

1. Kuormakommutoitu kolmivaiheinen taajuudenmuuttaja syöttää symmetristä kolmivaihekuormaa, joka koostuu kuristimista ja vastajännitelähteistä ($U_l = 90 \text{ V}$ ja $f_l = 20 \text{ Hz}$). Suuntaajan välipiiriin kytketyn kuristimen induktanssi $L_{dc} = 50 \text{ mH}$ ja resistanssi $R_{dc} = 0,25 \Omega$. Kuristimen läpi kulkee 100 A:n tasavirta. Muuttajaa syötetään kolmivaiheverkosta, jonka vaihejännitteen tehollisarvo on $U_s = 230 \text{ V}$ ja taajuus $f_s = 50 \text{ Hz}$. Kommutointia ei tarvitse huomioida.
 - a) Piirrä järjestelmän päävirtapiiriin periaatekuva, merkitse kuvaan valitut ac- ja dc-virtojen suunnat sekä dc-jännitteiden suunnat. (1p)
 - b) Piirrä käyrästöön kuormapuolen tasajännitteen ja kuormavirtojen periaatteelliset käyrämuodot vastaaviin vaihejännitteisiin nähden, kun kuormasillan ohjauskulma $\alpha = 165^\circ$. (2p)
 - c) Laske tilannetta vastaava verkkosillan ohjauskulman α arvo. (1 p)
 - d) Laske verkosta otettu teho sekä kuormalle menevä teho. (2p)

2. Esitä lyhyesti, **mitä tarkoittaa ja miten toteutetaan** jännitesyöttöisen vaihtosuuntaajan yhteydessä:
 - a) Yksivaiheisen sillan bipolaarinen PWM-ohjaus (PWM with bipolar voltage switching). (1 p)
 - b) Yksivaiheisen sillan unipolaarinen PWM-ohjaus (PWM with unipolar voltage switching). (1p)
 - c) Kolmivaiheisen sillan kolmannella yliaallolla modifioitu PWM-ohjaus. (1 p)
 - d) Yliaaltoja eliminoiva ohjaus (programmed harmonic elimination switching). (1 p)
 - e) Kuormavirran muuttuvakytkentätaajuinen hystereesissäätö (current-mode tolerance band control). (1 p)
 - f) Kuormavirran vakiokytKentätaajuinen säätö (current mode fixed-frequency control). (1 p)

3. **Yksivaiheisella diodisillalla syötetty yksivaiheinen vaihtosuuntaussilta** syöttää puhtaasti resisitiivistä kuormaa ($R = 5 \Omega$). Taajuudenmuuttajan suodatettu välipiiriin jännite U_{dc} oletetaan pysyvän vakiona. Vaihtosuuntaussiltaa ohjataan **vaiheleikkausohjauksella** limityskulman α ollessa 20° . Syöttöjännitteen tehollisarvo on 200 V .
 - a) Piirrä kytkentä ja syntyvän vaihtojännitteen ja -virran käyrämuodot. (1p)
 - b) Laske kuormavirran i_o tehollisarvo. (1p)
 - c) Laske kuorman ottama pätöteho. (1p)
 - d) Laske kuormavirran perusaallon $i_{o(1)}$ kuljettama pätöteho. (2p)
 - e) Laske kuormavirran 3. ja 5. harmonisen yliaallon kuljettamat pätötehot. (1p)

4. **Kolmivaiheinen, tasajännitevälipiiriin kytketty PWM-verkkovaihtosuuntaaja** toimii stationäärisessä toimintapisteessä. Suuntaajassa käytetään L-tyyppisiä verkkosuotimia, joiden induktanssit ovat 5 mH ja sarjaresistanssit $20 \text{ m}\Omega$. Syöttöverkon vaihejännite on 230 V ja sen taajuus 50 Hz .
 - a) Esitä kytkentä ja nimeä siihen myöhemmin käyttämäsi suureet. (1p)
 - b) Esitä toimintapistettä vastaava periaatteellinen osoitinpiirros, kun syöttöverkkoon syötetään 10 kW pätötehoa ja 10 kVar loistehoa. (2p)
 - c) Laske suuntaajan tuottaman vaihejännitteen perusaallon tehollisarvo ja kulma verkkojännitteeseen nähden b-kohdan tapauksessa, kun suotimen häviöitä ei huomioida. (2p)
 - d) Paljonko suuntaajan dc-puolen tasajännitteen on tällöin vähintään oltava valitsemallasi modulointimenetelmällä, kun suuntaaja toimii lineaarisella modulointialueella? (1p)

- 5) Kolmivaiheinen, **virtavälipiirilistyyppinen** ja virtasyöttöinen sekä IGBT-komponenteilla toteutettu **PWM-vaihtosuuntaaja ja sen vektorimodulointi**. Suuntaajaa syötetään 100 A:n tasavirralla.
 - a) Esitä suuntaajan päävirtapiiri, kun kuorma on tähteenkytketty ja muodostuu vaiheittain kelan ja vastuksen sarjaankytkennästä. (1p)
 - b) Mitkä ovat suuntaajan eri kytkentätiloja vastaavien virtavektoreiden suunnat ja suuruudet. (1p)
 - c) Esitä suuntaajan vektorimoduloinnin periaate. (1p)
 - d) Hetkelliset vaihekohtaiset virtaohjeet ovat $i_{a\text{ref}} = 50 \text{ A}$, $i_{b\text{ref}} = -20 \text{ A}$ ja $i_{c\text{ref}} = -30 \text{ A}$. Laske virtoja vastaava avaruusvektorimuotoinen virtaohje i_{ref} . (1p)
 - e) Miten vektorimoduloinnilla toteutetaan kyseinen ulostulon vektoriohje, kun modulointitaajuutena käytetään 5 kHz :ä. (2p)