

10-5.

- i) Silmukan läpi kulkeva magneettivuo on suurin piirroksessa 3.
ii) Silmukan läpi kulkeva magneettivuo on pienin piirroksessa 1.
- i) Lähdejännite on suurin piirroksessa 1.
ii) Lähdejännite on pienin (nolla) piirroksessa 3.

10-6.

Kohdassa a lähdejännite saavuttaa huippuarvonsa, koska käämin silmukoiden taso on magneettikentän suuntainen (käämin magneettikentän kenttäviivat ovat kohtisuorassa ulkoista magneettikenttää vastaan).

Kohdassa b lähdejännite on nolla, koska käämin silmukoiden taso on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan (käämin magneettikentän kenttäviivat ovat samansuuntaiset ulkoisen magneettikentän kanssa).

Kohdassa c lähdejännite kasvaa, joten käämin silmukoiden taso on vinossa magneettikenttää vastaan.

10-7.

- Generaattorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon.
Generaattorissa magneettikentässä olevaa käämiä, tai käämin ympärillä olevia magneetteja pyöritetään. Tällöin käämi on muuttuvassa magneettikentässä, jolloin käämin päiden välille indusoituu jännite. Generaattorin avulla mekaaninen energia muunnetaan sähköksi.
- Voimalaitoksessa energialähteestä vapautuvan energian avulla pyöritetään turbiinia, joka on kytketty samalle akselille generaattorin kanssa. Kun generaattorin käämi pyörii, mekaaninen energia muuttuu induktioilmiön vuoksi sähköksi.
Vesivoimalaitoksessa generaattorin käämiä pyöritetään virtaavan veden avulla ja tuulivoimalaitoksessa liikkuvan ilman avulla.
Ydinvoimalaitoksessa ydinreaktioissa vapautuvalla energialla höyrystetään vettä. Generaattorin käämi pyörii, kun korkeapaineinen vesihöyry syöksyy turbiinin lapojen läpi.

10-8.

- Kuvaaja 2.
Kun käämin pyörimisnopeutta pienennetään, yhteen pyörähdykseen kuluva aika (jaksonaika T) kasvaa.
(Huomaa, myös kuvaajassa 3 jaksonaika on suurempi. Kuvaaja 3 ei kuitenkaan kelpaa vastaukseksi, koska ko. kuvaajassa huippujännite on yhtä suuri kuin alkuperäisessä kuvaajassa. Huippujännitteen tulee pienetä, kun pyörimisnopeus ja edelleen vaihtojännitteen taajuus f pienenee; huippujännite on $e_0 = AB\omega = AB \cdot 2\pi f$.)
- Kuvaaja 4.
Kun käämiä aletaan pyörittää samasta alkuasennosta vastakkaiseen pyörimissuuntaan, käämin päiden välille indusoituvan jännitteen napaisuus vaihtuu.
- Kuvaaja 1.
Kun kestopagneetti vaihdetaan voimakkaampaan, magneettivuon tiheyden suuruus B kasvaa. Tämän seurauksena huippujännite kasvaa; huippujännite $e_0 = AB\omega$.

10 Generaattori tuottaa vaihtojännitettä

10-9.

$$A = 125 \text{ cm}^2$$

- a) Pyörimisnopeuden kasvattaminen lisää vaihtojännitteen taajuutta. Jännitteen suuruuteen vaikuttavat magneettivuon tiheys, käämin pinta-ala ja kulmanopeus (ja käämin kierrosmäärä, tässä tehtävässä $N = 1$).

- b) Kuvaajan mukaan jaksonaika on $T = 0,020 \text{ s}$. Jännitteen taajuus on

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,020 \text{ s}} = 50 \text{ Hz}. \text{ Silmukan pyörimisnopeus on } n = 50 \frac{1}{\text{s}}.$$

- c) Kuvaajasta jännitteen huippuarvo on $e_0 = 3,2 \text{ V}$.

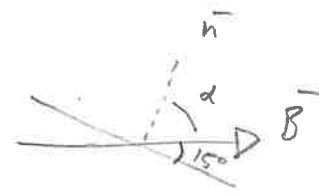
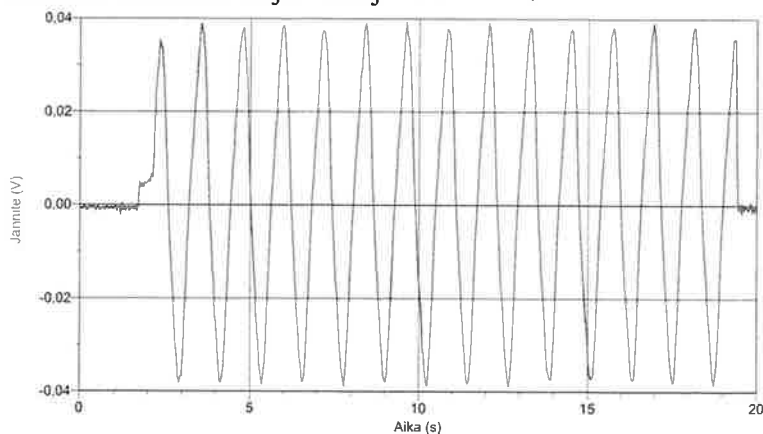
- d) Huippuarvon yhtälöstä $e_0 = NAB\omega$ saadaan magneettivuon tiheyden suuruudeksi

$$B = \frac{e_0}{NA\omega} = \frac{e_0}{NA \cdot 2\pi f} = \frac{3,2 \text{ V}}{1 \cdot 125 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}}} \approx 0,81 \text{ T}.$$

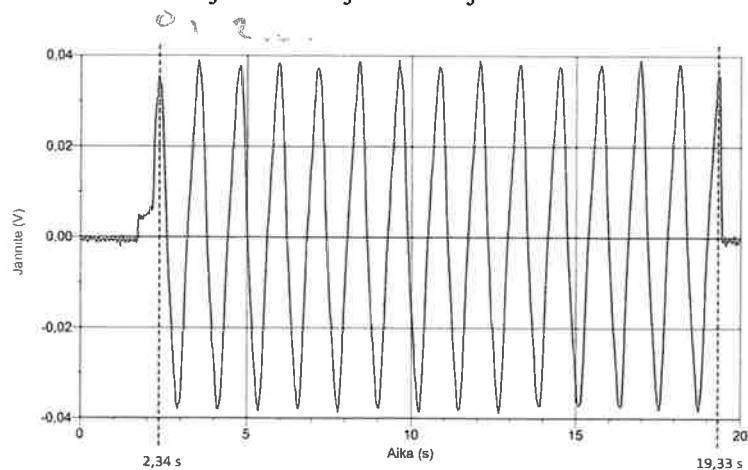
- e) Kun silmukka on kiertynyt niin, että sen taso muodostaa 15 asteen kulman magneettikentän suunnan kanssa, silmukan asentoa kuvaavan kulman α suuruus on $\alpha = 90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$. Jännitteen hetkellinen arvo, kun silmukan kiertokulma on 75° , on $e = e_0 \sin(\omega t) = e_0 \sin \alpha = 3,2 \text{ V} \cdot \sin 75^\circ \approx 3,1 \text{ V}$.

10-10.

- a) Esitetään indusoitunut jännite ajan funktiona.



- b) Arvioidaan kuvaajasta vaihtojännitteen jaksonaika.



Eka piikkiä ei
Saa laskea!

Neljääntoista jaksoon kuluva aika on $19,33 \text{ s} - 2,34 \text{ s} = 16,99 \text{ s}$. Jaksonaika on siten

$$T = \frac{16,99 \text{ s}}{14} = 1,21357 \text{ s} \approx 1,2 \text{ s}.$$

Taajuus on

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,21357 \text{ s}} = 0,824015 \frac{1}{\text{s}} \approx 0,82 \frac{1}{\text{s}}.$$

Magneetin pyörimisnopeus on yhtä suuri kuin vaihtojännitteen taajuus, eli $n = f$.

Magneetin kulmanopeus on

$$\omega = 2\pi n = 2\pi f = 2\pi \cdot 0,824015 \text{ (rad)/s} \approx 5,2 \text{ (rad)/s}.$$

- c) Määritetään kuvaajasta aikavälillä 5...10 s osuvat jännitteen huippuarvojen itseisarvot:

Huippuarvojen itseisarvot aikavälillä 5...10 s (V)
0,038
0,038
0,038
0,037
0,039
0,039
0,038
0,039

Keskimääräinen huippuarvo on

$$\frac{1 \cdot 0,037 \text{ V} + 4 \cdot 0,038 \text{ V} + 3 \cdot 0,039 \text{ V}}{8} \approx 0,038 \text{ V}.$$

10-11.

- Kun kestopmagneetin magneettikentän voimakkuus kasvaa, käämiin indusoituva jännite suurenee.
- Kun käämin silmukoiden lukumäärä kasvaa, käämiin indusoituva jännite suurenee.
- Kun käämin silmukoiden pinta-ala kasvaa, käämiin indusoituva jännite suurenee.

10-12.

- Pyörimiseen liittyvä yksikkö rpm tarkoittaa *revolutions per minute*, eli kierrosta minuutissa.
- $n = 660 \text{ rpm}$, $B = 13 \text{ mT} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ T}$, $a = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$

i) Indusoitunut jännite on $e = e_0 \sin \alpha$, jossa α on magneettikentän ja silmukan tason normaalin välinen kulma. Silmukan tason ollessa kentän suuntainen kulma $\alpha = 90^\circ$ ja $\sin 90^\circ = 1$, jolloin jännite on yhtä suuri kuin huippujännite, eli

$$e_0 = NAB\omega = N \cdot a^2 \cdot B \cdot 2\pi f = 1 \cdot (0,15 \text{ m})^2 \cdot 13 \text{ mT} \cdot 2\pi \cdot \frac{6600}{60} \cdot \frac{1}{\text{s}} \approx 0,20 \text{ V}.$$

ii) Kun silmukan taso on magneettikenttää vastaan kohtisuorassa, kulma $\alpha = 0^\circ$ ja $\sin \alpha = 0$. Tällöin jännite on nolla.

10-13.

$$N = 1200, r = 3,7 \text{ cm}, B = 680 \text{ mT} = 680 \cdot 10^{-3} \text{ T}, e_0 = 22 \text{ V}$$

Käämin pyöriessä magneettikentässä sen läpäisevä magneettivuo muuttuu jaksollisesti. Näin ollen käämiin indusoituu jaksollisesti muuttuva jännite.

Magneettivuo käämin läpi on $F = AB \cos \omega t$, jossa kulmanopeus ω on likimain vakio. Käämiin indusoitunut lähdejännite on

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d(AB \cos \omega t)}{dt} = NAB \omega \sin \omega t = NAB \cdot 2\pi f \sin \omega t = e_0 \sin \omega t.$$

Jännitteen huippuarvo on

$e_0 = NAB \cdot 2\pi f$, josta vaihtojännitteen taajuus on

$$f = \frac{e_0}{NAB \cdot 2\pi} = \frac{22 \text{ V}}{1200 \cdot \pi \cdot (0,037 \text{ m})^2 \cdot 680 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 2\pi} = 0,997699 \frac{1}{s} \approx 1,0 \frac{1}{s}.$$

Vaihtojännitteen taajuus on yhtä suuri kuin käämin pyörimisnopeus, joten käämin tulee pyöriä pyörimisnopeudella 1,0 1/s.

10-14.

9.1. Ylävesialtaassa olevalla vedellä on potentiaalienergiaa alavesialtaan vedenpintaan nähden. Kun koneistoluukut avataan, vesi pääsee virtaamaan tulokanavaan, jolloin veden potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi.

Turbiinin läpi kulkevan veden liike-energia muuntuu turbiinin siipien pyörimisliikkeen liike-energiaksi. Turbiini pyörittää samalle akselille kiinnitetyn generaattorin roottoria, jolloin liike-energia muuttuu sähkömagneettisen induktion seurauksena sähköksi.

9.2. Generaattorin magneettikentässä olevaa käämiä, tai käämin ympärillä olevia magneetteja pyöritetään. Tämän seurauksena käämin läpäisevä magneettivuo muuttuu ajan funktiona ja käämiin indusoituu vaihtojännite.

9.3. Vaihtojännitettä kuvataan taajuudella ja jännitteen tehollisarvolla, toisinaan myös jännitteen huippuarvolla.

Generaattorin tuottaman vaihtojännitteen suuruus on suoraan verrannollinen käytetyn magneetin/magneettien magneettikentän magneettivuon tiheyteen, käämin kierrosten lukumäärään, käämin silmukoiden pinta-alaan sekä generaattorin pyörivän osan pyörimisnopeuteen.

Generaattorin pyörivän osan pyörimisnopeus määrittää myös vaihtojännitteen taajuuden, joka esimerkiksi Suomessa on 50 Hz. Kun kulmanopeus on vakio, vaihtojännitteestä tulee sinifunktion muotoinen.