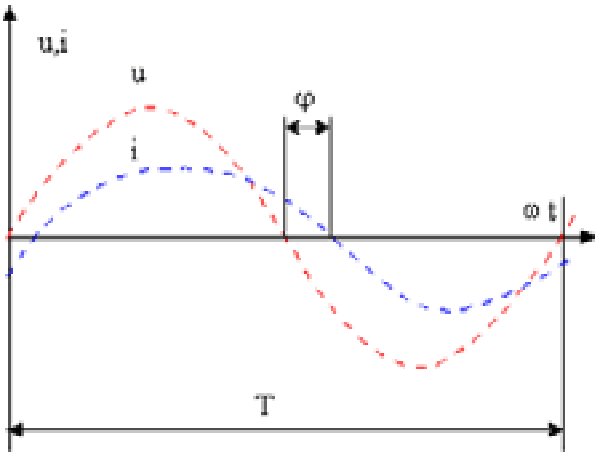
LIITE I

Vaihtosähkön perusteet

Vaihtojännitteeksi kutsutaan jännitettä, jonka suunta vaihtelee. Vaihtojännite on valittuun suuntaan nähden vuorotellen positiivinen ja negatiivinen. Samalla tavalla määritellään vaihtovirta ja muut vaihtosähköön liittyvät suureet.

Jännitteitä, joiden vaihtelu toistuu samanlaisena tietyn ajan, kutsutaan jaksollisiksi jännitteiksi. Sähkötekniikassa sinimäiset jaksolliset jännitteet ovat keskeisiä, koska generaattoreilla tuotettu, sähköverkoissa siirretty ja yleisimmin käytetty jännite on sinimuotoista. Kuvassa 1 on kerrattu vaihtosähköön liittyviä käsitteitä.



Kuva 1. Sinimuotoinen vaihtosähkö ja siihen liittyviä käsitteitä ja suureita.

$u = \hat{u} \cdot \sin \omega t$
$U = \hat{u}/\sqrt{2}$
$i = \hat{\imath} \cdot \sin(\omega t - \varphi)$
$I = \hat{\imath}/\sqrt{2}$
u, i ovat jännitteen ja virran hetkellisarvot
û, î ovat jännitteen ja virran huippuarvot
U, I ovat jännitteen ja virran tehollisarvot
$\omega = 2\pi f$ on kulmataajuus
$f = 1 / T$ on taajuus, T on jaksonaika
φ on jännitteen ja virran välinen vaihe-ero eli vaihesiirtokulma

Sinimuotoisten suureiden esittäminen osoittimilla

Sinimuotoinen vaihtelu voidaan esittää kompleksitasossa pyörivällä osoittimella (kuva 2). Osoittimen pituus ilmaisee huippuarvon (î,û). Osoittimen ja reaaliakselin välinen kulma φ muuttuu kulmanopeudella ω. Osoittimen positiivinen pyörimissuunta on vastapäivään. Kulmaa ω kutsutaan vaihekulmaksi.

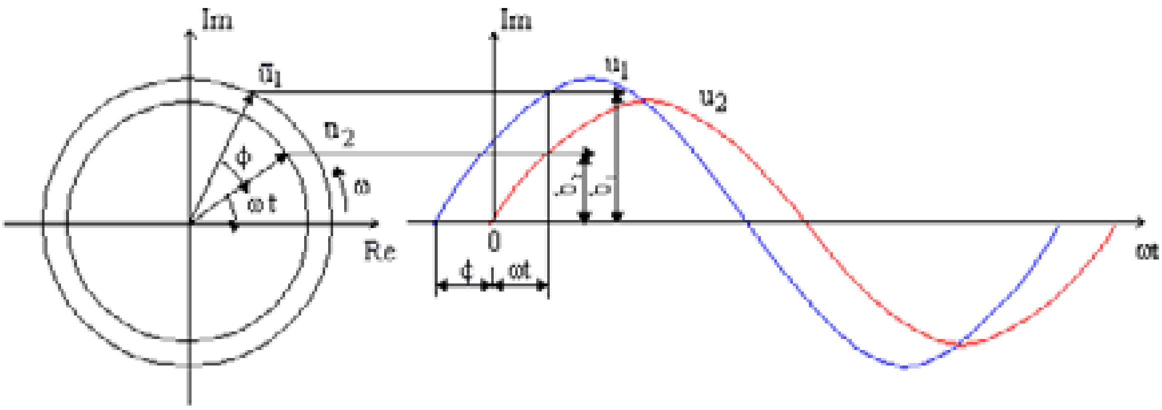
Jänniteosoittimen projektio imaginääriakselilla on

eli on siis kuvan 1 mukainen hetkellisarvo u. Osoittimen projektio reaaliakselilla on

Edellisten lausekkeiden summa on pyörivän osoittimen lauseke

Viiva osoittimen alla tarkoittaa, että kyseessä on osoitin eli vektori. Osoittimella on suuruus ja ajasta riippuva suunta. Lauseke voidaan kirjoittaa myös muodossa

Käytännössä osoitinmuotoiset jännitteet ovat siis esim. muotoa u = 400/30º.



Kuva 2. Kuvan 1 tilanne osoitinsuureilla esitettynä.

Osoitinlaskentaa

Osoittimen itseisarvo eli jännitteen huippuarvo

$$\hat{u} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Vaihekulma

$$\omega t + \varphi = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

Osoittimien yhteen- ja vähennyslasku

Osoittimien A/a ja B/b summa ja erotus ovat:

$$A\angle a + B\angle b = A\cos a + jA\sin a + B\cos b + jB\sin b$$
$$= (A\cos a + B\cos b) + j(A\sin a + B\sin b)$$
$$A\angle a - B\angle b = (A\cos a - B\cos b) + j(A\sin a - B\sin b)$$

Osoittimien kerto- ja jakolasku

$$A\angle a \cdot B\angle b = Ae^{ja} \cdot Be^{jb} = ABe^{j(a+b)} = AB\angle a+b$$

$$\frac{A\angle a}{B\angle b} = \frac{A}{B}\angle a-b$$

Osoittimien potenssiinkorotus ja juurenotto

$$(A\angle a)^n = (Ae^{ja})^n = A^n e^{jan} = A^n\angle na$$

$$\sqrt[n]{A\angle a} = \sqrt[n]{A}\angle(a/n)$$

Ohmin ja Kirchoffin lakeja vastaavat laskut lasketaan osoitinsuureilla periaatteessa samalla tapaa kuin reaalisuureilla. Erona on, että suureet esiintyvät kompleksimuodoissa. Laskuja varten vastus- ja johtokykysuureet on kirjoitettava kompleksimuotoon.

R on resistanssi
$G = 1 / R$ on konduktanssi
$X_L = \omega L$ on induktiivinen reaktanssi
$B = 1 / X$ on suskeptanssi
$X_C = - 1 / \omega C$ on kapasitiivinen reaktanssi
$\overline{Y} = G - jB$ on kokonaisadmittanssi
$X = X_L+X_C$
$\overline{Z} = R + jX$

Näennäis-, pätö- ja loisteho

Vaihtovirran näennäisteho saadaan kertomalla jännitteen osoitin virran konjugaattiosoittimella. Virran I konjugaattiosoitin I^* on osoitin, jonka reaaliosa on yhtäsuuri kuin I:n reaaliosa, mutta imaginääriosa on I:n imaginääriosan vastasuure.

$$S = UI^* = Ue^{j\omega t}\, Ie^{-j(\omega t-\varphi)} = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi$$

Vaihtovirran pätöteho on näennäistehon reaaliosa

$$P = UI\cos\varphi$$

ja loisteho on näennäistehon imaginääriosa

$$Q = U\,I\sin\varphi.$$

Nyt näennäisteho voidaan kirjoittaa muotoon

$$\overline{S} = P + jQ.$$

Kolmivaihejärjestelmä

Symmetrinen kolmivaihejärjestelmä muodostuu kolmesta yhteenkytketystä yksivaihejärjestelmästä R, S ja T, joiden huippujännitteet ovat keskenään yhtä suuret ja samantaajuiset, mutta joiden välinen vaihe-ero on 1/3 jakson ajasta eli 120º (kuva 3).
Kolmivaihejärjestelmän jännitteet:
R-vaiheen jännite $u_r = \hat{u}_v \sin \omega t$ S-vaiheen jännite $u_s = \hat{u}_v \sin(\omega t - 120^\circ)$ T-vaiheen jännite $u_t = \hat{u}_v \sin(\omega t - 240^\circ)$ $\hat{u}_v$ on vaihejännitteiden huippuarvo.

Edellisten yhtälöiden perusteella voidaan laskea $u_r + u_s + u_t = 0$.

Symmetrisessä kolmivaihejärjestelmässä virratkin ovat sinimuotoisia ja niille voidaan johtaa vastaavat yhtälöt kuin jännitteille.

Kuva 3. Symmetrinen kolmivaiheinen jännite.

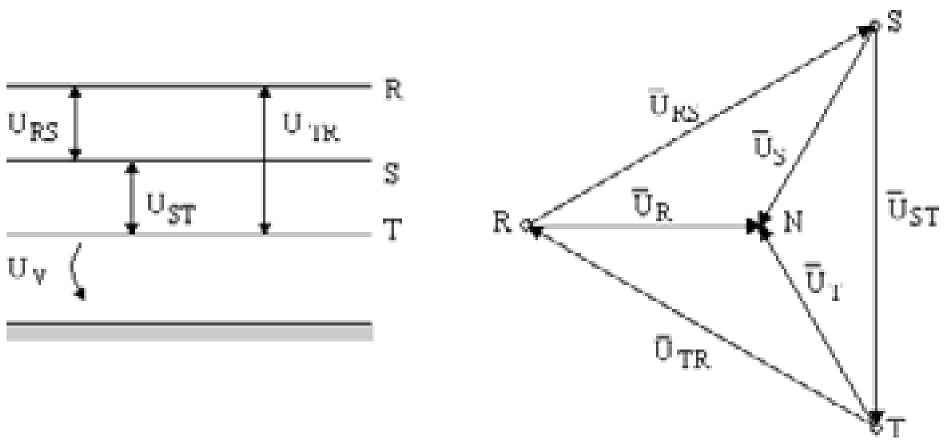
Vaihe- ja pääjännite

Kolmivaihejärjestelmän pääjännitteellä U tarkoitetaan kahden vaihejohtimen välistä jännitettä:

$\underline{U}_{RS} = \underline{U}_{R}-\underline{U}_{S}$

$\underline{U}_{ST} = \underline{U}_{S}-\underline{U}_{T}$

$\underline{U}_{TR} = \underline{U}_{T}-\underline{U}_{R}$



Kuva 4. Symmetrisen kolmivaihejärjestelmän vaihe- ja pääjännitteet.

Vaihejohtimen ja nollapotentiaalin välinen vaihejännitteen suuruus U_v saadaan kuvasta 4 trigonometrian avulla jakamalla pääjännite luvulla $\sqrt{3}$. Samalla havaitaan myös pää- ja vaihejännitteen 30° vaihesiirto. Yleensä verkon jännitteestä puhuttaessa tarkoitetaan pääjännitettä eli vaiheiden välistä jännitettä ja virrasta puhuttaessa vaihejohtimen virtaa.

Teho kolmivaihejärjestelmässä

Näennäistehon itseisarvo on kaikkien kolmen vaiheen näennäistehojen summa. Symmetrisessä kolmivaihejärjestelmässä näennäistehon suuruus voidaan laskea vaihejännitteestä ja -virrasta

$S = 3S_v = 3U_vI$

tai pääjännitteestä ja -virrasta

$$S = 3U_v I = 3\frac{U}{\sqrt{3}} I = \sqrt{3}\,UI.$$

Pätö- ja loistehon suuruus voidaan laskea samaan tapaan vaihejännitteestä ja virrasta

$P = 3P_v = 3U_vI_v \cos\varphi = S \cos\varphi$ $Q = 3Q_v = 3U_vI_v \sin\varphi = S \sin\varphi$.

tai pääjännitteestä ja -virrasta

$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi = S \cos\varphi$ $Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi = S \sin\varphi$.

LÄHTEET

Paavola M., Lehtinen P.; Sähkötekniikan oppikirja.; WSOY 1982, 427 s.