

Vahelduvvoolu demokatse Füüsika ja tehnika loengul 19.05.2017

Esmalt mõisted:

Faasinihe φ on nurk, mis kirjeldab viivist kahe suuruse vahel. Faasinihe on sama suur osa täispöördest, kui suure osa võnkeperioodist moodustab ajaline nihe nende suuruste mingite kindlate seisundite (näiteks maksimumide) vahel. Vahelduvvoolu peamine erinevus alalisvoolust seisneb selles, et pinge ja voolutugevus reeglina ei saavuta vahelduvvooluahelas mingeid kindlaid seisundeid üheaegselt. Üks neist saavutab selle seisundi varem (on *faasis ees*) ja teine saavutab hiljem (on esimesest *faasis taga*).

Aktiivtakistus R on kasuliku töö tegemisega seotud takistus vahelduvvooluahelas. Aktiivtakistust põhjustavad need jõud, mille vastu elektrivool tööd teeb. Aktiivtakistus on enamasti seesama takistus, mis on olemas ka alalisvoolu korral.

Induktiivtakistus X_L on takistus, mida avaldab vahelduvvoolule nurk- või ringsagedusega ω seade induktiivsusega L . Voolu muutumisel hakkab induktor endainduktsiooni tõttu toimima vooluallikana, mis takistab voolu muutust. Kehtib seos $X_L = \omega L$.

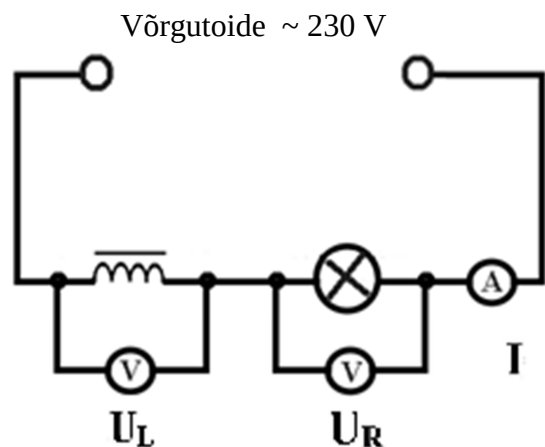
Mahtuvustakistus (tähis X_C) on takistus, mida avaldab vahelduvvoolule kondensaator mahtuvusega C . Laadimise käigus hakkab kondensaator toimima vooluallikana, mis takistab laadimist. Kehtib seos $X_C = 1 / (\omega C)$.

Faasor (*phasor*) on vektor, mis pöörleb ümber oma alguspunkti nurkkiirusega ω , mistõttu tema projektsioon mingile teljele muutub sõltuvalt faasinurgast ωt siinus- või koosinusseaduse järgi. Vahelduvvoolu korral on voolu või pinge faasorite projektsioonideks hetkväärtused $i = I_m \cos \omega t$ või $u = U_m \cos (\omega t + \varphi)$. Faasorite pikkusteks on voolutugevuse või pinge amplituudväärtused (I_m või U_m), nurk φ faasorite vahel on nende suuruste vahelise faasinihe rollis. Faasorid võimaldavad graafiliselt kirjeldada kõigi muutuvate suuruste koostoimet mistahes ajahetkel, kuna faasorite pikkused ja omavahelised nurgad ajas ei muutu (kõik faasorid pöörlevad ühtemoodi). Faasor osutub komplekstasandil pinget või voolutugevust määravaks vektoriks.

a) Kaks ühesugust 100 W nimivõimsusega hõõglampi jadamisi. Sama skeem nagu juhul (b), ainult induktori asemel on esialgu teine lamp.

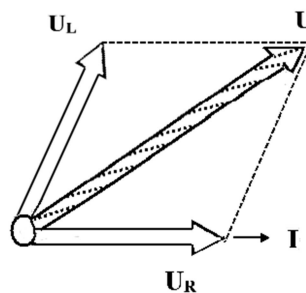
Mõõtmistulemused: pinge kummalgi hõõglambil $U_R = 115$ V, kahe pinge summa 230 V, mis võrdub toitepingega. Voolutugevus $I = 0,31$ A, ühe lambi takistus $R = 115$ V / 0,31 A = 371 Ω . Kummalgi lambil eraldub võimsus $P = 115$ V · 0,31 A $\approx$ 37 W. Kõik toodud väärtused on efektiivväärtused.

b) Muudetava õhuvahega induktor (takistus alalisvoolule 1,5 Ω , mõõdetud testri kui oommeetriga) ja 100 W nimivõimsusega hõõglamp jadamisi:



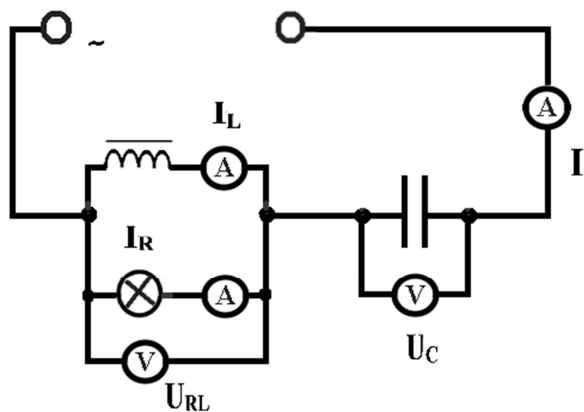
Mõõtmistulemused: pinge induktoril $U_L = 142$ V, pinge hõõglambil $U_R = 142$ V, nende summa 284 V, mis ei võrdu toitepingega 230 V. $I = 0,34$ A, seega nii lambi kui induktori takistus on 142 V / 0,34 A = 418 Ω . Muuseas näeme, et pingete faasorid ei allu Pythagorase teoreemile: $\sqrt{142^2 + 142^2} = 201 \neq 230$.

Järeldus: pingete faasorid (pikkustega $\sqrt{2}$ korda U_L ja U_R) ei ole ei paralleelsed (alalisvoolu olukord) ega ka risti (ideaalse induktori juhtum). Nende vahel on mingi täisnurgast väiksem nurk, sest pingel U_L on olemas mitte ainult voolu faasoriga (vektoriga I) ristuv komponent vaid ka sellega paralleelne komponent:



NB! Eksamiülesandes vaatleme ideaalset induktorit, mille korral pinge U_L faasor **on** voolu faasori suhtes täisnurga all. Pinge U_L on voolust faasis 90 kraadi ($\pi/2$ radiaani) võrra ees.

c) Induktor ja hõõglamp rööbiti, nendega jadamisi $8\ \mu\text{F}$ mahtuvusega kondensaator:



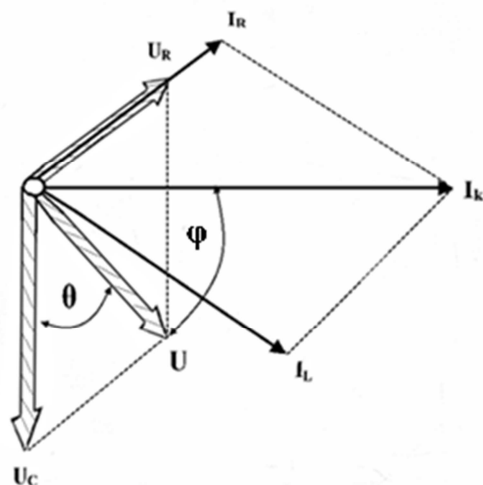
Mõõtmistulemused: pinge induktori ja lambi rööpühendusel $U_{RL} = 216\text{ V}$, pinge kondensaatoril $U_C = 302\text{ V}$. Mitte ainult pingete summa 518 V vaid ka üksainus osapinge 302 V on suurem kogupingest 230 V .

Voolutugevused: induktori harus $I_L = 0,53\text{ A}$, hõõglambi harus $I_R = 0,47\text{ A}$, kogu vool $I = 0,79\text{ A}$. Näeme, et haruvoolude summa ei võrdu kogu vooluga: $0,47 + 0,53 = 1,0 \neq 0,79$.

Samas voolutugevuste faasorid **ei allu** ka Pythagorase teoreemile:

$$\sqrt{0,47^2 + 0,53^2} = 0,71 \neq 0,79.$$

Järeldus: Voolude faasorid (pikkustega $\sqrt{2}$ korda I_L ja I_R) ei ole ei paralleelsed (alalisvoolu olukord) ega ka risti (ideaalse induktori juhtum). Nende vahel on mingi täisnurgast väiksem nurk (vt faasordiagrammi vasakul). **NB!** Eksamiülesandes vaatleme me ideaalset induktorit, mille korral haruvoolude faasorid **on** omavahel täisnurga all.



Märkus: Haruvoolude tugevused ei ole võrdsed, sest lambile rakenduv pinge on kõrgem kui skeemis (b). Seal oli lambi pinge 142 V ja takistus $418\ \Omega$. Skeemis (c) aga on pinge lambil 216 V ja lambi takistus $216\text{ V} / 0,47\text{ A} = 459\ \Omega$. Induktori takistus sõltub pingest vähe. Skeemis (b) oli see $418\ \Omega$, skeemis (c) aga $216\text{ V} / 0,53\text{ A} = 408\ \Omega$. Lambi takistus pinge tõstmisel suureneb, sest hõõgniidi temperatuur on kõrge ja pinge tõstmisel tõuseb see veelgi. Induktori takistus aga koguni pisut vähenes pinge tõstmisel. Väiksema takistusega (induktori) harus kulgeb tugevam vool.

Rangelt võttes koosneb pinge induktori ja lambi rööpühendusel U_{RL} (faasordiagrammil tähis U_R) induktori haru aspektis kahest komponendist: 1) induktori voolu faasoriga I_L paralleelsest komponendist ehk induktori aktiivtakistusel R_{ind} tekkivast pingest ning 2) faasoriga I_L ristuvast komponendist ehk induktiivtakistusel X_L tekkivast pingest. Kes viitsib, võib koosinusteoreemi abil leida kõik nurgad voolufaasorite vahel ning seega ka nurga pinge faasori U_R ning induktori voolu faasori I_L vahel. Seda nurka teades on võimalik leida eespool nimetatud pingekomponendid ning seega ka vastavad takistused. Kuna nurk pinge faasori U_R ja tema I_L -ga ristuva komponendi vahel on väike (vt joonist), siis võime induktiivtakistuse X_L lugeda ligikaudu võrdseks induktori kogutakistusega, mis skeemis (c) oli $408\ \Omega$. Kuna $X_L = \omega L$ ja Euroopa võrgusagedusel $f = 50\text{ Hz}$ on ringsagedus $\omega = 2\pi f = 100\pi\text{ rad/s} = 314\text{ rad/s}$, siis induktori induktiivsus

$$L \approx 408\ \Omega / 314\text{ rad/s} \approx 1,3\text{ H}.$$

Kondensaatori mahtuvustakistus
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_C}{I} = \frac{302\text{ V}}{0,79\text{ A}} = 382\ \Omega,$$

millest mahtuvus
$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{314\text{ rad/s} \cdot 382\ \Omega} \approx 8,3 \cdot 10^{-6}\text{ F} = 8,3\ \mu\text{F}.$$

Tulemus langeb üsna hästi kokku kasutatud kondensaatoripatarei korpuselt loetava väärtusega $8\ \mu\text{F}$.