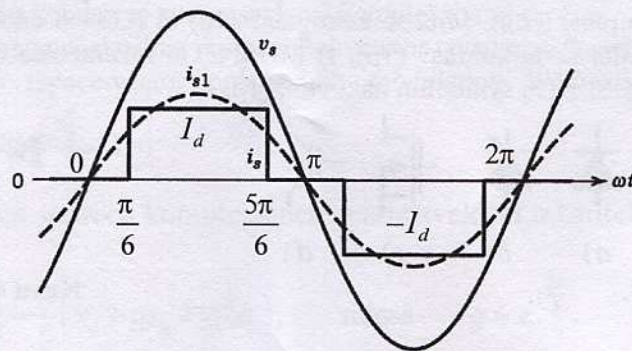


1. Kolmivaiheisen dioditasasuuntaajan vaihejännitteen (v_s) ja vaihevirran (i_s) aaltomuodot on annettu kuvassa 1, jossa I_d on vaihevirran huippuarvo ja i_{s1} sen perustaajuinen komponentti. Vaihevirta voidaan esittää harmonisten komponenttien avulla seuraavasti:

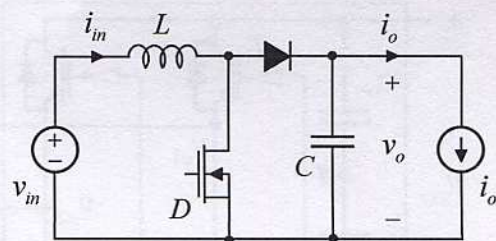
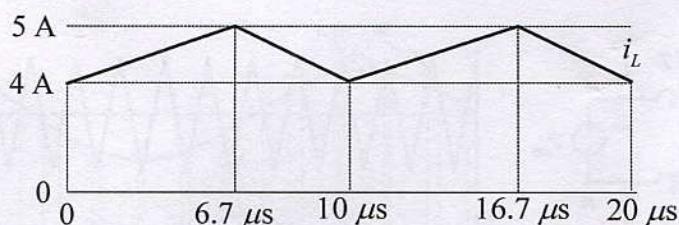
$$i_s = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\sqrt{3}I_d}{n\pi} \sin(n\theta) \quad n=1,5,7,11,13,\dots$$



Kuva 1. Kolmivaiheisen dioditasasuuntaajan vaihejännitteen ja vaihevirran aaltomuodot

Laske symbolisesti yllä annetun informaation pohjalta **a)** vaihevirran tehollisarvo (RMS) (1p), **b)** vaiheen näennäisteho S (1p), **c)** vaiheen pätöteho P (1p), **d)** vaiheen säröteho D (1p), **e)** tehokerroin (power factor PF) (1p), and **f)** vaihe-erokerroin (displacement power factor DPF) (1p).

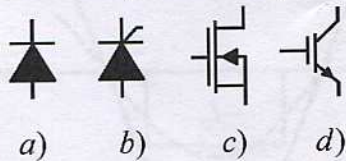
2. Ideaalisen nostavan hakkurin (boost) (kuva 2b) kelavirran aaltomuoto on annettu kuvassa 2a. Kelavirran lisäksi tiedetään, että hakkurin tulojännite on 50 V ja $M(D) = 1/(1-D)$. **a)** Mikä on hakkurin toimintatila (CCM, DCM, BCM)? (1p), **b)** Mikä on sen tulovirran keskiarvo? (1p), **c)** Mikä on sen lähtöjännitteen arvo? (1p), **d)** Mikä on sen pulssisuhteen (duty ratio) arvo? (1p), **e)** Mikä on kelan induktanssin L suuruus, (1p) ja **f)** Mikä on hakkurin lähtövirran keskiarvo? (1p)



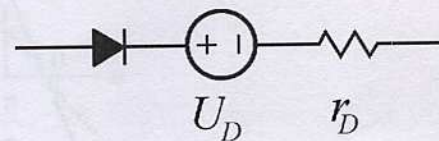
Kuva 2. a) Kelavirran aaltomuoto

b) Ideaalinen nostava hakkuri

3. Tehoelektroniikkalaitteissa käytettävien komponenttien - MOSFET, SCR, IGBT, ja diodi - symbolit ovat esitetty kuvassa 3. **a)** Yhdistä määritetyt komponentit ja niiden symbolit toisiinsa (1p), **b)** MOSFETin johtotilan häviöt johtuvat sen kanavan vastuksesta r_{ds-on} . Jos MOSFETin läpikulkevan virran tehollisarvo (I_{RMS}) and keskiarvo (I_{AV}) tunnetaan, niin miten lasket johtotilan tehohäviön? (1p) **c)** Diodin johtotilan sijaiskytkentä on esitetty kuvassa 4. Diodin läpi kulkevan virran tehollisarvo (I_{RMS}) ja keskiarvo (I_{AV}) tunnetaan. Laske symbolisessa muodossa diodin johtotilan tehohäviö. (1p) **d)** Tyristoriin liittyy pitovirta (hold current) termi. Mitä se tarkoittaa? (1p) **e)** IGBT:n eräs ominaisuus ns. current tailing ilmiö. Mitä se tarkoittaa? (1p), **f)** MOSFETin rakenteessa on ns. 'Body' diodi. Piirrä ko. diodi MOSFETin symboliin näkyviin. (1p)



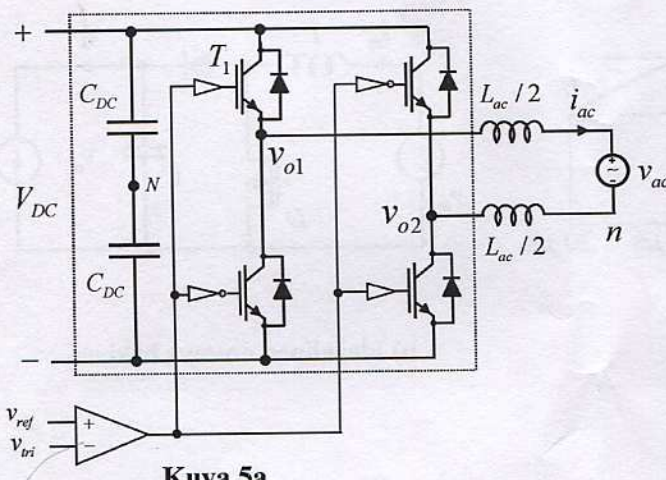
Kuva 3.



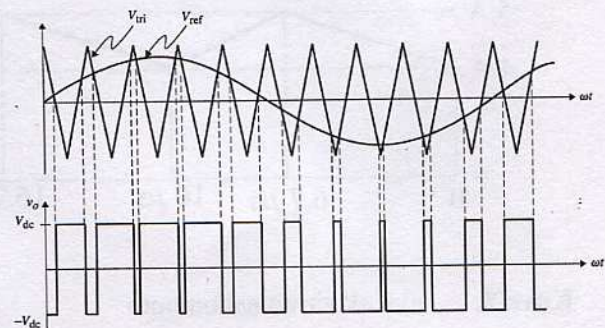
Kuva 4.

4. Yksivaiheinen kokosilta vaihtosuuntaaja on esitetty kuvassa 5a ja sen modulointiperiaate (PWM) ja sillan tuottama aaltomuoto kuvassa 5b. Kantoaallon (V_{tri}) huippujännite on 2 V ja ohjausjännitteen (V_{ref}) huippujännite on 1.5 V. DC-linkin jännite on 500 V.

- a) Kumpi modulointitavoista on käytössä - bipolar vai unipolar- ko. vaihtosuuntaajassa? Perustele vastauksesi. (1p)
- b) Mikä on ko. vaihtosuuntaajan modulointi-indeksi? (1p)
- c) Mikä on ko. vaihtosuuntaajan tuottaman perustaaajuksen jännitteen suurin mahdollinen huippuarvo (peak amplitude), kun toimitaan lineaarisella modulointialueella? (1p)
- d) Mikä on ko. vaihtosuuntaajan kytkimien kytkentätaajuus (Kuva 5a)? (1p)
- e) Oletetaan, että verkkovirta i_{ac} on sinimuotoista ja samassa vaiheessa kuin ohjausjännite V_{ref} . Hahmottele IGBT:n T_1 läpikulkevan virran aaltomuoto yhden verkkojakson aikana. (2p).



Kuva 5a.



Kuva 5b.

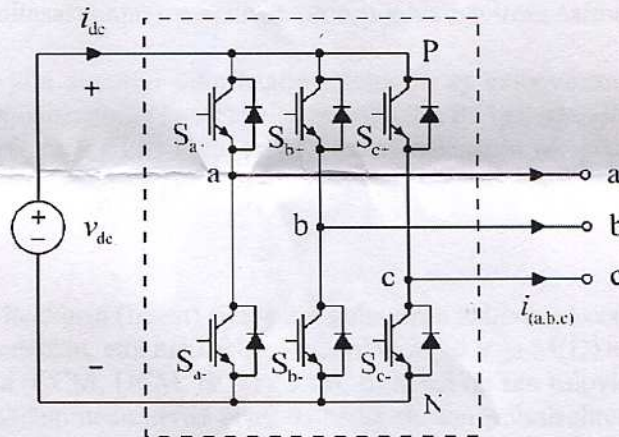
5. Kolmivaiheinen vaihtosuuntaajasilta on esitetty kuvassa 6. Oleta dc-linkin jännitteeksi 600 V.

- Montako aktiivista kytkentätilaa kuvan 6 sillalla voidaan muodostaa? (1p)
- Montako nolla-kytkentätilaa kuvan 6 sillalla voidaan muodostaa? (1p)
- Määritä kuvan 6 sillan verkkopuolen jännitteen avaruusvektori, kun sillan kytkentätila on 100 (ts. S_{a+} on, S_{b+} off, S_{c+} off). Avaruusvektori on määritetty yhtälössä (1). (1p)
- Määritä kuvan 6 sillan verkkopuolen jännitteen avaruusvektori kytkentätilalle 110 ja piirrä se, sekä kohdan c) avaruusvektori kompleksitasossa. (1p)
- Esitä vaihtosuuntaajasillan kytkentäsekvenssi tavanomaista avaruusvektorimodulointia käytettäessä (space-vector pulse-width modulation SV-PWM) kun ohjejännite on

$$v^{ref} = 200 \text{ V} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}}. \quad (2 \text{ p})$$

Kolmivaiheisen suureen kompleksinen avaruusvektori määritellään

$$\underline{x} = \frac{2}{3} (x_a + \underline{a}x_b + \underline{a}^2x_c), \quad \text{missä} \quad \underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}. \quad (1)$$



Kuva 6.