemljeno (Slika 3).



Slika 2: Mjerni postav. Desno je prikazan alternativni izvor izmjeničnog napona.



Slika 3: BNC utičnica, BNC utikač i BNC razdjelnik.

Koaksijalni kabel ima dva vodiča. Oko središnjeg vodiča ovijen je sloj izolatora, a oko njega drugi vodič u obliku pletene mrežice. Sve skupa ovijeno je zaštitnom izolacijom (Slika 4). Kod koaksijalnog kabela vanjski vodič od pletene mrežice spojen je s oklopom utikača pa je time i uzemljen.



Slika 4: Struktura koaksijalnog kabela.



Slika 5: Koaksijalni kabel s razdvojenim vodičima u "banana" utikače. Vanjski (uzemljeni) vodič je spojen na crni utikač.

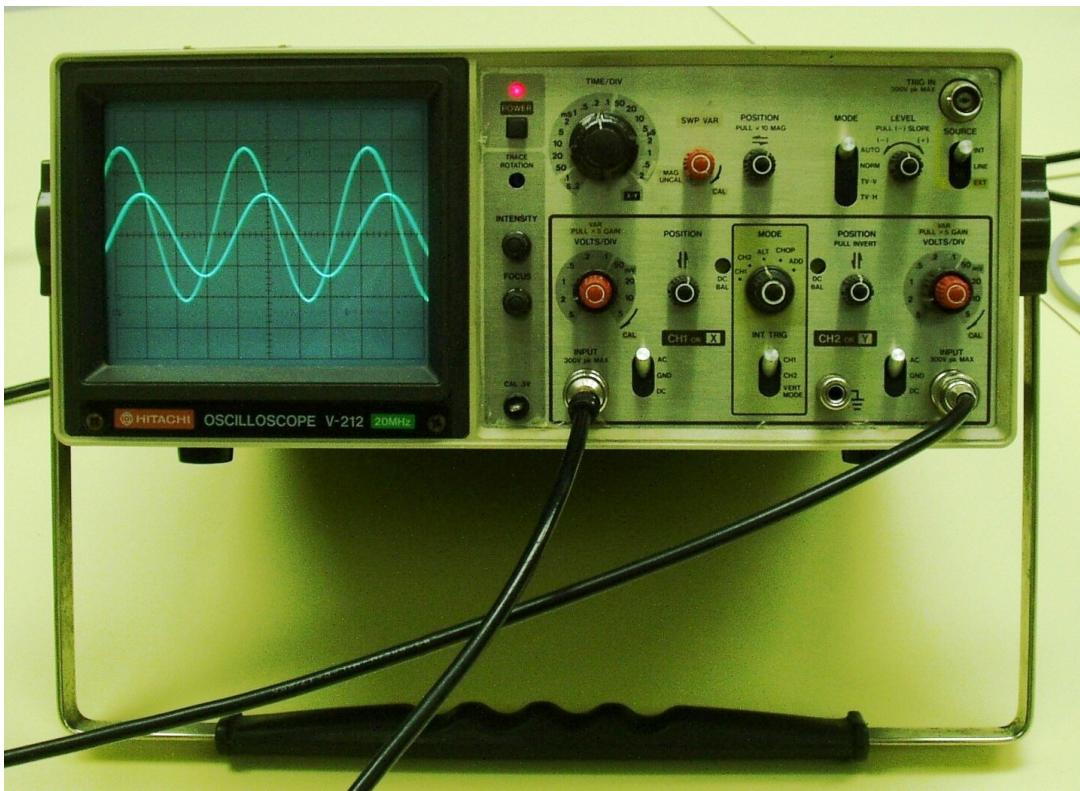
Pri spajanju sklopa treba paziti da u strujnom krugu bude samo jedna točka uzemljenja. Izvor signala ima uzemljen vanjski dio koaksijalnog priključka, a isto vrijedi i za osciloskop. Stoga sklop na Slici 1 treba sastaviti tako da pri promatranju napona na osciloskopu ta dva uzemljenja budu u istoj točki strujnoga kruga.

Pažnja! Pazite da zabunom ne spojite uzemljeni vod iz osciloskopa na točku F. Naime, točka O je već uzemljena na izvoru signala pa bi uzemljivanje još i točke F značilo kratak spoj izvora, čime ga se može uništiti.

Sklopom na Slici 1 možemo mjeriti napon $V_R(t)$ između točaka G i O te ukupni napon $V(t)$ između točaka F i O. Međutim, nije moguće mjeriti napon između točaka F i G jer bi se tada uzemljenje osciloskopa prenijelo na točku G. Time bi se strujni krug reducirao jer bi iz njega bio isključen otpornik R , a time se promijeni i prvotni napon između točaka F i G.

Mjerni uređaj: Osciloskop

Osciloskop je mjerni uređaj velikog unutarnjeg otpora pa se kao i voltmetar priključuje u paralelu sa elementom strujnog kruga na čijim krajevima želimo izmjeriti razliku potencijala, odnosno napon. Zbog velikog otpora osciloskop će povući zanemarivo malu struju tako da će kroz dani element prolaziti gotovo ista struja kao i prije priključivanja osciloskopa. Drugim riječima, odnosi struja i napona u strujnom krugu se ne mijenjaju.



Slika 6: Osciloskop.

Za razliku od voltmetra, koji pokazuje samo efektivnu vrijednost izmjereničnog napona, na ekrantu osciloskopa prikazuje se vremenska ovisnost napona koji smo doveli na priključnicu¹ osciloskopa. Mnogi osciloskopi imaju dvije priključnice za ulazne signale označene sa CH1 (kanal 1) i CH2 (kanal 2)². Oko svake priključnice nalaze se preklopnice (VOLT/DIV) za podešavanje vertikalne osi i potenciometri označeni sa POSITION pomoću kojih se slika pomiče duž vertikalne osi. Između se nalazi preklopnik MODE kojim odabiremo hoćemo li promatrati kanal 1 (CH1), kanal 2 (CH2) ili oba kanala istovremeno (DUAL ili ALT). U posljednjem slučaju, signali kanala 1 i 2 se prikazuju naizmjenično, ali ih zbog tromosti oka vidimo istovremeno. Postoji i mogućnost prikazivanja signala koji je jednak zbroju signala kanala 1 i 2 koja se odabire postavljanjem preklopnika MODE u položaj označen s ADD. Neki osciloskopi imaju i preklopnik CH2 INV koji omogućuje prikazivanje signala koji je inverzan ulaznom signalu na kanalu 2.

¹ Signal dovodimo koaksijalnim kabelom na osciloskop. Koaksijalni kabel sadrži dva vodiča, međusobno odvojena izolatorom, pa zato koristimo jednu priključnicu. Oko središnjeg vodiča je ovijen sloj izolatora, a oko izolatora drugi vodič u obliku pletene mrežice. Vanjski vodič se priključivanjem na osciloskop automatski uzemljuje.

² U nekim modelima obje priključnice označene su s INPUT.

Baždarenje

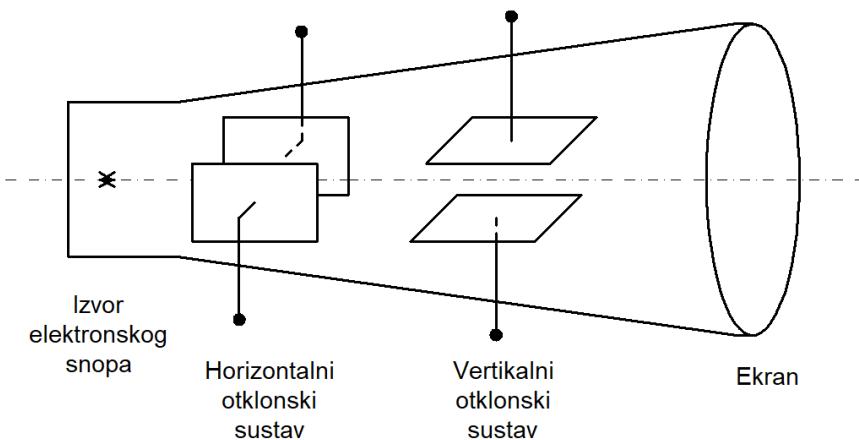
Kao što smo već spomenuli, na ekranu se prikazuje vremenska ovisnost napona koji dovodimo na priključnicu kanala 1 ili 2. Dakle, na horizontalnoj osi je vrijeme, a na vertikalnoj trenutna vrijednost napona. Na ekranu je označena podjela osi, pa se baždarenje svodi na jedinicu podjele.

Horizontalna os baždari se u jedinicama vrijeme/podjeljak pomoću preklopnika TIME/DIV. Npr. kada je preklopnik TIME/DIV na položaju označenom s 2 ms, onda pomak od jednog podjeljka na horizontalnoj osi znači pomak od 2 ms. Ljestvica horizontalne osi (tj. vremenska baza) može se mijenjati za nekoliko redova veličine postavljajući preklopnik TIME/DIV u različite položaje. Osim toga, vremensku ljestvicu moguće je i kontinuirano mijenjati pomoću potenciometra (u nekim modelima je crvene boje) označenog sa SWP VAR koji se nalazi kraj preklopnika TIME/DIV. Samo kada se taj potenciometar nalazi u krajnjem položaju (oznaka CAL, eng. calibrated, u nekim modelima čuje se i klik), vremenska ljestvica odgovara onoj postavljenoj pomoću preklopnika TIME/DIV. Pored preklopnika TIME/DIV nalazi se i potenciometar POSITION za namještanje horizontalnog položaja slike.

Vertikalna os baždari se u jedinicama volt/podjeljak pomoću preklopnika VOLT/DIV. Pokraj svake priključnice za signal koji želimo promatrati nalazi se i odgovarajući VOLT/DIV preklopnik tako da se ljestvice vertikalne osi (tj. osjetljivosti) mogu neovisno mijenjati za svaki kanal. Kontinuirano mijenjanje osjetljivosti omogućuje potenciometar (u nekim modelima osciloskopa je crvene boje) označen s VAR koji se nalazi u središtu odgovarajućeg preklopnika. Kada se promatra signal nepoznate amplitude, treba početi s najmanjom osjetljivošću pa je postupno povećavati dok se ne dobije prikladna slika. Samo u krajnjem položaju potenciometra (oznaka CAL, u nekim modelima čuje se klik), osjetljivost odgovara oznaci koju pokazuje preklopnik VOLT/DIV.

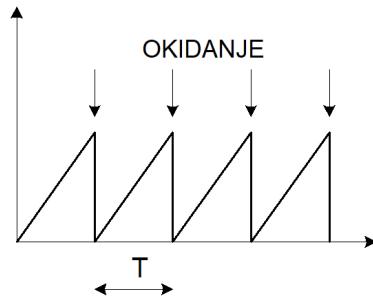
Dobivanje slike; horizontalni i vertikalni otklonski sustav

Osnovni dio svakog osciloskopa je katodna cijev (Slika 7) čiji su glavni dijelovi: dio za dobivanje elektronskog snopa te vertikalne i horizontalne otklonske pločice pomoću kojih se upravlja putanjom tog snopa³. Elektroni padaju na posebno napravljen zaslon katodne cijevi i na mjestu udara ostaje svjetlucav trag. Za "šetnju" svjetlucavog traga po ekranu tj. nastanak slike odgovorni su otklonski sustavi. Horizontalni i vertikalni sustav su vertikalno (paralelno s y -osi), odnosno horizontalno (paralelno s x -osi) postavljene pločice kapacitora na koje dovodimo napon. U prvom slučaju je električno polje, a time i sila, usmjerena duž x -osi, a u drugom je paralelno s y -osi. Kada na pločicama nema napona, na sredini ekrana bismo trebali vidjeti samo jednu svijetleću točku jer elektroni uvijek udaraju na isto mjesto na ekranu. Priključivanjem napona na oba sustava pločica, postiže se otklon snopa duž x -osi (horizontalni otklonski sustav, vertikalne pločice), odnosno y -osi (vertikalni otklonski sustav, horizontalne pločice). U osciloskopu se na vertikalni otklonski sustav dovodi signal koji želimo promatrati na ekranu, a na horizontalni otklonski sustav, tj. horizontalne pločice je priključen napon vremenske baze čiji je osnovni oblik tzv. pilasti napon prikazan na Slici 8. Za prikazivanje periodičnih signala koriste se tzv. samostalne vremenske baze pri čemu jedino mora vrijediti $T_{\text{baza}} = nT_{\text{signal}}$. Za prikazivanje neperiodičnih signala, samostalnom vremenskom bazom ne možemo postići mirnu sliku, pa koristimo nesamostalnu čija frekvencija tj. period ovisi o signalu. Tijekom rada u praktikumu, promatrati ćemo samo periodične signale.



Slika 7: Katodna cijev osciloskopa.

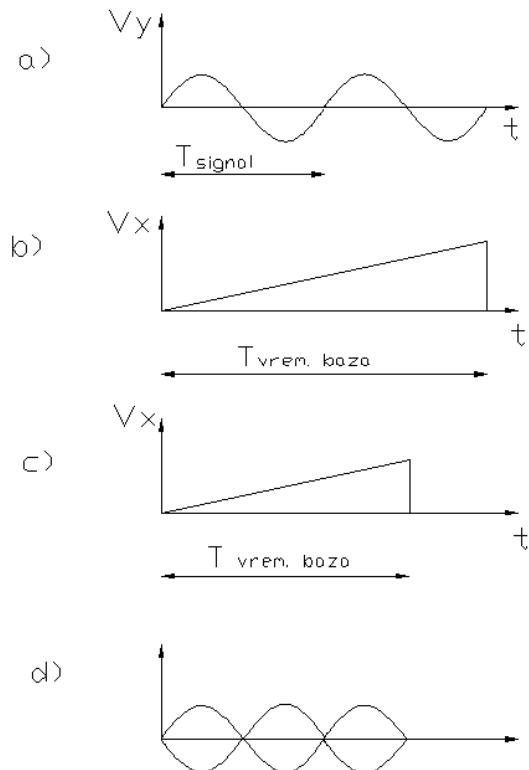
³ Potrebno se prisjetiti djelovanja električnog polja na nabijenu česticu. Električno polje djeluje na česticu naboja q silom $\vec{F} = q\vec{E}$. Zbog toga naboja, ovisno o smjeru vektora električne sile, ubrzava ili usporava te mijenja smjer gibanja (osim, naravno, u slučaju kada je sila paralelna sa smjerom gibanja naboja). Kut otklona od početnog pravca gibanja je proporcionalan jakosti električnog polja koje je djelovalo na naboju.



Slika 8: Pilasti napon.

Okidanje

Da bismo imali mirnu, stabilnu sliku na ekranu, početak vremenske baze mora uvijek odgovarati istoj točki promatranog signala. To se postiže sustavom za okidanje (*eng. trigger*). Okidanje (pad napona vremenske baze na nulu) se najčešće obavlja pomoću samog signala koji se promatra. Tada je preklopnik za određivanje signala za okidanje (TRIGGER SOURCE) u položaju označenom sa INT (*eng. internal*). Neki osciloskopi imaju mogućnost biranja hoće li se okidati signalom sa kanala 1 ili kanala 2, pa su umjesto INT dvije mogućnosti: CH1 i CH2. Ako želimo koristiti neki drugi signal za okidanje, onda ga priključujemo na priključnicu označenu s TRIG IN (*eng. trigger input*), a preklopnik za TRIGGER SOURCE postavimo na EXT (*eng. external*). Spomenuti preklopnik ima i treći položaj označen s LINE. U tom slučaju se za okidanje koristi signal gradske mreže frekvencije 50 Hz. Stabilnost okidanja ostvaruje se odabirom odgovarajućeg nivoa signala kojim se okida (TRIGGER LEVEL) te nagiba (SLOPE). Potenciometrom TRIGGER LEVEL biramo točku od koje počinje prikazivanje signala na ekranu, a pomoću tipke SLOPE se bira predznak nagiba, tj. hoće li na danom nivou napon vremenske baze biti okinut kad ulazni signal raste ili pada. U nekim osciloskopima se nivo i nagib okidanja podešavaju jednim, zajedničkim potenciometrom. U okviru komandi za okidanje nalazi se i preklopnik MODE. Upravo opisani način okidanja je normalni način rada osciloskopa (preklopnik MODE je u položaju NORM). Ako je nivo signala za okidanje premalena (brzo okidanje), na ekranu nećemo moći vidjeti sliku. Stoga je ponekad potrebno upotrijebiti automatsko okidanje (preklopnik MODE je u položaju AUTO) koje nam daje kontinuiranu, ali ne i stabilnu sliku. Neki osciloskopi imaju još neke dodatne načine rada u čije pojedinosti nećemo ulaziti. Na Slici 9b i 9c prikazano je dobro i loše okinuta vremenska baza u slučaju kada se želi promatrati periodični signal prikazan na Slici 9a. Slika 9d prikazuje sliku koja se dobiva upotrebom vremenske baze na Slici 9c.



Slika 9: a) Signal; b) dobro okinuta vremenska baza; c) loše okinuta vremenska baza; d) slika signala uz vremensku bazu sa c).

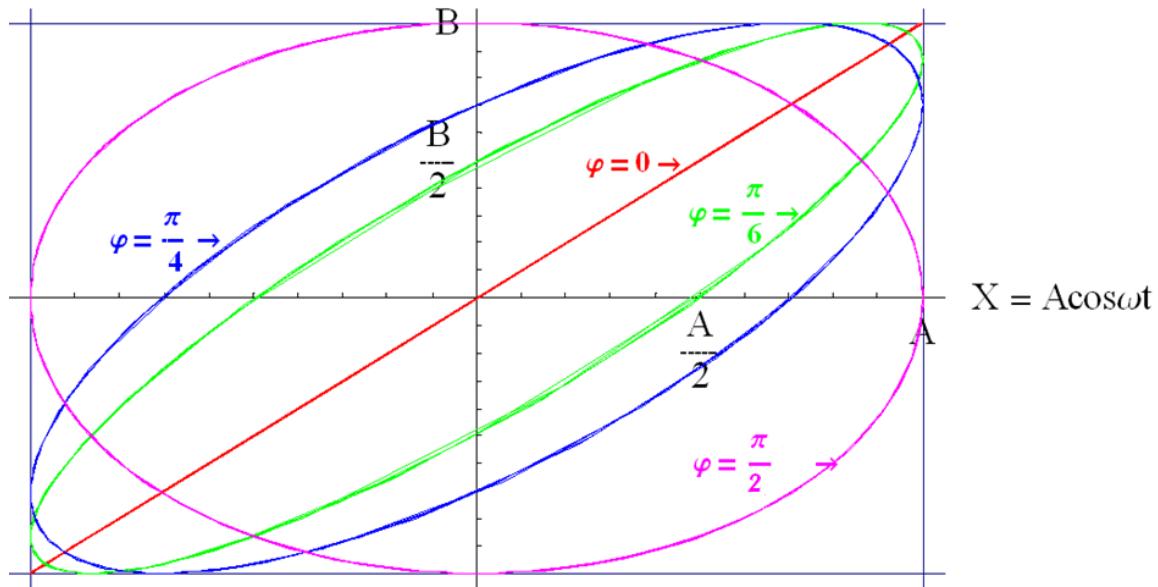
Sprega (eng. coupling)

Ulazni signal se na vertikalni otklonski sustav dovodi direktno ili preko kapacitora. Prvi slučaj odgovara položaju preklopnika označenom s DC i tada se cijeli signal prikazuje na ekranu. Kada je preklopnik u položaju označenom s AC, signal se dovodi preko kapacitora i kao rezultat ćemo vidjeti samo izmjeničnu komponentu signala. Trećim položajem, označenim s GND, se obično koristimo kada želimo namjestiti vertikalni položaj slike na ekranu (POSITION). Tada umjesto dovođenja promatranog signala, horizontalne pločice uzemljujemo. Isprobajte i uvjerite se da u tom slučaju dobivate ravnu horizontalnu crtu na ekranu.

XY-prikaz

Kada je preklopnik TIME/DIV u krajnjem položaju označenom s XY, na horizontalni, odnosno vertikalni otklonski sustav dovode se signali s kanala 1, odnosno kanala 2. Dakle jedan signal određuje pomicanje svjetlećeg traga na ekranu duž vertikalne (Y), a drugi duž horizontalne (X) osi. Uz pretpostavku periodičnih signala kosinusnog oblika, međusobno pomaknutih u fazi za φ , na ekranu se dobiva slika prikazana na Slici 10. Uvjerite se sami da krivulje sijeku vertikalnu os u točkama $(0, \pm B \sin \varphi)$.

$$Y = B \cos(\omega t + \varphi)$$



Slika 10: XY-prikaz.

Važna osobina svakog osciloskopa je maksimalna frekvencija signala koji se može prikazati na ekranu. U pravilu se ta frekvencija navodi uz oznaku modela na prednjoj ploči osciloskopa. Cijene osciloskopa znatno rastu s tom maksimalnom frekvencijom.



Slika 11: Upravljačke ploče dvaju osciloskopa u praktikumu.

Zadaci

1. Upoznajte se s funkcijama osciloskopa i uvježbajte prikaz raznih signala.
2. Sastavite serijski RC-spoj i promatrajte istodobno napon izvora i napon na krajevima otpornika. Sami pronadite optimalnu frekvenciju za pouzdano određivanje faznog pomaka (npr. 5 kHz). Osciloskopom izmjerite period, amplitudu napona te njihov fazni pomak. Pogledajte XY-prikaz signala.
3. Izaberite i izradite jedan od zadataka:
 - A) Za optimalno izabranu frekvenciju signala, mjerenjem faznog pomaka iz relacije (6) izračunajte eksperimentalnu vrijednost konstante $\tau = RC$. Zatim odredite kapacitet C kondenzatora sljedećim metodama (poseban naglasak mora biti na izračunu nepouzdanosti u svakom od slučajeva):
 - a) Mjeranjem impedancije kondenzatora $Z_C = 1/\omega C$ izravnim očitanjem napona i struje kroz kondenzator.
 - b) Mjeranjem impedancije $Z_{RC} = \sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}$ čitavoga RC-sklopa izravnim očitanjem napona i struje kroz njega. C izračunajte iz upravo izmjerena Z_{RC} i ranije određene konstante τ .
 - c) Dodatnim izravnim mjeranjem otpora R otpornika u krugu. C izračunajte koriteći mjerene vrijednosti R i Z_{RC} .
 - d) Konačno, izračunajte C koristeći mjerene R i τ .

Kod mjeranja napona i struja u svrhu određivanja svih pojedinih impedancija, svako očitanje napona/struje ponovite 5 puta kako biste mjerenim veličinama pripisali eksperimentalnu nepouzdanost. Konačno, izračunajte **poopćeni prosjek** svih četiriju izračunatih vrijednosti kapaciteta C .
 - B) Za male frekvencije funkcija arkus kotangens kojom bismo odredili fazu iz relacije (6) može se aproksimirati (zadržavanjem prvih članova iz razvoja u red) kao:

$$\phi = \text{arcctg}(\omega RC) \approx \frac{\pi}{2} - \omega RC \quad (7)$$

Mijenjajte frekvenciju izvora i na osciloskopu očitavajte fazni pomak ϕ te odmah iscrtavajte točke u $\omega - \phi$ grafu. Za sada fazu možete grubo isčitavati jer nas samo zanima iz ovog grafa naoko identificirati frekventno područje u kojem vrijedi linearizacija iz (7). Jednom kad ste odredili maksimalnu frekvenciju do koje vrijedi linearna aproksimacija, unutar tog područja za desetak različitih frekvencija provedite finije isčitavanje faze ϕ te metodom najmanjih kvadrata odredite vrijednost konstante $\tau = RC$.