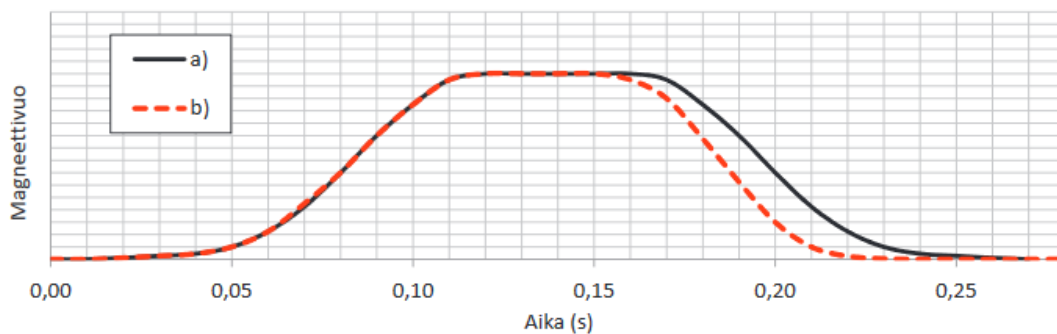


Fysiikan vanhoja yo-tehtäviä kurssista FY7 Sähkömagnetismi (2013 - 2016)

8. Pitkä sauvamagneetti vedetään lyhyen käämin läpi pohjoisnapa edellä tasaisella nopeudella (kuvaaja a) ja tasaisella kiihtyvyydellä (kuvaaja b). Käämin läpäisevä magneettivuo muuttuu kuvaajien mukaisesti. Hahmottele käämiin indusoituvan jännitteen kuvaajat ajan funktiona kun sauvamagneetti vedetään
- tasaisella nopeudella (4 p.)
 - tasaisella kiihtyvyydellä. (2 p.)
- Selitä ilmiö ja kuvaajien muoto.

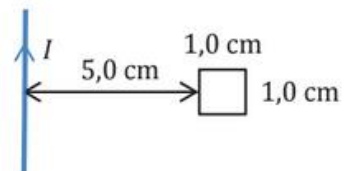


(Syksy 2016)

- +13. Energiaa voidaan siirtää tai muuntaa mekaaniseksi työksi mekaanisella koneella, lämpövoimakoneella ja sähkömoottorilla. Tarkastele kolmen erityyppisen esimerkin avulla näitä energian siirto- tai muuntotapoja. Kiinnitä kuvaamissasi esimerkeissä huomiota energiahäviöiden syihin ja menetelmän hyötysuhteeseen.

(Syksy 2016)

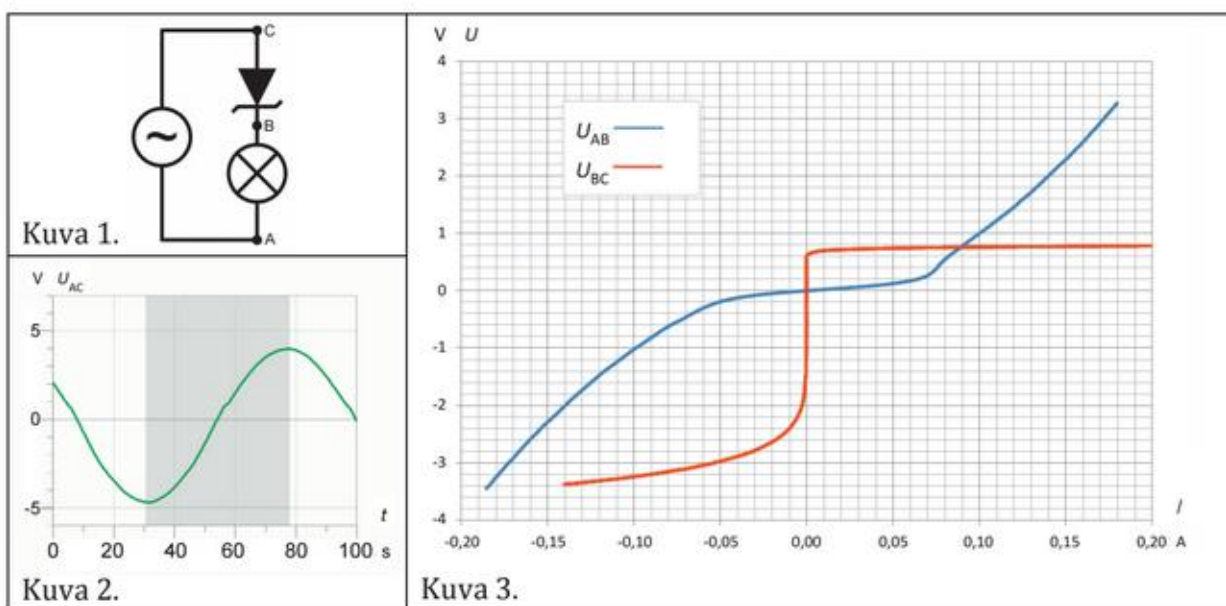
8. Piirilevyllä on neliön muotoinen johdinsilmukka, jonka sivun pituus on 1,0 cm. Lähellä olevassa suorassa johtimessa kulkee 2,0 A:n sähkövirta. Johdin on silmukan tasossa, ja johtimen etäisyys silmukan reunasta on 5,0 cm kuvan mukaisesti.



- Arvioi silmukkaan indusoituvan jännitteen arvo, kun virta pienenee nolnaan 1 μ s:n aikana. Käytä silmukan keskipisteen etäisyyttä johtimesta. (4 p.)
- Miten jännitteen indusoitumista johdinsilmukkaan voitaisiin pienentää tällaisessa virranmuutoksessa? Esitä kaksi tapaa. (2 p.)

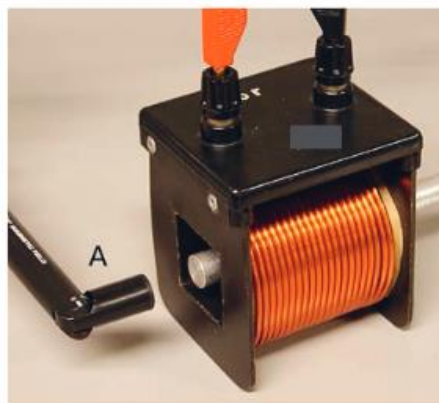
(Kevät 2016)

- +12. Vaihtojännitelähde, zenerdiodi ja hehkulamppu on kytketty virtapiiriksi kuvan 1 esittämän kytkentäkaavion mukaisesti. Kuvassa 2 on esitetty jännitelähteen napajännite U_{AC} ajan funktiona. Piirin käyttäytymistä tarkastellaan kuvassa 2 harmaaksi merkityllä aikavälillä. Kuvassa 3 esitetään hehkulampun jännite U_{AB} ja zenerdiodin jännite U_{BC} piirin sähkövirran funktiona tarkasteltavalla aikavälillä.
- Noudattavatko hehkulamppu ja zenerdiodi Ohmin lakia mittausalueella? Miten tämä ilmenee kuvasta 3? (2 p.)
 - Miten hehkulampun käyttäytyminen selittyy lampun rakenteella ja toiminnalla? (3 p.)
 - Kuinka suuri on virtapiirissä kulkevan sähkövirran voimakkuus, kun U_{AC} on 3,5 V? (2 p.)
 - Heikoin sähkövirran voimakkuus, jolla lamppu valaisee havaittavasti, on 0,075 A. Millä virtalähteen napajännitteen arvoilla lamppu ei valaise? (2 p.)



(Kevät 2016)

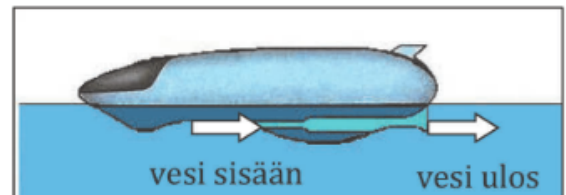
- Tyhjässä käämissä kulkee tasavirta. Magneettivuon tiheys mitataan käämin pään läheltä anturilla A.
 - Käämin sisälle laitetaan rautatanko. Magneettivuon tiheys mitataan samasta kohdasta. Millä tavoin mitaustulos eroaa tyhjän käämin tuloksesta? Perustele. (3 p.)
 - Käämin sisälle vaihdetaan alumiinitanko. Magneettivuon tiheys mitataan samasta kohdasta. Millä tavoin mitaustulos eroaa tyhjän käämin ja a-kohdan tuloksista? Perustele. (2 p.)
 - Miten a-kohdan tulos muuttuisi, jos rautatanko olisi 850 °C:n lämpötilassa? (1 p.)



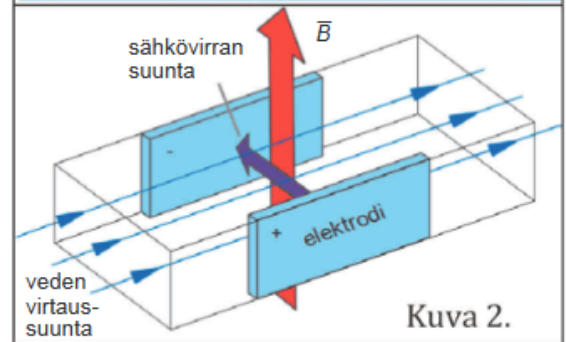
(Syksy 2015)

8. Kuvassa 1 on japanilainen Yamato-prototyypin laiva. Laivan moottori on molemmista päistään avoin metalliputki, jonka läpi merivesi pääsee virtaamaan. Putkessa sijaitsevien elektrodien välillä on jännite, joka synnyttää meriveteen sähkövirran kuvan 2 osoittamaan suuntaan. Vettä kiihdytetään suprajohtavan sähkömagneetin magneettikentän avulla. Tällöin syntyy laivaa eteenpäin työntävä voima. Sähkövirtaa vastaan kohtisuoran magneettikentän magneettivuon tiheys on 15 T.

- Miten elektrodien välille syntyy sähkövirta? (1 p.)
- Miten moottorin työntövoima syntyy? (3 p.)
- Laske moottorin työntövoima, kun elektrodien välinen etäisyys on 0,30 m. Niiden välinen 82 V:n jännite synnyttää sähkövirran, jonka suuruus on 0,70 kA. (2 p.)



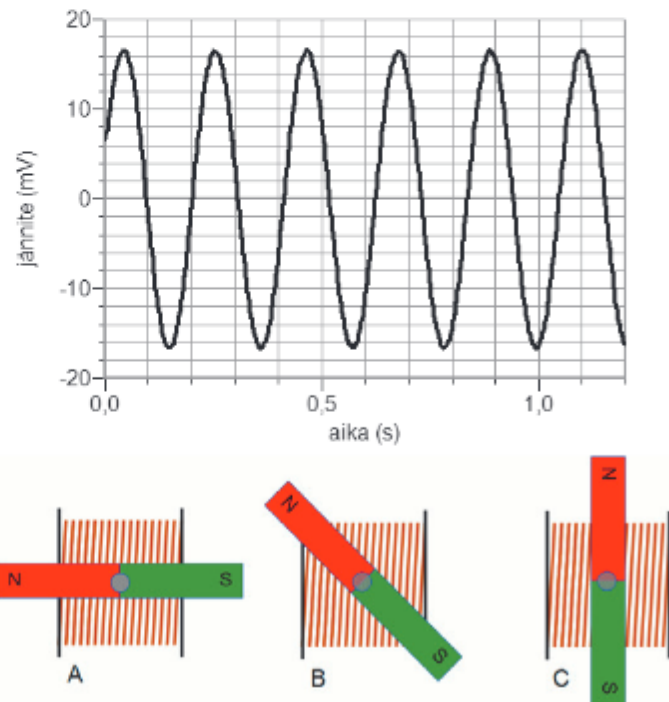
Kuva 1. John Wiley & Sons (muokattu)



Kuva 2.

(Kevät 2015)

8. Valokuva esittää paikallaan olevaa käämiä ja pyörivää sauvamagneettia. Kuvaajassa esitetään käämin navoista mitattu jännite.
- Miksi käämiin syntyy vaihtojännite?
 - Valokuvan tilanteessa magneettivuon tiheyden itseisarvo on käämin kohdalla lähes vakio. Käämissä on 300 kierrosta, ja sen poikkileikkaus on neliö, jonka sivun pituus on 42 mm. Kuinka suuri on magneettivuon tiheys käämin sisällä?
 - Kuvat A, B ja C esittävät koelaitteistoa magneetin pyörimisen eri vaiheissa kuvattuna magneetin pyörimisakselin suunnasta. Mikä kuvista A, B ja C esittää tilannetta i) jossa käämin navoista mitatun jännitteen itseisarvo on suurin, ja ii) jossa käämin navoista mitattu jännite on nolla? Perustelee.



(Syksy 2014)

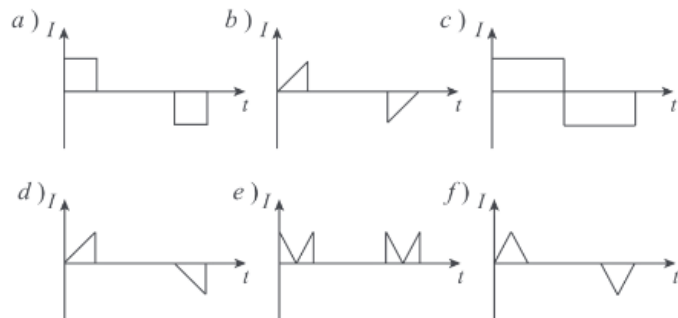
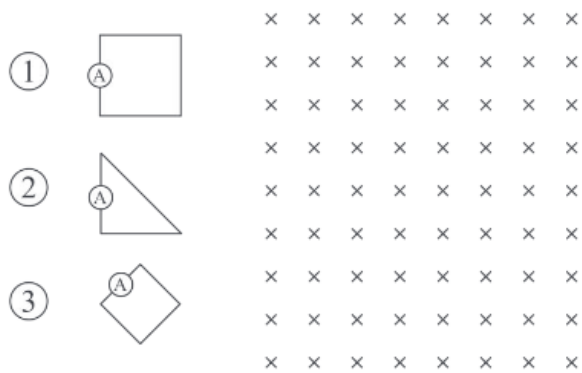
8. Sähkölämmitin, joka toimii teholla 1,0 kW, on kytketty vaihtojännitelähteeseen, jonka tehollinen jännite on 240 V ja taajuus 50 Hz. Lämmittimen teho halutaan laskea arvoon 850 W. Tämä voidaan toteuttaa kytkemällä lämmittimen kanssa sarjaan joko vastus tai käämi. Oletetaan, että lämmittimellä on vain resistanssia ja muut komponentit ovat ideaalisia.
- Kuinka suuri on tarvittavan vastuksen resistanssi?
 - Kuinka suuri on tarvittavan käämin induktanssi?
 - Kuinka suuri on jännitelähteestä otettava sähköteho kussakin tapauksessa?

(Kevät 2014)

- +13. Sähkön tuotannossa ja siirrossa sähkömagneettisella induktiolla on keskeinen merkitys.
- Selitä, miten muuntaja toimii. (3 p.)
 - Mistä muuntajien tehohukka aiheutuu? (2 p.)
 - Miksi sähköjakeluverkossa tarvitaan muuntajia? (2 p.)
 - Tehtaan käyttämä 15 kW:n hyötyteho siirretään 75 km:n päässä olevasta voimalaitoksesta. Siirtojohtimina käytetään alumiinijohtimia, joiden resistanssi pituusyksikköä kohti on $0,065 \Omega/\text{km}$. Mikä on energiansiirron hyötysuhde, kun siirtolinjan tehollinen napajännite tehtaalla on 1) 21 kV, 2) 400 V? (2 p.)

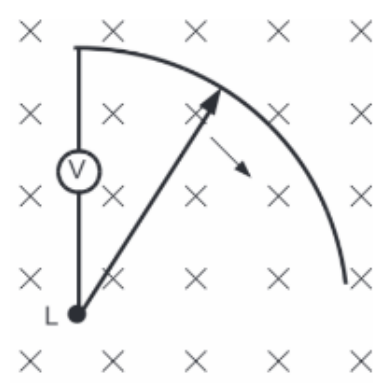
(Kevät 2014)

8. Oheisessa kuvassa on kolme virtasilmukkaa. Niihin on kytketty virtamittari. Silmukat vedetään vakionopeudella vasemmalta oikealle homogeenisen magneettikentän läpi. Yhdistä kukin silmukka oikeaan virtakuvaajaan. Perustele valintasi.



(Syksy 2013)

8. a) Johdinsilmukka koostuu kahdesta suorasta johtimesta ja ympyränkaaren muotoisesta johtimesta. Se on kuvan mukaisesti kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Oikeanpuoleinen suora johdin kiertyy myötäpäivään kulmanopeudella $12,6 \text{ rad/s}$ pisteen L ympäri. Suorien johtimien pituus on 36 cm , ja magneettivuon tiheys on 76 mT . Laske jännitemittarin näyttämä jännite.
- b) Suora alumiiniputki ripustetaan toisesta päästään jousivaakaan. Putken läpi pudotetaan ensin messinkitanko ja sitten sen kanssa samanmuotoinen ja -massainen voimakas sauvamagneetti. Havaitaan, että magneetin putoaminen putken läpi kestää huomattavasti kauemmin kuin messinkitangon putoaminen ja magneetin pudotessa putkessa jousivaaka näyttää putken massaa suurempaa lukemaa. Miten selität havainnot?



(Kevät 2013)

YTL:n HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEET

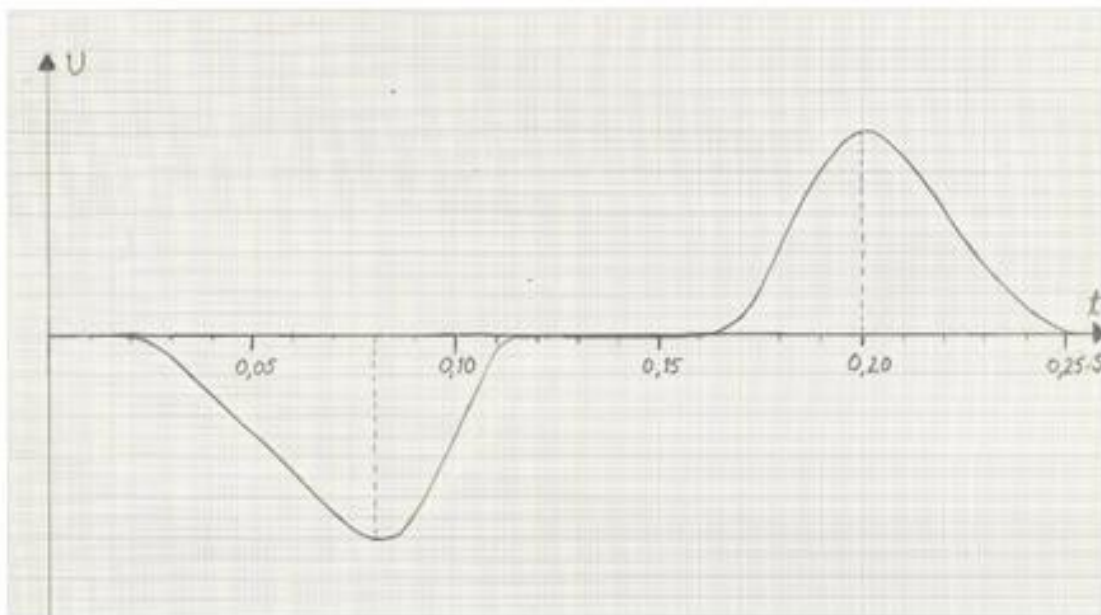
Tehtävä 8

- a) Kun magneetin pohjoisnapa menee käämin sisään, käämin läpäisevä magneettivuon aluksi kasvaa, jolloin käämiin indusoituu jännite $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$. Magneettivuon muutosnopeus $\frac{d\Phi}{dt}$ on tällöin positiivinen, joten induktiolain mukaisesti jännite on negatiivinen. Magneettivuon muutosnopeus kasvaa aina ajanhetkeen 0,08 s saakka, johon asti myös jännitteen itseisarvo kasvaa. Tämän jälkeen magneettivuon muutosnopeus pienenee, jolloin induktiojännitteen itseisarvo pienenee.

Käämin ollessa magneetin keskiosan ympärillä magneettivuon ei muutu, joten induktiojännite on nolla.

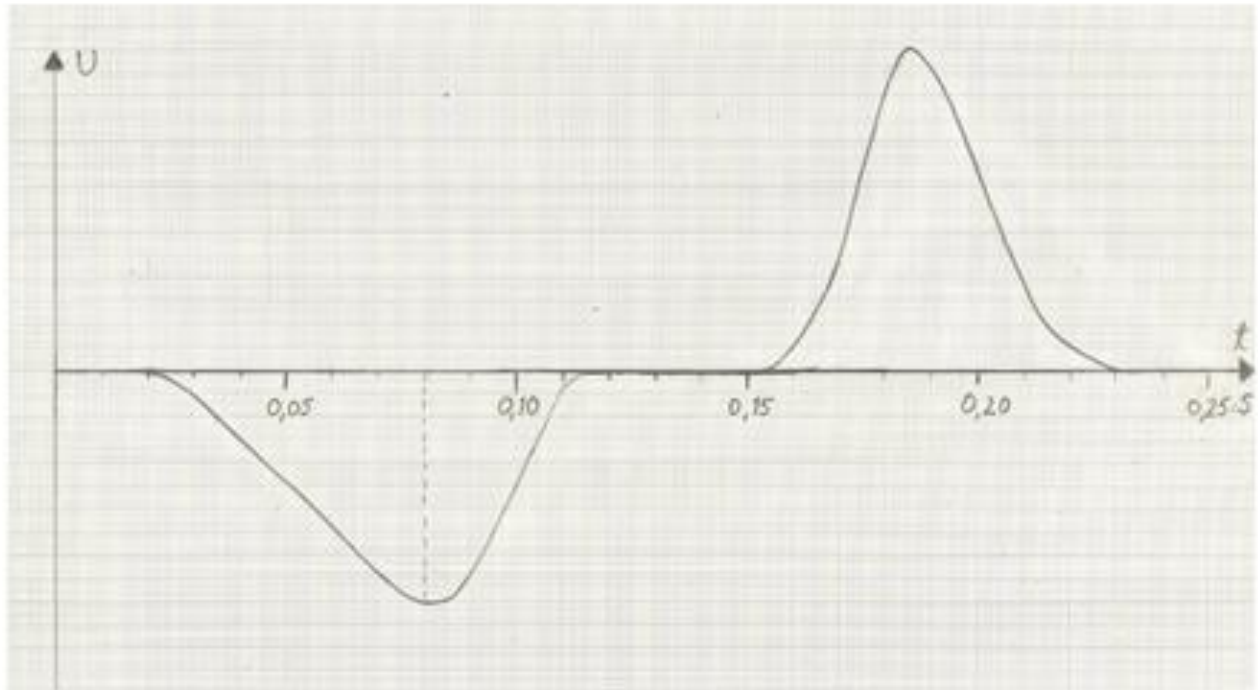
Magneetin poistuessa käämistä magneettivuon pienenee. Magneettivuon muutosnopeus $\frac{d\Phi}{dt}$ on tällöin negatiivinen, mistä aiheutuu positiivinen induktiojännite. Induktiojännite kasvaa, kun magneettivuon muutosnopeuden itseisarvo kasvaa, ja vastaavasti induktiojännite pienenee, kun magneettivuon muutosnopeuden itseisarvo pienenee. Jännitteen huippuarvo saavutetaan noin ajanhetkellä 0,20 s.

Koska magneetti liikkuu vakionopeudella, käämin läpäisevä magneettivuon muuttuu alussa ja lopussa samalla tavalla. Jännite indusoituu alku- ja loppuvaiheessa samalla tavalla, ja jännitepiikit kestävät ajallisesti yhtä kauan.



Selitys 2 p. ja kuva 2 p.

- b) Koska magneetin nopeus kasvaa koko ajan, magneetin loppuosa kulkee käämin läpi nopeammin kuin alkuosa. Magneettivuon muutosnopeus on lopussa suurempi kuin alussa. Tällöin induktiojännitteen huippuarvo on suurempi magneetin poistuessa käämistä kuin magneetin mennessä käämin sisään. Jännitepiikki kestää myös lyhyemmän ajan lopussa kuin alussa ja on muodoltaan epäsymmetrinen.



Selitys 1 p. ja kuva 1 p.

Tehtävä +13

Vastauksessa voidaan käsitellä esimerkiksi seuraavia asioita:

Mekaaniset koneet

Yksinkertaiset koneet: vipu, väkipyörä, talja, kalteva taso

- Vivulla esimerkiksi siirretään lihasten energiaa nostettavan kappaleen potentiaalienergiaksi.
- Kone pienentää syöttövoimaa.
- Syöttövoiman tekemä työ W_s on suurempi kuin kuormavoimaa vastaan tehty hyötytyö $W_h \Rightarrow$ koneessa on energiahäviöitä, jotka aiheutuvat kitkasta, muodonmuutoksista, jne.
- Koneen hyötysuhde on $\eta = \frac{W_h}{W_s}$.

Vesiratas, tuuliratas, turbiini

- Osa virtaavan aineen liike-energiasta saadaan muutettua esim. generaattorin pyörimisenergiaksi.
- Energiahäviöt aiheutuvat mm. kitkahäviöistä ja ohivirtauksesta.
- Tuulimyllyn hyötysuhde on alle 50 %, vesiturbiinin jopa 95 %.

Lämpövoimakoneet

- Jaksollisesti toimivia koneita, jotka muuttavat lämpöä mekaaniseksi työksi.
- esim. höyrykone, polttomoottori, höyry- ja kaasuturbiinit
- Hyötysuhteella on lämpöopin 2. pääsäännön mukainen teoreettinen yläraja, joka riippuu koneen lämpötilaerosta, $\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, kun kone toimii kahden vakio- T -lämpötilaisen säiliön välillä. Todellisuudessa hyötysuhde on selvästi pienempi.
- Mm. sähköä tuottavat ydin-, kivihiili-, maakaasu- ja öljyvoimalat ovat lämpövoimakoneita.

Sähkömoottorit

- Sähkömoottori muuntaa sähköenergiaa liike-energiaksi.
- Sähkömoottorin toimintaperiaate lyhyesti: Sähkömoottorissa on käämejä, joihin luodaan sähkövirran avulla magneettikenttä. Moottorin pyörivää osaa kutsutaan roottoriksi ja paikallaan olevaa osaa staattoriksi. Kun moottorin magneettikentän suuntaa vaihdellaan sopivalla taajuudella, roottori saadaan pyörimään akselinsa ympäri.
- Moottorin hyötysuhde määrittelee, kuinka suuren sähkötehon moottori ottaa sähköverkosta tuottaakseen nimellistehonsa verran mekaanista tehoa. Sähkömoottoreiden hyötysuhteeseen vaikuttavat moottorin koko ja laatu, mutta tyypillisesti moottorien hyötysuhde on 70–95 %.
- Sähkömoottorissa energiahäviöitä syntyy mm. seuraavilla tavoilla:
 - Käämien magneettikenttää vahvistetaan rautasydämellä. Osa sähköenergiasta muuttuu rautasydämessä lämmöksi pyörrevirtojen vuoksi. Moottoria täytyy tuulettaa esimerkiksi puhaltimella tai tuulettimella, ettei moottori lämpene liikaa. Kuumuus vaurioittaa mm. käämien johtimien sähköeristystä. Tämä pienentää moottorin hyötysuhdetta.
 - Energiahäviöitä syntyy myös siitä, että käämityksien kuparijohtimilla on resistanssia ja johtimet lämpiävät.
 - Pyörivissä osissa tapahtuu kitkan vuoksi liike-energian häviöitä. Kitkaa pienennetään laakereiden avulla.

Tehtävä 8

- a) Pitkässä, suorassa johtimessa on sähkövirta, joten sen ympärille syntyy magneettikenttä. Magneettikentän vuontiheyden suunta on kohtisuorasti silmukan läpi. Magneettivuon tiheys etäisyydellä r johtimesta on

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

1 p.

Silmukan keskikohdan etäisyys johtimesta on 5,5 cm, joten silmukan lävistävä magneettivuon on likimain

$$\Phi = BA = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi r}\right) A = \frac{\mu_0 AI}{2\pi r}.$$

1 p.

Arvio induktiojännitteestä saadaan induktiolain avulla

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\mu_0 A \Delta I}{2\pi r \Delta t} = -\frac{\mu_0 a^2 (0 - I_0)}{2\pi r \Delta t} = \frac{\mu_0 a^2 I_0}{2\pi r \Delta t}$$

1 p.

$$e = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 \cdot (0,010 \text{ m})^2 \cdot 2,0 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,055 \text{ m} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 0,0007273 \text{ V} \approx 0,7 \text{ mV}$$

1 p.

- b) Induktiojännite pienenee, jos johdin vietään kauemmaksi silmukasta, koska silmukan läpäisevä magneettivuon heikkenee etäisyyden kasvaessa. 1 p.

Induktiojännite pienenee, kun johdinta tai silmukkaa siirretään siten, että johtimen magneettikenttä on silmukan tason suuntainen, jolloin silmukan läpi ei ole magneettivuota.

1 p.

Muutkin fysikaalisesti oikein perustellut vastaukset hyväksytään.

Tehtävä +12

- a) Ohmin lakia noudattavalle komponentille $R = \frac{U}{I}$ on vakio, jolloin napajännitettä virran funktiona esittävä kuvaaja (I, U)-koordinaatistossa on origon kautta kulkeva suora. 1 p.

Hehkulampun ja zenerdiodin kuvaajat eivät ole tällaisia, joten komponentit eivät noudata Ohmin lakia. 1 p.

- b) Hehkulamppu valaisee, kun volframista valmistetun ohuen hehkulangan läpi kulkeva sähkövirta kuumentaa langan hehkuvaksi. Hehkulangan lämpötila riippuu langan läpi kulkevasta sähkövirrasta. 1 p.

Metallilangan staattinen resistanssi $R_s = \frac{U}{I}$ kasvaa, kun lämpötila nousee. Tämän vuoksi hehkulampun (I, U)-kuvaaja on sitä jyrkempi, mitä suurempi on lampun läpi kulkevan sähkövirran itseisarvo. 1 p.

Hehkulampun kuvaaja on hieman epäsymmetrinen origon suhteen. Tämä johtuu lämpötilan muutoksen epäsymmetriasta lampun lämmitessä ja jäähtyessä. Kun sähkövirran ja jännitteen itseisarvot kasvavat, lamppu lämpenee ja kirkastuu. Tällöin lämpötila on hehkulangan lämpökapasiteetin vuoksi koko ajan hieman pienempi kuin lämpötila olisi staattisilla virran ja jännitteen arvoilla. Vastaavasti kun sähkövirran ja jännitteen itseisarvot pienenevät, lamppu jäähtyy ja himmenee, ja hehkulangan lämpötila on koko ajan hieman suurempi kuin se olisi staattisilla virran ja jännitteen arvoilla. 1 p.

- c) $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$ ½ p.

Lampun ja zenerdiodin läpi kulkee yhtä suuri virta. ½ p.

Etsitään kuvaajien avulla virran arvo, jolla $U_{AB} + U_{BC} = 3,5 \text{ V}$. ½ p.

Tämä toteutuu, kun $U_{AB} = 2,7 \text{ V}$ ja $U_{BC} = 0,8 \text{ V}$. ½+½ p.

Tällöin $I = 0,165 \text{ A}$. ½ p.

- d) Hehkulampun toiminta on riippumaton sähkövirran suunnasta, joten lamppu ei valaise kun $|I| < 0,075 \text{ A}$. ½ p.

$I = 0,075 \text{ A}$: $U_{AC} = 0,40 \text{ V} + 0,75 \text{ V} = 1,15 \text{ V}$ ½ p.

$I = -0,075 \text{ A}$: $U_{AC} = -0,55 \text{ V} + (-3,10 \text{ V}) = -3,65 \text{ V}$ ½ p.

Lamppu ei valaise, kun virtalähteen napajännite on välillä $-3,65 \text{ V} < U_{AC} < 1,15 \text{ V}$. ½ p.

Tehtävä 8

- a)** Rauta on ferromagneettista ainetta. Rautatanko käämin sisällä vahvistaa huomattavasti magneettikenttää. Mitattu magneettivuon tiheys on siis huomattavasti suurempi kuin tyhjän käämin vastaava. 1 p.

Ferromagneettisissa aineissa, kuten raudassa, on valmiiksi magnetoituneita alkeisalueita. 1 p.

Alkeisalueiden magneettisuus on peräisin läheisten atomien vuorovaikutuksesta. Kun ulkoista magneettikenttää ei ole, alkeisalueiden magnetoitumissuunnat osoittavat satunnaisesti suuntiin eikä koko kappale tuota ulkopuolelleen magneettikenttää.

Kun ferromagneettinen aine asetetaan ulkoiseen magneettikenttään, alkaa magneettikenttä kääntää alkeisalueita ulkoisen kentän suuntaiseksi. Nämä vahvistavat ulkoista kenttää huomattavasti. 1 p.

- b)** Alumiini on paramagneettista ainetta, joten se vahvistaa magneettikenttää vain vähän. Mitattu vuontiheys on siis vain vähän tyhjän käämin vastaavaa suurempi ja huomattavasti a-kohdassa mitattua pienempi. 1 p.

Paramagneettisissa aineissa, kuten alumiinissa, magneettikentän suuntaiseksi kääntyvät vain joidenkin elektronien magneettiset momentit. Tämä on paljon ferromagnetismia heikompi ilmiö, joten ulkoinen kenttäkin vahvistuu vähemmän. 1 p.

- c)** Ferromagneettiset aineet muuttuvat paramagneettisiksi, kun niiden lämpötila ylittää tietyn rajalämpötilan, ns. Curie-lämpötilan. Raudan Curie-lämpötila on 770°C , joten 850°C :n lämpötilassa rauta on paramagneettista ja magneettikenttä vahvistuu vain vähän. 1 p.

Tehtävä 8

a) Merivedessä on yhtä suuret määrät positiivisia ja negatiivisia ioneja. Jännitteen synnyttämä sähkökenttä saa ionit liikkeeseen. Sähkövirta on ionien liikettä. 1 p.

b) Moottorin työntövoima syntyy magneettikentän ja liikkuvien ionien välisestä vuorovaikutuksesta. Kun elektrodien välillä kulkee virta I , ioneihin kohdistuu magneettinen voima, joka on yhtä suuri sekä positiivisille että negatiivisille ioneille. 1 p.

Kokonaisvoima, joka kohdistuu varausta kuljettaviin ioneihin, on $F = IlB$, ja se on meriveden virtauksen suuntainen. 1 p.

Vastaavasti laivaan kohdistuu Newtonin III:n lain mukaisesti samansuuruinen mutta vastakkaissuuntainen voima. 1 p.

c) Kun elektrodien välillä kulkee virta I , ioneihin kohdistuu magneettinen voima

$$F = IlB = 700 \text{ A} \cdot 0,30 \text{ m} \cdot 15 \text{ T} = 3150 \text{ N} \approx 3,2 \text{ kN}$$

Laivaan kohdistuva työntövoima on yhtä suuri. 2 p.

Tehtävä 8

a)

Sauvamagneetin magneettikenttä on käämin kohdalla vaakasuorassa.

Magneettikenttä pyörii magneetin mukana. Tällöin käämin läpäisevä magneettivuo muuttuu.

1 p.

Käämiin syntyy induktiolain $U = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ mukainen vaihtojännite.

1 p.

b)

Käämin läpäisevä magneettivuo $\Phi = BA \cos \varphi = BA \cos(\omega t)$, jossa φ on magneettikentän ja käämin akselin välinen kulma ja ω on magneetin pyörimisen kulmanopeus.

$$U = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = NAB \cdot \omega \sin(\omega t) = NAB\omega \sin \varphi$$

$-1 \leq \sin \varphi \leq 1$, joten jännitteen maksimiarvo $|U|_{max} = NAB\omega$.

Kuvaajasta määritettynä $|U|_{max} = 16,5 \text{ mV}$.

1 p.

Luetaan kuvaajasta viiden jakson aika, ja määritetään jaksonaika

$$T = \frac{1,06 \text{ s}}{5} = 0,212 \text{ s, josta } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,212 \text{ s}} = 29,637667 \text{ s}^{-1}.$$

$$B = \frac{|U|_{max}}{NA\omega} = \frac{0,0165 \text{ V}}{300 \cdot (0,042 \text{ m})^2 \cdot 29,637667 \text{ s}^{-1}} = 0,00105201 \text{ T} \approx 1,1 \text{ mT}$$

1 p.

c)

Käämin navoista mitattu jännite on $U = NAB\omega \sin \varphi$.

i) $|U|$ saavuttaa maksimiarvonsa, kun $\sin \varphi = \pm 1$, eli $\varphi = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi, n = 0,1,2 \dots$. Tämä vastaa kuvaa C.

ii) $U = 0$, kun $\sin \varphi = 0$, eli $\varphi = n\pi, n = 0,1,2 \dots$ Tämä vastaa kuvaa A.

2 p.

Tehtävä 8

Koska lämmittimellä on vain resistanssia, on lämmitin läpi kulkeva virta ennen toisen komponentin kytkemistä Ohmin lain mukaan

$$I = \frac{U}{R}$$

ja teho

$$P = UI = \frac{U^2}{R}$$

$$U = 240 \text{ V} \quad P = 1000 \text{ W}$$

Lämmitin resistanssi on

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(240 \text{ V})^2}{1000 \text{ W}} = 57,6 \Omega$$

a)

Jotta lämmitin teho olisi $P_0 = 850 \text{ W}$, on tehollisen virran oltava

$$I = \sqrt{\frac{P_0}{R}} = \sqrt{\frac{850 \text{ W}}{57,6 \Omega}} = 3,841476857 \text{ A}$$

Jotta piirissä kulkisi tällainen tehollinen virta, on toisen vastuksen resistanssin R_0 oltava

$$R_0 = \frac{U}{I} - R = \frac{240 \text{ V}}{3,841476857 \text{ A}} - 57,6 \Omega = 4,8759719 \Omega \approx 4,9 \Omega$$

b)

Kun piiriin kytketään käämi, on piirin läpi kulkeva tehollinen virta

$$I = \frac{U}{Z}$$

missä

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

on piirin impedanssi. Tässä $X_L = \omega L$ on induktiivinen reaktanssi ja $\omega = 2\pi f$ kulmataajuus. Lämmitin on ainoa komponentti, jolla on resistanssia, joten sen teho on

$$P_0 = UI \cos \varphi = \frac{U^2 R}{Z^2}, \text{ sillä } \tan \varphi = \frac{X_L}{R},$$

josta

$$Z = \sqrt{\frac{U^2 R}{P_0}} = \sqrt{\frac{(240 \text{ V})^2 \cdot 57,6 \Omega}{850 \text{ W}}} = 62,47597 \Omega$$

Tästä voidaan ratkaista sopiva käämin induktanssi:

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{(62,47597 \Omega)^2 - (57,6 \Omega)^2}}{2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}} = 0,07702092 \text{ H} \approx 77 \text{ mH}$$

c)

Lisävastuksen tapauksessa jännitelähteen antama sähköteho on

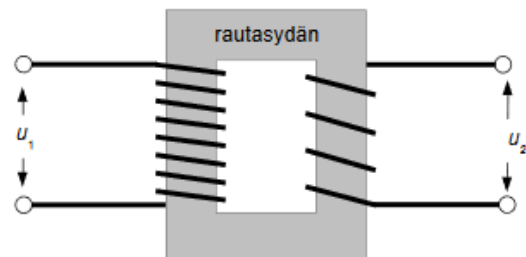
$$P_R = \frac{U^2}{R + R_0} = \frac{(240 \text{ V})^2}{57,6 \, \Omega + 4,8759719 \, \Omega} = 921,95445 \text{ W} \approx 920 \text{ W}.$$

Vaihtovirtapiirissä oleva ideaalinen käämi ei kuluta tehoa, joten käämin tapauksessa jännitelähteestä otettu teho on sama kuin lämmittimen teho:

$$P_L = 850 \text{ W}$$

Tehtävä +13

- a) Muuntajaa käytetään vaihtovirtalähteen napajännitteen muuntamiseen suuremmaksi tai pienemmäksi. Muuntajassa on kaksi käämiä, joilla on yhteinen rautasydän. Rautasydämessä oleva vaihtuva magneettivuo $\Phi = \Phi(t)$ on yhteinen muuntajan kummallekin käämille. Toisiokäämiin indusoituu induktiolain mukaisesti jännite, jolloin jännitteet muuntajan ensiö- ja toisiokäämissä ovat



$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \text{ ja } e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

missä N_1 ja N_2 ovat johdinkierrosten lukumäärät ensiö- ja toisiokäämissä. Kun käämien resistanssit ovat pienet (ideaalinen muuntaja), ensiö- ja toisiokäämien päiden väliset jännitteet ovat $u_1 = e_1$ ja $u_2 = e_2$, ja muuntajan muuntosuhteeksi saadaan

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

- b) Muuntajien tehonhukka aiheutuu johdinten resistansseista, rautasydämeen indusoituviesta pyörreirroista ja raudan magnetoitumisen jatkuvasta vaihtelusta. Kaikki nämä aiheuttavat muuntajan lämpenemistä.

- c) Sähkövirta antaa mahdollisuuden energiansiirtoon. Energiansiirron hukateho kasvaa ja hyötysuhde pienenee voimakkaasti sähkövirran kasvaessa: $P = IU = I^2R$. Mitä pidempi matka on voimalaitoksen ja kuluttajan välillä, sitä enemmän tehoa kuluu hukkaan johtimissa. Tärkeimmäksi hukatehoksi muodostuu yleensä siirtojohtimien resistanssista aiheutuva tehonkulutus. Kannattaisi käyttää mahdollisimman suuria napajännitteitä, ellei tämä toisi mukanaan suuria turvallisuusriskejä kuluttajapäässä. Muuntaja tarjoaa ratkaisun ongelmaan: Muuntajien avulla korkeajännite voidaan laskea kuluttajapäässä turvallisemmalle tasolle.
- d) Ensiö- ja toisiopuolen tehot P_1 ja P_2 ovat yleensä likimain yhtä suuret, eli $P_1 = U_1I_1 = U_2I_2 = P_2$. Muuntajan hyötysuhde on $\eta = P_{\text{otto}}:P_{\text{anto}}$, missä P_{anto} on toisiopuolen antama teho ja P_{otto} ensiöpuolen ottama teho.

Siirtolinjaan tarvitaan meno- ja paluujohdin, eli kaksi 75 km:n pituista johdinta, joiden kokonaisresistanssi on $R = l \cdot \rho_l = 150 \text{ km} \cdot 0,065 \Omega/\text{km} = 9,75 \Omega$.

Annetuilla arvoilla saadaan

$$I = \frac{P}{U}$$

$$1) \quad I = \frac{15 \text{ kW}}{21 \text{ kV}} = 0,71 \text{ A}$$

$$2) \quad I = \frac{15 \text{ kW}}{0,400 \text{ kV}} = 37,5 \text{ A}$$

Siirtojohtimien resistanssista aiheutuu Joulen lain mukaan hukateho $P_R = I \cdot U$

$$1) \quad P_R = I^2R = (0,71 \text{ A})^2 \cdot 9,75 \Omega = 4,9 \text{ W}$$

$$2) \quad P_R = I^2R = (37,5 \text{ A})^2 \cdot 9,75 \Omega = 13,7 \text{ kW}$$

Hyötysuhteiksi saadaan

$$1) \quad \eta = \frac{P_T}{P_G} = \left(1 + \frac{P_R}{P_T}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{4,9 \text{ W}}{15000 \text{ W}}\right)^{-1} = 0,99967 \approx 99,97 \%$$

$$2) \quad \eta = \frac{P_T}{P_G} = \left(1 + \frac{P_R}{P_T}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{13,7 \text{ kW}}{15 \text{ kW}}\right)^{-1} = 0,523 \approx 52 \%$$

Tehtävä 8

Induktiolain mukaan virtasilmukkaan indusoituu jännite, jos silmukan läpi kulkeva magneettivuo $\Phi = AB$ muuttuu. Tehtävän tapauksessa magneettivuo muuttuu, kun silmukka menee magneettikenttään ja kun silmukka poistuu magneettikentästä. Kun silmukka on magneettikentässä kokonaan, induktiojännitettä ei synny. Tällöin virta silmukassa on nolla.

Silmukka liikkuu kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Magneettivuon tiheys B on vakio. Induktiojännitteen suuruus saadaan induktiolaista.

$$u = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Virtasilmukassa kiertävän sähkövirran suuruus on suoraan verrannollinen induktiojännitteeseen ja kääntäen verrannollinen virtasilmukan resistanssiin R . Resistanssin oletetaan olevan vakio.

$$I = \frac{|u|}{R} = \frac{B \Delta A}{R \Delta t} = \frac{B dA}{R dt}$$

Koska B ja R ovat vakioita, virtasilmukassa kiertävän virran suuruus on verrannollinen pinta-alan muutosnopeuteen $\frac{dA}{dt}$.

1) Virta silloin, kun neliön muotoinen silmukka 1 tulee magneettikenttään:

$$I = \frac{B d(vta)}{R dt} = \frac{Bav}{R},$$

missä a on silmukan sivun pituus, v sen nopeus ja t aika. Pinta-alan muutosnopeus on vakio ja silmukan virta sen tullessa kenttään on siten myös vakio. Kun silmukka tulee ulos magneettikentästä, saadaan vastaavalla tavalla:

$$I = \frac{B d(a^2 - vta)}{R dt} = -\frac{Bav}{R},$$

eli virta muuttaa suuntaansa. Silmukan ollessa kokonaan magneettikentässä, sen pinta-alan muutosnopeus on nolla ja virta on siksi nolla. Virtakuvaaja a vastaa siten virtasilmukkaa 1.

2) Virta, kun kolmionmuotoinen silmukka 2 menee magneettikenttään:

$$I = \frac{B d v^2 t^2}{R dt} = \frac{Bv^2 t}{R},$$

eli pinta-alan muutosnopeus kasvaa lineaarisesti ja virta kasvaa myös lineaarisesti. Kun virtasilmukka tulee ulos magneettikentästä, saadaan vastaavalla tavalla:

$$I = \frac{B d}{R dt} \left(\frac{a^2}{2} - \frac{v^2 t^2}{2} \right) = -\frac{Bv^2 t}{R}.$$

Virran suunta muuttuu. Kun silmukka on kokonaan magneettikentässä, sen pinta-alan muutosnopeus on nolla ja virta on siksi nolla. Virtakuvaaja d vastaa siten virtasilmukkaa 2.

3) Kun neliö 3, joka on käännetty 45° , tulee magneettikenttään, silmukan virraksi saadaan aluksi:

$$I_1 = \frac{B d}{R dt} v^2 t^2 = \frac{2Bv^2 t}{R},$$

eli pinta-alan muutosnopeus ja virta kasvavat lineaarisesti. Tämä pätee siihen saakka, kunnes puolet silmukasta on tullut magneettikenttään. Tästä eteenpäin magneettivuoa jatkaa kasvamistaan, mutta pinta-alan muutosnopeus pienenee. Tällöin virraksi saadaan:

$$I_2 = \frac{B d}{R dt} \left(\frac{a^2}{2} + \sqrt{2}avt - v^2 t^2 \right) = \frac{B}{R} (\sqrt{2}av - v^2 t),$$

eli virta pienenee lineaarisesti huippuarvostaan. Kun silmukka on kokonaan magneettikentässä, virta on nolla. Kun silmukka tulee ulos kentästä, virran suunta muuttuu. Virtakuvaaja f vastaa siten virtasilmukkaa 3.

Tehtävä 8

a) Induktiolain mukaisesti johdinsilmukkaan indusoituu muuttuvassa, silmukan tasoa vastaan kohtisuorassa magneettikentässä jännite $U = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t}$, jossa Φ on silmukan läpäisevä magneettivuoa, B on magneettivuon tiheys ja A on silmukan pinta-ala.

Kun johdin kääntyy kulman $\Delta\alpha$, silmukan pinta-alan muutos on $\Delta A = \frac{\Delta\alpha}{2\pi} \pi r^2 = \frac{r^2}{2} \Delta\alpha$

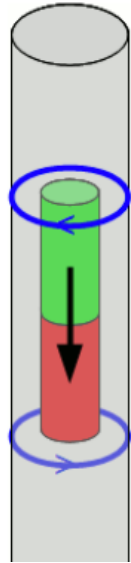
Indusoituvaa jännite:

$$U = -\frac{Br^2}{2} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = -\frac{Br^2}{2} \cdot \omega = -\frac{76 \cdot 10^{-3} \text{T} \cdot (0,36 \text{ m})^2}{2} \cdot 12,6 \text{ s}^{-1} = -0,0620525 \text{ V}$$

Mittarin näyttämä jännite on 62 mV.

- b) Kun magneetti putoaa putkessa, putken seinämät ovat muuttuvassa magneettikentässä. Putkeen indusoituu pyörrevirtoja, joiden suunnat ovat Lenzin lain mukaan sellaiset, että niiden synnyttämät magneettikentät pyrkivät vastustamaan magneettikentän muutosta. Tällöin pyörrevirtojen magneettikentät kohdistavat sauvamagneettiin sen liikettä vastaan suuntautuvan voiman. Tämä jarruttaa magneetin putoamista, joten magneetti putoaa putken läpi hitaammin kuin magnetoitumaton messinkitanko.

Magneetin pudotessa sen ja putken välillä vallitsee magneettinen vuorovaikutus. Magneettiin kohdistuu voima ylöspäin, joten NIII:n mukaan putkeen kohdistuu vastavoima alaspäin. Tämän vuoksi jousivaa'an näyttämä on putken massaa suurempi.



(Kevät 2013)

Lähde: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/12/15/yo-kokeet-fysiikka>