

Answer all five questions (in English, Finnish or Swedish). Questions in Finnish are on the reverse side.

- In a Buck converter the output current is assumed to be a constant DC of $I_o = 5$ A. The switching frequency $f_s = 200$ kHz, input voltage $V_{in} = 24$ V and output voltage $V_o = 10$ V. The MOSFET used in the converter has the following switching times: rise and fall times of current $t_{ri} = 30$ ns, $t_{fi} = 15$ ns, fall and rise times of voltage $t_{fv} = 20$ ns, $t_{rv} = 25$ ns. The on-state resistance of the MOSFET $R_{DS(on)} = 20$ m Ω . (a) Calculate the average switching power loss and the average conduction loss in the MOSFET. (b) The diode has a forward voltage drop $V_{FM} = 0,8$ V. Calculate the average forward power loss in the diode. (c) Calculate the efficiency of the converter. What is the efficiency of a linear power supply in the same operating point?
- The input voltage of a Boost converter $V_{in} = 10$ V and the output voltage $V_o = 25$ V. Assume the converter to be lossless and omit the ripple in the output voltage. The inductance is 0,1 mH, the output power $P_o = 30$ W, and the switching frequency $f_s = 100$ kHz. (a) Draw the circuit diagram of the converter, when the switching power-pole is implemented with an IGBT and a diode. (b) Calculate the IGBT duty ratio, the average input current, and the minimum and maximum values of the input current. (c) Draw the waveforms of the inductor voltage, the input current, and the current of the diode below each other's.
- A three-phase thyristor rectifier is connected to a 50 Hz supply with an rms line-to-line voltage of 400 V. Assume that the thyristors are ideal and that the load is an ideal DC current source of 50 A. (a) Draw the input and output voltage and current waveforms when the control angle is 60° . (b) Derive equations for and calculate the average value of the DC voltage, the total harmonic distortion of the line current and (c) the active power consumed by the rectifier. As there is no line inductance on the ac-side the commutation time can be ignored.
- Consider a three-phase voltage-source dc-ac converter and a balanced three-phase load. (a) Draw the schematic diagram of the converter and the load. Draw the converter diagram both with switching pole representation and when it is realized with real power semiconductor devices. (b) Derive an equation for the voltage v_{nN} from the load neutral n to the negative dc bus N of the converter as a function of the pole voltages v_{aN} , v_{bN} , and v_{cN} . Note that the sum of phase voltages is zero, i.e. $v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0$. Derive equations for the phase voltages and the line-to-line voltages as functions of the pole voltages. (c) When the converter operates in the square-wave (six-step) mode, draw the waveforms of the pole voltages, line-to-line voltages, and phase voltages.
- Describe principles of pulse-width modulation (PWM) in power electronics. How PWM is implemented in different kinds of converters? What factors affect the selection of switching frequency?

$$\text{Fourier-series: } f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (a_h \cos(h\omega t) + b_h \sin(h\omega t))$$

$$a_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(h\omega t) d\omega t, \quad h = 0, \dots, \infty \quad b_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(h\omega t) d\omega t, \quad h = 1, \dots, \infty$$

Vastaa kaikkiin viiteen kysymykseen joko suomeksi, ruotsiksi tai englanniksi. Kysymykset englanniksi löytyvät paperin toiselta puolelta.

- Jännitettä laskevan katkojan (Buck) lähtövirta oletetaan ideaaliseksi tasavirraksi $I_o = 5$ A. Kytkemistaajuus $f_s = 200$ kHz, tulojännite $V_{in} = 24$ V sekä lähtöjännite $V_o = 10$ V. Katkojassa käytetyn MOSFETin kytkentä-ajat ovat: virran nousu- ja laskuaika $t_{ri} = 30$ ns, $t_{fi} = 15$ ns sekä jännitteen lasku- ja nousuaika $t_{fv} = 20$ ns, $t_{rv} = 25$ ns. MOSFETin johtotilan vastus $R_{DS,on} = 20$ m Ω . (a) Laske kytkentäjakson häviöteho ja johtohäviöt MOSFETissa. (b) Diodin päästöjännite $V_{FM} = 0,8$ V. Laske diodin häviöteho. (c) Laske katkojan hyötysuhde. Mikä on lineaarisen teholähteen hyötysuhde vastaavassa toimintapisteessä?
- Jännitettä nostavan katkojan (Boost) syöttöjännite $V_{in} = 10$ V ja lähtöjännite $V_o = 25$ V. Katkoja on häviötön ja lähtöjännite on täysin tasainen. Katkojassa käytettävä induktanssi on 0,1 mH, lähtöteho $P_o = 30$ W ja kytkemistaajuus $f_s = 100$ kHz. (a) Piirrä kytkennän piirikaavio. (b) Laske kytkimen suhteellinen johto-aika, tulovirran keskiarvo ja sen minimi- ja maksimiarvot. (c) Piirrä induktanssin jännitteen, tulovirran ja diodivirran käyrämuodot allekkain.
- Kolmivaiheinen tyristoritasasuuntaaja on kytketty 50 Hz verkkoon, jonka pääjännitteen tehollisarvo on 400 V. Tyristorit oletetaan ideaalisiksi ja kuorma ideaaliseksi 50 A tasavirtalähteeksi. (a) Piirrä tulo- ja lähtöpuolen jännitteiden ja virtojen käyrämuodot kun ohjauskulma on 60. (b) Johda yhtälöt ja laske lukuarvot tasajännitteen keskiarvolle ja verkkovirran särökertoimelle (THD) sekä (c) tasasuuntaajan kuluttamalle pätöteholle. Koska sähköverkossa ei ole induktanssia, kommutoimiskulman vaikutusta ei tarvitse ottaa huomioon.
- Tarkastellaan kolmivaiheista jännitelähteellistä DC-AC suuntaajaa ja symmetristä kolmivaiheista kuormaa. (a) Piirrä suuntaajan ja kuorman sijaiskytkentä kun suuntaaja on toteutettu sekä vaihtokytkimillä että reaalisilla tehopuolijohdekomponenteilla. (b) Johda yhtälö jännitteelle v_{nN} kuorman tähtipisteestä n tasajännitevälipiirin negatiivisen kiskoon N vaihtokytkinten jännitteiden v_{aN} , v_{bN} , and v_{cN} avulla. Huomaa, että vaihejännitteiden summa on nolla eli $v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0$. Johda yhtälö vaihejännitteille ja pääjännitteille vaihtokytkinten jännitteiden avulla. (c) Piirrä vaihtokytkinten jännitteiden, pääjännitteiden sekä vaihejännitteiden kuvaajat, kun vaihtosuuntaaja toimii täydellä ohjauksella (six-step).
- Esittele tehoelektronikassa käytettävän pulssinleveysmoduloinnin (PWM) periaatteet. Miten PWM toteutetaan erilaisissa suuntaajissa? Mitkä tekijät vaikuttavat kytkemistaajuuden valintaan?

$$\text{Fourier-sarja: } f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (a_h \cos(h\omega t) + b_h \sin(h\omega t))$$

$$a_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(h\omega t) d\omega t, \quad h = 0, \dots, \infty \quad b_h = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(h\omega t) d\omega t, \quad h = 1, \dots, \infty$$