

Sähköopin peruskaavat

Tapio Hansson

2. marraskuuta 2016

Sähkö- ja magnetismin perusasioita

- ▶ Vastuksen jännitehäviö:

$$U = RI$$

- ▶ Sähköteho:

$$P = UI = RI^2 = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

- ▶ Sähkövirta:

$$I = \frac{dQ}{dt} \left(= \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)$$

- ▶ Vastukset sarjassa:

$$R = \sum R_i$$

- ▶ Vastukset rinnan:

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R}$$

- ▶ Kapasitanssi

$$C = \frac{Q}{U}$$

- ▶ Kondensaattorit sarjassa:

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$

- ▶ Kondensaattorit rinnan:

$$C = \sum C_i$$

- ▶ Voima sähkö- ja magneettikentässä:

$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- ▶ Induktiivinen reaktanssi:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

- ▶ Kapasitiivinen reaktanssi:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

- ▶ Impedanssi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

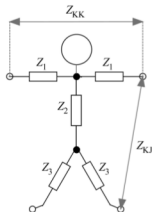
Kirchoffin lait

- ▶ Ensimmäinen laki:

Virtapiirin jokaiseenhaarautumispisteeseen tulevien, ja siitä poistuvien sähkövirtojen summat ovat yhtä suuret.

- ▶ Toinen laki:

Potentiaalimuutosten summa on suljetun silmukan ympäri kierrettäessä nolla.



Kuva 8. Malli kehon sisäisen impedanssin jakautumisesta

Kuvassa 8 on esitetty malli herra Virtasen kehon sisäisen impedanssin jakautumisesta. Impedanssi oletetaan tässä kokonaisuuudessaan resistiiviseksi, eli se käyttäytyy kuten sähköinen resistanssi. Kehon sisäiset käsi-käsi- sekä käsi-jalka – impedanssit ovat pienillä jännitteillä (< 1000 V) hyvällä tarkkuudella samat eli $Z_{KK} = Z_{KJ} = 1,3$ k Ω . Sähkövirran siirtyessä kehon sisälle tai kehosta ulos ihon läpi, vaikuttaa siihen lisäksi ihon impedanssi, joka sekun on tässä mallissa resistiivinen, arvolla $Z_{IHO} = 1,1$ k Ω (hikinen iho), riippumatta siirtymäkohdan pinta-alasta. Ihon impedanssi kytkeytyy siis kehon impedanssin kanssa sarjaan sekä virran sisääntulokohdassa että ulosmenokohdassa.

Herra Virtanen havaitsi, että olohuoneen teräsalkaisesta jalkalampusta oli palanut polttimo, joten hän ryhtyi vaihtamaan tilalle uutta polttimoa, mikä oli hikistä hommaa. Hän oli kuitenkin unohtanut irrottaa jalkalampun johdon sähköpistokkeesta, eikä hän myöskään ollut huomannut kytkeä valaisinta pois päältä. Herra Virtasen oikean käden etusormi osui uutta polttimoa asennettaessa lampun kannan pohjaan, joka oli verkkojännitteellinen. Koska hän oli uutta polttimoa asentaessaan pitänyt kiinni lampun maadoitetusta teräsjalasta vasemmalla kädellä, syntyi virtapiiri, jossa sähkövirta kulki käsien kautta siten, että tehollinen jännite käsien yli oli 230 V. Ennen kuin rouva Virtanen ehti katkaista sähköt, herra Virtanen oli ollut virtapiirissä kiinni 11 sekunnin ajan (hengenvaarallinen tilanne!).

a) Lampun teräsalka koskettaa pinta-alaltaan 11 cm^2 kokoista aluetta herra Virtasen vasemman kämmenen ihosta, joka on sillä kohtaa 2,9 mm paksu.

Kuinka monta astetta herra Virtasen iho lämpenee kosketuskohdasta, kun siihen kohtaan kertyy tasaisesti jakautuneena 45 % vasemman käden ihon läpi kulkevan sähkövirran aiheuttamasta lämpöenergiasta? Voit tässä olettaa, että impedanssia lukuun ottamatta ihon fysikaaliset ominaisuudet ovat samat kuin veden. (7 p)

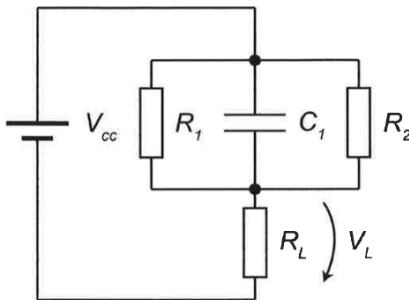
b) Oletetaan, että herra Virtasen vasemman käden lisäksi maadoitettuna on myös hänen paljas oikea jalkateränsä, joka koskettaa maadoitettua lämpöpatteria.

Kuinka monta prosenttia herra Virtasen kehon sisäinen impedanssi muuttuu näin syntyneessä virtapiirissä verrattuna kehon sisäisen impedanssiin kohdan a) tilanteessa? Perusta vastauksesi kuvassa 8 esitettyyn sisäisen impedanssin jakautumista kuvaavaan malliin sekä tehtävän johdannossa annettuihin arvoihin. (5 p)

Tehtävä 13

10 p

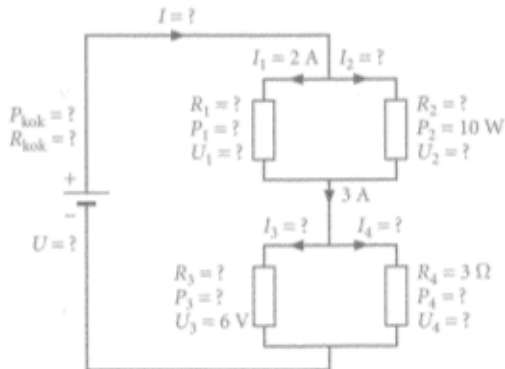
Alla on kuvattu virtapiiri, johon tehtävän kohdassa a) syötetään tasajännitettä ja kohdassa b) vaihtojännitettä, jonka taajuus $f=50$ Hz. Kuvassa $R_1=2,0$ k Ω , $R_2=4,0$ k Ω , $R_L=650$ Ω ja $C_1=3,2$ mF. Jännitelähteen sisäistä vastusta ei huomioida.



- Kuinka suuri on V_{cc} , jos V_L on 6,5 V? Oletetaan, että virtapiiriin jännite on ollut kytkettynä jo jonkin aikaa. (5p)
- Kuinka suuri on virtapiiriin kokonaisimpedanssi, jos tasajännitelähteen tilalle vaihdetaan $f=50$ Hz vaihtojännitelähde? (5p)

Kotitehtävä 1

Laske oheisen piirin sähkövirrat, jännitteet, tehot ja resistanssit.



Kotitehtävä 2

Laske kuvan kondensaattorisysteemin kokonaiskapasitanssi, kun $C_1 = 12 \mu\text{F}$, $C_2 = 5,3 \mu\text{F}$ ja $C_3 = 4,5 \mu\text{F}$.

