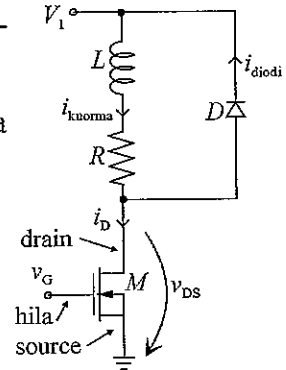


Tentissä saa käyttää laskinta!

1. Kuvassa on esitetty yksinkertainen **tasajännitekatkoja**. Katkojana toimivaa n-tyyppin mosfet-komponenttia  $M$  ohjataan kanttiaalolla, jonka pulssisuhde on  $\frac{1}{2}$ .

- a) Piirrä alekkain jännitteiden  $v_G$  ja  $v_{DS}$  sekä virtojen  $i_{kuorma}$ ,  $i_D$  ja  $i_{diodi}$  periaatteelliset käyrämuodot, kun  $L$  oletetaan pieneksi. (2 p)
- b) Piirrä a-kohdan käyrämuodot, kun  $L$  oletetaan suureksi. (1p)
- c) Mikä on diodin  $D$  tarkoitus? (1p)
- d) Mitä tapahtuisi, jos diodia  $D$  ei olisi? (1p)
- e) Miten käyrämuodot muuttuvat, jos kuristin  $L$  poistetaan (=korvataan johtimella)? Tarvitaanko tällöin diodia  $D$ ? (1p)



2. **Yksivaiheinen tyristoritasasuuntaussilta** on kytketty vaihtosähköverkkoon.

- a) Piirrä kytkennän päävirtapiiri, kun tasasuuntaajan kuorma muodostuu sarjaan kytketyistä vastuksesta ja kuristimesta, ja esitä lyhyesti piirin toimintaperiaate. (2p)
- b) Piirrä alekkain verkkojännitteen, kuormajännitteen, kuormavirran sekä verkkovirran periaatteelliset käyrämuodot allekkain yhden verkkojakson ajalta, kun kuormana on pelkkä vastus ja tyristorien sytytyskulma on  $30^\circ$ . (2p)
- c) Piirrä alekkain b-kohdassa kysytyt käyrämuodot, kun kuorma oletetaan vakiovirtakuormaksi ja sytytyskulma on  $60^\circ$ . (2p)

3. **Erillismagnetoitu tasavirtamoottori**. Esitä lyhyesti sen

- a) rakenne, (1 p)
- b) toimintaperiaate, (1 p)
- c) sijaiskytkentä, (1 p)
- d) stationääristä toimintapistettä kuvaavat yhtälöt, (1p)
- e) pyörimisnopeuteen vaikuttavat tekijät, (1 p)
- f) tyypillinen syöttävä suuntaajakytkentä. (1 p)

4. **Yksivaiheinen tehofeteillä toteutettu kokosiltavaihtosuuntaaja**, jonka syöttöjännite  $U_d$  on 200 V.

- a) Esitä kytkentä ja nimeä sen komponentit. (1p)

Esitä kytkimien ohjausperiaate ja piirrä ulostulojännitteen käyrämuoto käytettäessä suuntaajassa

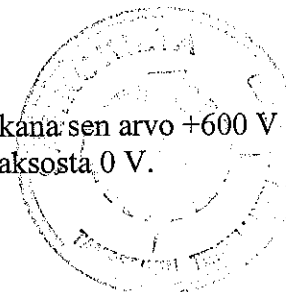
- b) kantiaaltoohjausta, (1p)
- c) vaiheleikkausohjausta, (2p)
- d) pulssinleveysmodulointia. (2p)

5. **Kolmivaiheista oikosulkumoottoria** ( $P_n = 2,2 \text{ kW}$ ,  $U_n = 400 \text{ V}$ ,  $I_n = 6 \text{ A}$ ,  $n_n = 2960 \text{ rpm}$ ,  $f_n = 50 \text{ Hz}$ ) **syötetään** jännitevälipiirillisellä **taajuudenmuuttajalla**, joka on kytketty Suomen sähköverkkoon.

- a) Piirrä kytkennän päävirtapiiri, kun moottoria myös jarrutetaan suuntaajalla. (1p)
- b) Mikä on moottorin napapariluku ja kuinka suuri on sen nimellinen jättämä? (1p)
- c) Mikä on moottorin syöttöjännitteen taajuuden oltava, kun moottorin halutaan pyöriävän nopeudella 1000 rpm nimellisellä kuormamomentilla? (2p)
- d) Mikä on moottorin syöttöjännitteen oltava c-kohdan tilanteessa? (1p)
- e) Miten moottori saadaan siirtymään sähköiseen jarrutukseen? (1p)



- 1) **Tarkastellaan virtaa, jonka jaksonaika on  $T$ .** Yhden jakson aikana sen arvo aikavälillä  $0,1T-0,4T$  on  $+50$  A ja aikavälillä  $0,6T - 0,9T$ ,  $-50$  A ja loput jakson ajasta  $0$  A.
  - a) Piirrä virran käyrämuoto ja laske sen keskiarvo. (1p)
  - b) Laske virran tehollisarvo. (2p)
  - c) Laske virran perusaallon ( $n=1$ ) amplitudi. (2p)
  - d) Laske virran perusaallon tehollisarvo. (1p)
  
- 2) **Yksivaiheinen tyristoritasasuuntaussilla** syöttöjännite  $U_{ac}$  on 230 V ja sytytyskulma  $\alpha$  on  $90^\circ$ .
  - a) Piirrä kytkennästä kuva. (1p)
  - b) Piirrä alekkain **verkköjännitteen, kuormajännitteen, kuormavirran ja verkkovirran** käyrämuodot, kun **kuormana** on puhdas resistanssi. (2p)
  - c) Piirrä alekkain **verkköjännitteen, kuormajännitteen, kuormavirran ja verkkovirran** käyrämuodot, kun **kuorma** on ideaalinen vakiovirtakuorma. (2p)
  - d) Laske kohdan c) tapauksessa muodostuvan **tasajännitteen keskiarvo**. (1p)
  
- 3) **Jännitettä nostava hakkuriteholähde.**
  - a) Esitä päävirtapiiri, kun tehokytkimenä käytetään MOSFET:ä (1p),
  - b) toiminta tehokytkimen johtaessa (1p),
  - c) toiminta tehokytkimen ollessa johtamattomassa tilassa (1p),
  - d) Kuristimen yli olevan jännitteen ja läpi kulkevan virran periaatteelliset käyrämuodot yhden toimintajakson aikana (1p).
  - e) Johda jännitteen muuntosuhteen lauseke virran ollessa jatkuvaa (1p),
  - f) Johda virran muuntosuhteen lauseke. (1p)
  
- 4) **Kolmivaiheinen vaihtosuuntaussilta.**
  - a) Esitä **IGB-Transistoreilla** toteutettu, induktiiviselle kuormalle soveltuva **päävirtapiiri** ja nimeä siihen komponentit ja kuorman liityntäpisteet. (1p)
  - b) Miten vaihtosuuntaajan rakenteessa huomioidaan induktiivinen kuorma. (1p)
  - c) Esitä alekkain sillan ulostulojännitteiden käyrämuodot kahden vaiheen (a ja b) osalta sekä niitä vastaava pääjännite käytettäessä kantiaalto-ohjausta. (2p)
  - d) Esitä periaatteelliset kohdan c) käyrämuodot käytettäessä PWM-ohjausta. (2)
  
- 5) **Kolmivaiheinen oikosulkumoottori :**  
 $P_n = 2,2$  kW,  $U_n = 400$  V,  $I_n = 6$  A,  
 $n_n = 1470$  rpm,  $f_n = 50$  Hz,  $p = 2$ .
  - a) Esitä sen periaatteellinen **rakenne** (1 p) ja
  - b) **toimintaperiaate** lyhyesti (1p).
  - c) Mitä tarkoitetaan sen **jättämällä ja kuinka suuri se** on kyseisellä koneella nimellisellä kuormalla? (1p)
  - d) **Millä taajuudella** nimelliskuormitettua moottoria pitäisi syöttää, jotta sen pyörimisnopeus olisi 1000 rpm? (2p)
  - e) **Paljonko** moottorin **syöttöjännitettä pitäisi muuttaa** nimellisestä edellisessä tapauksessa, jotta vuo pysyisi nimellisenä? (1p)



- 1) **Tarkastellaan jännitettä, jonka jaksonaika on  $T$ .** Yhden jakson aikana sen arvo  $+600$  V aikavälillä  $0,1T - 0,3T$ ,  $-400$  V aikavälillä  $0,4T - 0,8T$  ja loput ajat jaksosta  $0$  V.
  - a) Piirrä jännitteen käyrämuoto. (1p)
  - b) Laske jännitteen keskiarvo. (1p)
  - c) Laske jännitteen tehollisarvo. (2p)
  - d) Kuinka suuri lämpöteho syntyy, kun mainitulla jännitteellä syötetään  $100 \Omega$ :n vastusta? (2p)
  
- 2) Hakkuriteholähteet.
  - a) Piirrä **jännitettä laskevan hakkuriteholähteen** (*buck / step-down converter*) päävirtapiiri. Sen kuormana on vastus ( $45 \Omega$ ). (1p)
  - b) a-kohdan kuorman läpi halutaan kulkevan  $0,3$  A:n virta. Millä pulssisuhteella kyseinen virta saadaan aikaan, kun hakkurin syöttöjännitteen suuruus on  $50$  V? (1p)
  - c) Kuinka suuri kuristin a-kohdan hakkurissa tarvitaan, kun kuristimen virran vaihtelu saa olla  $\pm 10\%$  keskiarvostaan ja hakkurin kytkentätaajuus on  $30$  kHz? (1p)
  - d) Piirrä **jännitettä nostavan hakkuriteholähteen** (*boost / step-up converter*) päävirtapiiri. Sen syöttöjännite on  $15$  V ja pulssisuhde  $0,7$ . (1p)
  - e) Kuinka suuri on kuormajännite? (1p)
  - f) Kuinka suuri kuristin d-kohdan hakkurissa tarvitaan, kun  $53 \Omega$ :n kuormavastuksen tapauksessa kuristimen virran vaihtelu saa olla  $\pm 5\%$  keskiarvostaan ja hakkurin kytkentätaajuus on  $30$  kHz? (1p)

**Oletetaan kaikissa kohdissa kuormajännite vakioksi ja kuristimen virta jatkuvaksi.**
  
- 3) **Yksivaiheinen vaihtosuuntaussilta** syöttää induktiivista kuormaa.
  - a) Esitä **IGBT-Transistoreilla** toteutettu **päävirtapiiri** ja nimeä siihen komponentit ja kuorman liityntäpisteet. (1p)  
Esitä, **miten** sillan komponentteja on **ohjattava ja millainen kuormajännite** muodostuu, kun ohjaustapa on
    - b) kanttiaalto-ohjaus (1p)
    - c) vaiheleikkausohjaus ( $\alpha = 90^\circ$ ), (2p)
    - d) PWM-ohjaus. (2p)
  
- 4) **Erillismagnetoidun tasavirtamoottorin** jännitelähteenä on **3-vaiheinen tyristorisilta**, jota syötetään kolmivaiheverkosta, jonka pääjännite  $U_{LL} = 400$  V. Tasavirtamoottorin nimellisjännite  $U_{an} = 500$  V, nimellisvirta  $I_{an} = 500$  A ja nimellinen pyörimisnopeus  $n_n = 1600$  rpm. Ankkuriresistanssin  $R_a$  suuruudeksi on mitattu  $0,02 \Omega$ .
  - a) Piirrä kytkennästä kuva ja nimeä siihen komponentit ja tarkastelussa käyttämäsi suuret. (2p)
  - b) Mikä on tyristorisillan sytytyskulma moottorin nimellisessä toimintapisteessä? (2p)
  - c) Millä sytytyskulman arvolla moottorin pyörimisnopeus on  $1000$  rpm, kun koneen kuorma (=kuormavääntömomentti) on nimellinen, ja magnetointivirta  $I_m$  pidetään vakiona? (2p)
  
- 5) Esitä seuraavien **sähkökäyttöjen päävirtapiirin periaatteellinen rakenne** (toimintalohkot) ja **toimintaperiaate lyhyesti**:
  - a) pienoisloistelampun syöttöpiiri, (1p)
  - b) hitsausteholähde, (1p)
  - c) sähköjunan moottorikäyttö, (1p)
  - d) muuttuvanopeuksinen tuulivoimakäyttö, (1p)
  - e) aktiivisuodin (1p)
  - f) katkeamaton tehonsyöttöjärjestelmä (UPS). (1p)

✓ Esitä seuraavien tehokomponenttien osalta **piirrosmerkki, ohjaustapa, virta-, jännite- ja taajuusalueet** sekä tyypilliset **käyttökohteet**.

- tehdiodi (2p),
- GTO-tyristori (2p),
- IGB-transistori (2p).

2. ✓ +100 V ja -100 V ulostuloinen **kanttiaaltojännitelähde**, jonka pulssisuhde ( $T_{+100V} / T_{tot}$ ) on 2/3, on kytketty sarjaan diodin kanssa. Kytkenän kuormana on säätövastus: 10...100Ω.

- Piirrä kytkentä. (1p)
- Piirrä syöttöjännitteen, kuormavastuksen yli olevan jännitteen ja sen läpi kulkevan virran käyrämuodot allekkain, kun kuormavastus on säädetty arvoon 50 Ω. Merkitse kuviin myös huippuarvojen suuruudet. (2p)

c) Perustelee Ohmin lain ja vastuksen pätötehon lausekkeen avulla, millä vastusarvolla vastuksesta saatava lämpöteho on suurin. (1p)

→ Mikä on tällöin piirin virran tehollisarvo? (2p)

✓ **Jännitettä laskeva hakkuriteholähde (buck / step-down converter)**, jossa kuormajännite oletetaan vakioksi ja kuristimen virta jatkuvaksi.

- Piirrä laskevan hakkuriteholähteen (buck / step-down converter) päävirtapiiri. (1p)
- Piirrä piirin sijaiskytkennät sen tehokytkimen ollessa ohjattuna johtavaan tai johtamattomaan tilaan. (2p)
- Piirin kuormana on vastus (60 Ω), jonka läpi halutaan kulkevan 0,5 A:n virta. Millä pulssisuhteella kyseinen virta saadaan aikaan, kun syöttöjännitteen suuruus on 50 V? (1p)
- Kuinka suuri kuristin hakkurissa tarvitaan, kun kuristimen virran vaihtelu saa olla ±5% keskiarvostaan ja hakkurin kytkentätaajuus on 20 kHz? (2p)

✓ **Yksivaiheista tyristoritasasuuntaussiltaa** ohjataan 45° sytytyskulmalla.

- Piirrä kytkennän **päävirtapiiri** ja selitä lyhyesti sen **toimintaperiaate**. (2 p)
- Piirrä **alekkain** siltaa **syöttävän vaihtojännitteen, sillan antaman tasajännitteen, kuormavirran sekä vaihtojännitesyötöstä otettavan vaihtovirran periaatteelliset käyrämuodot**, kun
  - kuormana on puhdas resistanssi (2 p),
  - kuorma oletetaan puhtaaksi tasavirtakuormaksi (2 p).

5. **Taajuudenmuuttajalla syötetty oikosulkumoottorikäyttö.**

Esitä lyhyesti:

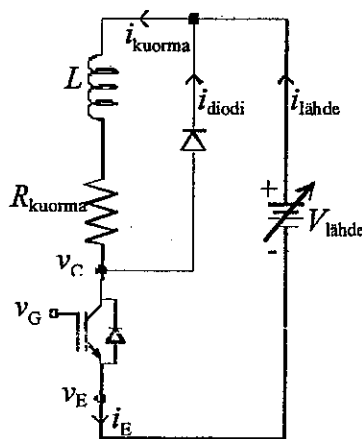
- Oikosulkumoottorin toimintaperiaate. (2p)
- Kolmivaiheisen PWM-taajuudenmuuttajan rakenne ja toimintaperiaate. (2p)
- Käyttöön soveltuvan takaisinkytketyn nopeudensäätöjärjestelmän toimintaperiaate (2p).



$\hat{u} = 100$   
 $\hat{u} = R \cdot \hat{i}$   
 $\hat{i} = \frac{\hat{u}}{R}$

3. Esitä selkeästi ja lyhyesti
- Teho-MOSFET:n piirrosmerkki, rakenne ja ominaisuudet
  - Kelan induktanssin suuruuteen vaikuttavat tekijät.
  - Laske, paljonko kondensaattorista otetaan energiaa alkutilanteeseen verrattuna, jos sen jännite puoliintuu.

4. Kuvan 1 piirin IGB-tansistoria (n-tyyppinen) ohjataan jännitteellä  $v_{GE}$ , jonka pulssisuhde on 2/5. Piirrä jännitteiden  $v_{GE}$  ja  $v_{CE}$  sekä virtojen  $i_E$ ,  $i_{kuorma}$  ja  $i_{diodi}$  käyrämuodot allekkain kahden kytkentäjakson ajalta. Mikä piirtämistäsi virroista on sama kuin virta  $i_{lähde}$ ? Kuristimen induktanssi on mitoitettu siten, että virta  $i_{kuorma}$  on aukollista.



kuva 1. Tehtävän 2 piiri.

5. Yksivaiheista tyristoritasasuuntaussiltaa ohjataan  $90^\circ$  sytytyskulmalla. Piirrä alekkain sillan antaman tasajännitteen ja kuormavirran periaatteelliset käyrämuodot, kun
- kuorma on puhdas resistanssi,
  - kuorma on induktiivien.
  - kuorman paikalla on virtalähde.
4. Yksivaiheinen puolisolttavaihtosuuntaaja
- Piirrä IGBT-komponenteilla toteutetun suuntaajan päävirtapiiri.
  - Esitä, mihin tarvitaan kytkinkomponenttien rinnalle sijoitettuja ns. nolladiodeja.
  - Laske sillan ulostulojännitteen perusaallon tehollisarvo käytettäessä kantiaalto-ohjausta, jos siltaa syöttävä tasajännite on 300 V.
5. Miten toteutetaan ja mihin perustuu
- tasavirtamoottorin nopeudensäätö tasasuuntaussiltaa käyttäen.
  - oikosulkumoottorin nopeudensäätö taajuudenmuuttajaa käyttäen.





1. Kanttiaaltojännitelähde, jonka ulostulo vaihtelee välillä  $-50\text{ V}$  ja  $+50\text{ V}$  ja jonka pulssisuhde on  $1/4$ , syöttää diodin kautta säädettävää vastuskuormaa. Kuorman vastusarvoa voidaan muuttaa välillä  $10\ \Omega \dots 50\ \Omega$ .
  - a) Piirrä kytkentä.
  - b) Piirrä syöttöjännitteen, kuormavastuksen yli olevan jännitteen ja sen läpi kulkevan virran periaatteelliset käyrämuodot allekkain.
  - c) Laske kuormavirran keskiarvo ja tehollisarvo vastusarvolla, jolla kuorman kuluttama lämpöteho on suurimmillaan.
  
2. Jännitettä nostava hakkuriteholähde.
  - a) Esitä päävirtapiiri, kun tehokykimenä käytetään MOSFET:ä ja kuormana on  $10\ \Omega$ :n vastuskuorma.
  - b) Esitä piirin toimintaperiaate.
  - c) Mikä ohjauksen pulssisuhteen  $D$  oltava, jotta kuormaan menisi  $2\text{ A}$ :n virta. Piirin syöttöjännite on  $15\text{ V}$  ja piirin kuristimen virta oletetaan jatkuvaksi?
  
3. Yksivaiheinen kokosiltavaihtosuuntaaja.
  - a) Piirrä IGBT-komponenteilla toteutetun suuntaajan päävirtapiiri.
  - b) Esitä vaiheleikkausohjauksen periaate.
  - c) Esitä PWM-ohjauksen periaate.
  
4. Kolmivaiheista oikosulkumoottoria syötetään jännitevälipiirillisellä taajuudenmuuttajalla, joka on liitetty  $400\text{ V}$ :n kolmivaiheverkkoon. Oikosulkumoottorin nimellinen teho on  $47\text{ kW}$ , nimellinen jännite  $400\text{ V}$ , nimellinen virta  $88\text{ A}$  ja nimellinen pyörimisnopeus  $980\text{ rpm}$ , kun moottorin syöttötaajuus on  $50\text{ Hz}$ .
  - a) Piirrä kytkennän päävirtapiiri, kun moottoria ei tarvitse jarruttaa sähköisesti.
  - b) Mikä on moottorin napapariluku?
  - c) Mikä on moottorin nimellinen jättämä?
  - d) Kuinka suuri on muuttajan tuottaman moottorin syöttöjännitteen perustaajuuden oltava, kun nimelliskuormitettu moottori pyörii  $400\text{ rpm}$ ?
  - e) Mikä on moottorin syöttöjännitteen perusaallon tehollisarvon oltava edellisessä kohdassa, jotta koneen vuo olisi nimellinen?
  
5. Esitä seuraavien tehoelektronikkasovellutusten päävirtapiirin rakenne ja toimintaperiaate lyhyesti.
  - a) hitsausteholähde,
  - b) UPS,
  - c) yliaaltojen kompensointiin tarkoitettu aktiivisuodin.



1. Esitä selkeästi ja lyhyesti
  - a) IGB-Transistorin toimintaperiaate ja ominaisuudet.
  - b) Kelan induktanssin suuruuteen vaikuttavat tekijät.
  - c) Kondensaattoriin varastoitunut energia.
  - d) Yksivaiheisen vaihtosuuntaajan puolisuuntakenttä.
  - e) Hitsausteholähteen päävirtapiirin rakenne.
  
2. Yksivaiheinen tyristoritasasuuntaaja on kytketty vaihtosähköverkkoon.
  - a) Piirrä kytkennän päävirtapiiri, kun tasasuuntaajan kuorma muodostuu sarjaan kytketyistä vastuksesta ja kuristimesta.
  - b) Piirrä syöttöjännitteen, kuormajännitteen ja -virran periaatteelliset käyrämuodot allekkain kahden kytkentäjaksan ajalta, kun kuormana on pelkkä vastus ja tyristorien sytytyskulma on  $60^\circ$ .
  - c) Piirrä b-kohdan käyrien alapuolelle kuormajännitteen ja -virran käyrämuodot a-kohdan tilanteessa, kun kuormavirta ei ole jatkuvaa tyristorien sytytyskulman ollessa  $60^\circ$ .
  
3. Laskeva hakkuriteholähde.
  - a) Piirrä hakkuriteholähteen päävirtapiiri.
  - b) Laskevan hakkuriteholähteen kuormana on vastus ( $45 \Omega$ ), jonka läpi halutaan kulkevan  $0,4 \text{ A}$ :n virta. Millä pulssisuhteella kyseinen virta saadaan aikaan, kun syöttöjännitteen suuruus on  $50 \text{ V}$ ?
  - c) Kuinka suuri kuristin b-kohdan hakkurissa tarvitaan, kun kuristimen virran vaihtelu saa olla  $\pm 10\%$  kuormavirran keskiarvosta ja hakkurin kytkentätaajuus on  $30 \text{ kHz}$ ?
  
4. Yksivaiheinen kokosuuntavaihtosuuntaaja
  - a) Esitä päävirtapiiri.
  - b) Piirrä vaiheiden ohjaukset ja kuormajännitteen käyrämuoto kahden ulostulojännitteen jakson osalta, kun sillan ohjauksessa käytetään vaiheleikkausohjausta ja  $60^\circ$ :een limityskulmaa.
  - c) Laske kuormajännitteen perusallon suuruus b-kohdan mukaisessa tilanteessa, kun suuntaajaa syöttävä tasajännite on  $320 \text{ V}$ .
  
5. Yksivaiheisen erillismagnetoidun tasavirtamoottorin jännitelähteenä on 3-vaiheinen tyristorisilta, jota syötetään kolmivaiheverkosta, jonka  $U_{LL} = 400 \text{ V}$ . Tasavirtamoottorin nimellisjännite  $U_{an}$  on  $450 \text{ V}$ , nimellisvirta  $I_{an}$   $500 \text{ A}$  ja nimellinen pyörimisnopeus  $n_n$  on  $1000 \text{ rpm}$ . Ankkurivastuksen  $R_a$  suuruudeksi on mitattu  $0,05 \Omega$ .
  - a) Esitä kytkentä.
  - b) Kuinka suuri on sillan antaman tasajännitteen keskiarvo, kun tyristorisillan sytytyskulma  $\alpha$  on  $60^\circ$ ?
  - c) Millä ohjaukskulman arvolla moottorin pyörimisnopeus on  $400 \text{ rpm}$  koneen kuorman ollessa nimellinen, kun magnetointivirta  $I_m$  pidetään vakiona?

1. Yleisimmät tehopuolijohdekomponentit, niiden piirrosmerkit, toimintaperiaatteet, ominaisuudet ja käyttökohteet.
2. Resistiivistä kuormaa  $R = 20 \Omega$  syötetään kanttiaallonmuotoisella vaihtojännitteellä, jonka amplitudi on 200 V. Jännitelähteen ja kuorman väliin on kytketty tyristori, jonka sytytyskulman arvo  $\alpha = 30^\circ$ . Laske kuormajännitteen keskiarvo, tehollisarvo sekä kuorman keskimääräinen teho.
3. Esitä sekä laskevan että nostavan hakkuriteholähteen peruskytkenät ja niiden toimintaperiaatteet. Miten niiden ulostulojännitteitä voidaan säätää?
4. Yksivaiheisen puolisolavaihtosuuntaajan syöttöjännite  $U_d = 300$  V. Suuntaaja toimii kanttiaalto-ohjausperiaatteella komponenttien kytkentätaajuuden ollessa  $f_c = 1$  kHz. Vaihtosuuntaajan kuormana on puhdas induktanssi  $L_k = 5$  mH.
  - a) Esitä kuormajännitteen käyrämuoto.
  - b) Laske kuormajännitteen perusaallon ja kolmen ensimmäisen yliaallon amplitudit.
  - c) Laske myös kuormavirran perusaallon tehollisarvo.
5.
  - a) Esitä kolmi-vaiheisen jännitevälipiirillisen taajuudenmuuttajan päävirtapiirin rakenne ja toimintaperiaate.
  - b) Miten PWM-tekniikkaa käytetään halutun suuruisten ja taajuisten ulostulojännitteiden muodostamisessa?

