

Tudengite (T) küsimused Füüsika ja tehnika eksami RLC-ülesande kohta ning Kalev Tarkpea (K) vastused neile.

Tudeng: Milles seisneb eksami RLC-ülesanne?

Kalev: RLC-ülesandes saab iga tudeng ühe nii aktiivset takistit (R), induktorit (L) kui kondensaatorit (C) sisaldava vahelduvvooluahela komplekstakistuse valemi. Selle põhjal tuleb joonistada skeem, arvutada kõik pinged ja voolutugevused ning võimsus aktiivosal; tuleb joonistada faasordiagramm.

T: Kui voolutugevused ja pinged on arvutatud, siis millest tuleks alustada faasordiagrammi joonistamist?

K: Faasordiagrammi joonistamist tuleks alustada "kõige sügavamalt". Ehk siis ühendusest, mis jääb kõige kaugemale skeemi ottest. Kui skeem sisaldab rööpühendust, mille üks haru on omakorda kahe koormuse jadaühendus, siis tuleb alustada sellest jadaühendusest. Kirjeldada pingete liitumist kõnealuse jada peal. Arvestades, et pinge aktiivsel koormusel (nR) on samas faasis vooluga läbi jada (vektorid on paralleelsed), pinge induktoril (L) on voolust 90 kraadi ees (sest L peal peab ju voolutugevus maha jääma!), pinge kondensaatoril (C) jääb aga omakorda voolust 90 kraadi maha. Kui olete komponentide pingevektorid vektoriaalselt ära liitnud, siis summa näol olete saanud kätte uuritavale harule (aga seega ka kogu rööpühendusele!) rakenduva pinge vektori. Selle suhtes tuleb nüüd diagrammile lisada naaberharus kulgeva voolu tugevuse vektor. Kui naaberharus on kondensaator, siis on vool naaberharus rööpühenduse pingest faasis 90 kraadi ees (sest pinge peab ju voolust maha jääma C peal!). Kui aga naaberharus paikneb induktor, siis on vastupidi - naaberharu vool jääb rööpühenduse pingest 90 kraadi maha. Kui ühes harus on L ja teises on C , siis osutub nurk kummagi haru voolutugevuste vahel **alati** 90 kraadist suuremaks. Mingid R -id võivad seejuures L -i ja C -ga ka jadamisi olla, üldist tendentsi see ei muuda. Kui nurk vooluvektorite vahel osutub 90 kraadist suuremaks, siis see tähendab, et neil vooludel on kalduvus omada vastandlikke suundi (kui ühes harus kulgeb vool paremale, siis teises kulgeb ta enamasti vasakule).

Kuis ka poleks, liita saab vooluvektoreid omavahel ja pingevektoreid omavahel. Liita saab samu mõõtühikut omavaid suurusi. Faasinihe on kogupinge (toitepinge U) vektori nurk koguvoolu vektori suhtes. Kõige tähtsam tegelane faasordiagrammil on koguvoolu faasor. Kui seda poleks, siis ei saaks ju üldse eralduda mitte mingit võimsust. Kui pole liikumist, siis tööd ei tehta. Seepärast arvestatakse faasinurka koguvoolu vektori suhtes. Faas loetakse positiivseks juhul, kui toitepinge on koguvoolest ees (toitepinge vektor paikneb koguvoolu vektorist vasakul). Faas loetakse negatiivseks, kui toitepinge vektor jääb koguvoolu vektorist maha (paikneb koguvoolu vektorist paremal ning läbib kõiki asendeid hiljem, kui kogu kupatus pöördub vastupäeva).

T: Sellest osast sain aru, aga mis siis kui takisti on rööbiti kondensaatori või induktoriga ning see rööpühendus on jadamisi vastavalt induktori või kondensaatoriga? Kas sel juhul tuleks alustada rööpühenduse voolutugevuste liitmisega...

K: Jah, just nii.

T: ... ning siis on just kummagi **pinge** faasivahe alati rohkem kui 90 kraadi?

K: Jah, nii see on. Täpsemalt – faasivahe rööpühendusel tekkiva pinge ning sellega jadamisi paikneval reaktiivsel koormusel (L või C) tekkiva pinge vahel on alati rohkem kui 90 kraadi.

Sest kahest jadamisi ühendatud koormusest ühes esineb induktiivne (L) ja teises mahtuvuslik (C) takistus. Seetõttu on ühel koormusel pinge faas kogu voolu suhtes ära pööratud positiivses (L) ja teisel negatiivses (C) suunas.

T: Lisaks ma pole siiski kindel voolutugevuste ja pingete leidmisel. Kui võimalik, siis sooviksin ka nende leidmise kohta seletust.

K: Mis konkreetselt muret teeb?

Kui komplekstakistuse valemis on üksainuke pikk murrujoon, siis murru nimetajas toimub kahe haru juhtivuste liitmine ning skeem on "suur rööpühendus". Ehk siis ühes harus jada, mis koosneb nR -st ja L (või C) -st ja teises harus paikneb siis teine reaktiivkoormus, vastavalt C (või L). Sel juhul rakendub üks ja seesama toitepinge U mõlemale harule, aga jada-harus peab see U osutuma kahe osapinge vektorsummaks. Need pingevektorid on omavahel risti, kusjuures jada-harus kulgeva voolu tugevuse vektor on paralleelne aktiivosal (nR) tekkiva pingevektoriga. Tuleb osata kompleksalgebrat ning seda rakendades lihtsustada komplekstakistuse valemit kuni kujuni, kus reaalsosa ja imaginaarosa on eraldi selgesti näha. Siis leida komplekstakistuse moodul, mis ongi skeemi kogutakistus ehk impedants Z . Seejärel jagada toitepinge U kogutakistusega Z ja tulemuseks on kogu vool I (ühikutes U/R). Samamoodi tuleb aga eraldi välja arvutada ka jadaühendust sisaldava haru komplekstakistus ning selle moodul Z_{jada} . Seda võib koguni arvutada enne skeemi kui terviku impedantsi leidmist, sest jada-haru impedantsi annab ju koguimpedantsi Z leidmisel ära kasutada. Nonii, nüüd siis tuleb jagada toitepinge U jadaühendust sisaldava haru impedantsiga (komplekstakistuse mooduliga) Z_{jada} . Tulemuseks on voolutugevus jadaühendust sisaldavas harus. Selle abil saab arvutada aktiivosal (nR) eralduva võimsuse alalisvoolu valemist $I^2 R$. Voolutugevus jadaühendust sisaldavas harus tuleb võtta ruutu ja korrutada nR -ga. Aga võimsus on leitav ka valemist $I \cdot U \cdot \cos \varphi$. Saate seda rakendada, kui olete eelnevalt leidnud faasinihke φ ahela kogutakistuse Z reaali- ja imaginaarosa suhtest: $\varphi = \arctan(\operatorname{Im} Z / \operatorname{Re} Z)$. Valemis $I \cdot U \cdot \cos \varphi$ on I teadagi kogu voolu tugevus (ühikutes U/R) ning U on toitepinge. Soovitan väga arvutada võimsust mõlemal viisil. Kui saate sama tulemuse, siis võite olla kindel, et ei ole teinud viga. Ei maksa ka unustada voolutugevuse leidmist teises harus. Aga see on lihtne. Toitepinge U tuleb jagada teise haru takistusega, mis sisaldub juba ülesande andmetes.

Kui komplekstakistuse valemis on kaks eraldi liidetavat, siis toimub takistuste liitmine, mille aluseks on pingete liitmine jadaühendusel. nR ja L (või C) rööpühendus on omakorda jadamisi ühendatud teise reaktiivkoormusega, vastavalt siis C (või L)-ga. Nüüd läbib üks ja seesama koguvool I mõlemat jadamisi ühendatud koormust, aga rööpühendusel peab selle I vektor osutuma kahe haruvoolu tugevuse vektorsummaks. Need haruvoolude vektorid on omavahel risti, kusjuures aktiivharu (nR) läbiva voolu tugevuse vektor on paralleelne rööpühendusel tekkiva pingevektoriga. Pinge $U_{rööp}$ vektori ja rööpühendusega jadamisi paikneval teisel reaktiivkoormusel tekkiva pingevекtori liitmise tulemuseks peab olema toitepinge U vektor. Aga nii nagu see juhtus meie loengul tehtud katses, osutub üks osapinge toitepingest suuremaks, sest nurk kahe liituv pingevекtori vahel on alati üle 90 kraadi (vt Teie enda küsimust ülalpool). Nüüd aga arvutamisest. On mõtet kõigepealt eraldi välja arvutada rööposa kompleksne impedants ja selle moodul $Z_{rööp}$, kuna seda annab ära kasutada skeemi kui terviku kompleksse impedantsi leidmisel, aga samas me vajame nagunii millalgi $Z_{rööp}$ väärtust. Kui rööpühenduse komplekstakistuse valem on ära lihtsustatud kuni kujuni, kus reaalsosa ja imaginaarosa on eraldi selgesti näha, siis liidate tekkinud imaginaarosale teise reaktiivkoormuse (samuti imaginaarse) impedantsi. Aga kaks liituvat imaginaarosa on alati vastandlike märkidega, sest üks tekib ju induktiivsest (L), teine aga mahtuvuslikust (C) reaktiivtakistusest. Nii olete saanud skeemi kui terviku kompleksse impedantsi, mille mooduliga Z peate jagama toitepinget U , et saada koguvoolu tugevuse väärtust I . Kui koguvoolu tugevus I on käes, siis korrutate sellega rööposa impedantsi moodulit $Z_{rööp}$ ja saate rööpühendusel tekkiva pingevекtori $U_{rööp}$, ühikutes U . Jagades seda pinget kummagi rööpharu takistusega (ülesande andmetes toodud), saate voolutugevused rööpharudes (ühikutes U/R). Kui korrutate koguvoolu tugevust eraldi-paikneva reaktiivkoormuse takistusega, saate pingevекtori eraldi-paikneval reaktiivkoormusel. Aktiivosal (nR) eralduva võimsuse saab leida alalisvoolu valemist $I^2 R$. Selles valemis on pingeks teadagi $U_{rööp}$ ning takistuseks aktiivosa takistus nR . Alalisvoolu valemist tohib siin rakendada põhjusel, et aktiivosal ju ei teki faasinihet (pinge ja voolutugevus saavutavad amplituudväärtuse samal ajahetkel). Loomulikult tasub arvutada võimsus kontrolliks ka valemist $I \cdot U \cdot \cos \varphi$.

T: Soovisin teilt küsida vahelduvvoolu ülesande osas. Tahtsin teilt küsida soovitusi, et kust mul oleks võimalik selle teema kohta rohkem lugeda, et sellest teemast aru saada ja see eksami osa edukalt ära teha. Teie katse joonis on kindlasti abiks ning mul on olemas ka see tabeliga leht selle teema kohta. Viimane on küll varustatud mitmete valemitega kuid üldiselt napsõnaline. Ma sooviksin sellest teemast ka päriselt aru saada, vähemalt mingilgi määral, sest valem ilma teadmiseta on tihtipeale kasutu.

K: Mul on suur heameel, et Te seda mõistate. Tõepoolest, on vaja "... ka päriselt aru saada, vähemalt mingilgi määral, sest valem ilma teadmiseta on tihtipeale kasutu..." Ma muudan kogu oma kirjavahetuse

RLC-ülesande teemal kõigile tudengitele kättesaadavaks ÕIS-i „õppematerjalidest“. Tutvuge ja küsige täiendavalt, kui miskit ikka veel ebaselge on.