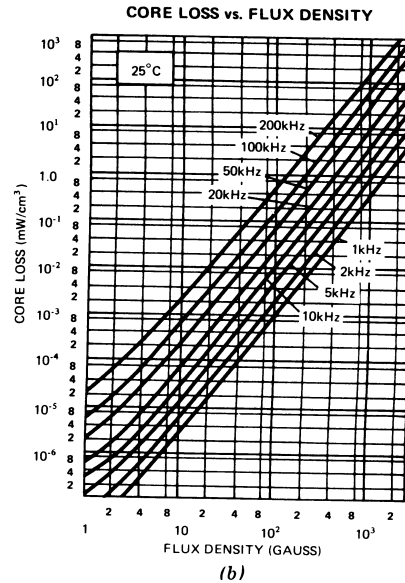
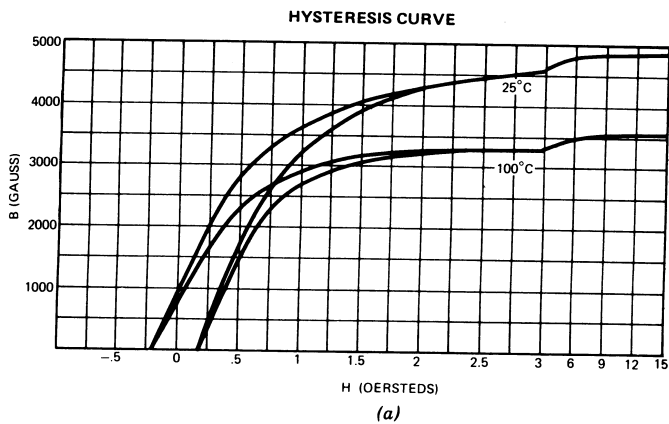


Tehtävistä 1-5 maksimipistemäärä on 5*5. Lisätehtävästä 6 saa yhden lisäpisteen kun sen palauttaa.

1. Jännitettä nostavassa katkojassa lähtöjännite $U_o = 48 \text{ V}$ ja syöttöjännite vaihtelee rajoissa $10 \text{ V} \leq U_d \leq 15 \text{ V}$. Lähtöteho $P_o \geq 10 \text{ W}$ ja katkontataajuus $f_s = 300 \text{ kHz}$, $C = 47 \text{ }\mu\text{F}$. Laske tarvittava suodatusinduktanssi L , jotta katkojan toiminta pysyy jatkuvalla alueella. Laske lähtöjännitteen vaihtelu ΔU_o , kun toimitaan tällä induktanssin arvolla.
2. Hakkuriteholähteen tasasuuntaajassa on tehokertoimen korjaus. Se on toteutettu yksivaiheisella diodisillalla ja jännitettä nostavalla katkojalla. Verkon vaihejännitteen tehollisarvo on 230 V ja taajuus 50 Hz . Tasasuuntaajaa kuormitetaan 1000 W :lla tasajännitteen ollessa 370 V ja suodattimen kondensaattorin $100 \text{ }\mu\text{F}$.
 - a) Piirrä tasasuuntaajan sijaiskytkentä ja selitä sen toimintaperiaate lyhyesti. (1 p.)
 - b) Laske lähdön tasajännitteen vaihtokomponentin suuruus, kun lähtövirta oletetaan tasoittuneeksi, hyötysuhde 100 prosentiksi sekä kytkentätaajuus korjauspiirissä äärettömän suureksi. (2 p.)
 - c) Mittauksissa on todettu, että verkkovirran tehokerroin $PF = 0,96$ ja perusaallon tehokerroin $DPF = \cos \varphi = 1$. Kuinka suuria ovat verkkovirran tehollisarvo sekä perusaallon tehollisarvo. Vertaa lyhyesti tilanteeseen, jossa korjauspiiriä ei käytetä. (2 p.)
3. Kokosiltahakkurin muuntaja on rakennettu ferriitistä, jonka magneitoitumis- ja häviökäyrät ovat seuraavien kuvien mukaiset ($\text{örstedt} = 1/(4\pi) \cdot 10^3 \text{ A/m}$). Kun syöttöjännite $U_d = 180 \text{ V}$, ohjaussuhde $D = 0,5$, $f_s = 100 \text{ kHz}$, $\Delta B_{\text{max}} = 0,2 \text{ T (Wb/m}^2) = 2000 \text{ gaussia}$, magneitoimisvirran huippuarvoksi on mitattu $0,5 \text{ A}$. Laske muuntajan sydämen häviöteho, kun lämpötila on 25°C . Magneettiipiirin induktanssi voidaan laskea yhtälöstä $L_m = N^2/R_m = N^2 \mu A_C/l_m$, jossa N on käämin kierrosluku, μ materiaalin permeabiliteetti, A_C sydänmateriaalin poikkipinta-ala ja l_m magneettiipiirin keskimääräinen pituus.



4. Mitkä tekijät vaikuttavat hakkuriteholähteen hyötysuhteeseen? Miten hyötysuhdetta voidaan parantaa?
5. Miksi hakkuriteholähteissä tarvitaan takaisinkytketty säätö? Mitä peruseriaatteita säädön suunnittelussa on otettava huomioon?
6. Muutama palautekysymys kurssiin liittyen. (1 p)

Palauta tämä sivu ja merkitse rasti nimesi kohdalle läsnäololistaan (nimetön palaute) tai lisää nimesi tähän palautettavaan paperiin.

Mikä on yleisarvosanasi koko kurssista	1	2	3	4	5
Miten käytetyt opetusmenetelmät tukivat oppimista	1	2	3	4	5
Miten tyytyväinen ole omaan oppimispanokseesi	1	2	3	4	5
Kurssin työmäärä oli	1	2	3	4	5
		liian suuri			sopiva

Arvioi Supratim Basun vierailuluentoja osana kurssia.

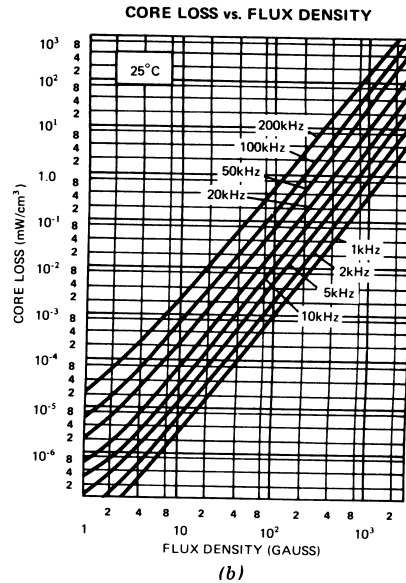
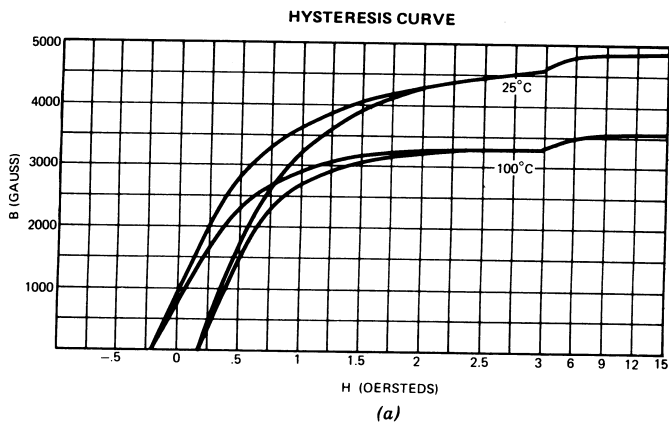
Vierailuluennoista oli hyötyä oppimisessa	1	2	3	4	5
		vähän			paljon
Vierailuluentoja oli liian vähän	1	2	3	4	5
		eri mieltä	sopivasti		samaa mieltä
Vierailuluentojen arvosana	1	2	3	4	5

Myös pidempi kirjallinen palaute on tervetullut joko nyt tentin yhteydessä tai sen jälkeen.

Questions in English

Form questions 1-5 maximum points is 5*5. Question 6 gives one extra point when returned.

1. In step-up converter (Boost) the output voltage $U_o = 48$ V and supply voltage changes between $10 \text{ V} \leq U_d \leq 15 \text{ V}$. Output power $P_o \geq 10$ W and switching frequency $f_s = 300$ kHz, $C = 47$ μF . Calculate the needed inductance so that the operation is always in continuous conduction mode. Calculate the output voltage ripple ΔU_o when this inductance value is used.
2. The rectifier of a switch mode power supply is equipped with an active power factor correction circuit. It has been realized with a single-phase diode bridge and step-up converter. Rms value of the supply voltage is 230 V and frequency 50 Hz. The rectifier is loaded with 1000 W and the dc-voltage is 370 V and filtering capacitor is 100 μF .
 - a) Draw the equivalent circuit of the rectifier and explain its operating principle shortly. (1 p.)
 - b) Calculate the ac component in the output dc-voltage of the rectifier. The output current can be assumed to be ideal dc, efficiency of the rectifier 100 % and the switching frequency of the step-up converter large.
 - c) Based on measurements it is observed that the power factor in the supply side $PF = 0,96$ and displacement power factor (fundamental) $DPF = \cos \varphi = 1$. Calculate the rms value of line current and its fundamental component. Give a short written comparison to the case without any power factor correction circuit. (2 p.)
3. Transformer of a full-bridge converter is built using ferrite material, which magnetizing and loss waveforms are shown below ($\text{örstedt} = 1/(4\pi) \cdot 10^3 \text{ A/m}$). Supply voltage $U_d = 180$ V, duty cycle $D = 0,5$, $f_s = 100$ kHz, $\Delta B_{\text{max}} = 0,2 \text{ T (Wb/m}^2) = 2000 \text{ Gauss}$ and the measured peak value of the magnetizing current is 0,5 A. Calculate the losses of the transformer core when temperature is 25°C. Inductance of the magnetic circuit can be calculated from $L_m = N^2/R_m = N^2 \mu A_C / l_m$ where N is number of turns, μ permeability of the ferrite, A_C surface area of the core, and l_m average length of the magnetic circuit.



4. Which factors have an effect on the efficiency of a switch mode power supply. How efficiency can be improved?
5. Why feedback control is needed in switch mode power supplies. What basic principles need to be taken into account when designing feedback control?
6. Some feedback question related to the course. (1 p)

Return this page and mark a cross next to your name in the attendance list (anonymous feedback) or add your name in this page and return it.

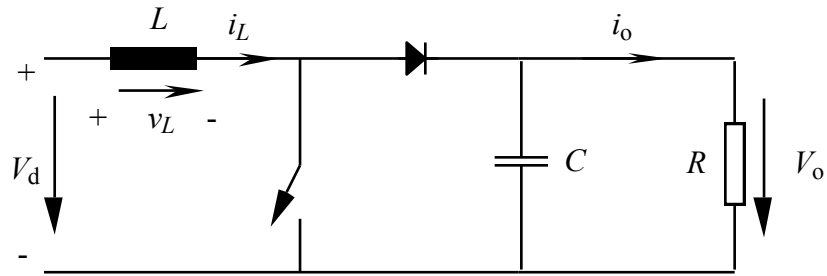
What is your overall grade of the course	1	2	3	4	5
Teaching methods supported my learning	1	2	3	4	5
Satisfaction with own study effort	1	2	3	4	5
Work amount of the course	1	2	3	4	5
		too much			suitable

Evaluation of Supratim Basus quest lectures.

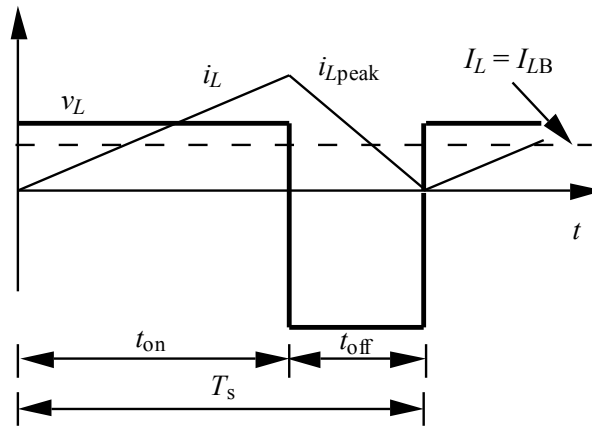
Quest lectures supported my learning	1	2	3	4	5
		little			much
There were too few quest lectures	1	2	3	4	5
		disagree	enough		agree
Overall grade of the quest lectures	1	2	3	4	5

Also written feedback is welcomed either during the exam or later.

TEHTÄVÄ 1.



Nostavan katkojan kuristimen virta jatkuvan ja aukottuvan toiminta-alueen rajakohdassa on esitetty seuraavassa kuvassa.



Luennoissa on johdettu jatkuvalla alueella yhtälöt

$$\frac{U_o}{U_d} = \frac{1}{1-D} \quad (1.1)$$

$$\Rightarrow D = 1 - \frac{U_d}{U_o} = 1 - \frac{15}{48} \dots 1 - \frac{10}{48} = 0,687 \dots 0,791$$

Kytkeä on häviötön josta seuraa

$$U_d I_d = U_o I_o \Leftrightarrow \frac{I_o}{I_d} = \frac{U_d}{U_o} = 1 - D, \quad (1.2)$$

jotka pitävät paikkansa myös toiminta-alueiden rajakohdassa toimittaessa. Edellisestä kuvasta saadaan kuristimen virran keskiarvoksi joka nostavassa katkojassa on sama kuin tasajännitelähteestä otetun virran keskiarvo.

$$I_{LB} = \frac{i_{Lpeak}}{2} = \frac{U_d}{2L} t_{ON} = \frac{T_s U_o}{2L} D(1-D) \quad (1.3)$$

ja käyttämällä (1.2):ta lähtövirran keskiarvoksi saadaan

$$I_{OB} = I_{LB}(1-D) = \frac{T_s U_o}{2L} D(1-D)^2. \quad (1.4)$$

Jos lähtövirran keskiarvo on alle tämän, se aukottuu. Ohjaussuhteen arvo, jolla em. virta on maksimissaan saadaan derivoimalla.

$$\begin{aligned} \frac{dI_{OB}}{dD} &= \frac{T_s U_o}{2L} [(1-D)^2 - 2D(1-D)] = 0 \\ \Rightarrow 3D^2 - 4D + 1 &= 0 \Leftrightarrow D = \frac{4 \pm \sqrt{16-12}}{6} = 1 \vee \frac{1}{3} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Eli maksimi saadaan ohjaussuhteella 1/3. Vaaditaan, että saatu lähtövirran I_{OBmax} arvo on lähtövirran minimiarvo käytettävässä kytkennässä. Tällöin lähtövirta on aina raja-arvoa suurempi ja se ei aukotu missään toimintapisteessä.

$$I_{OBmax} = \frac{2 T_s U_o}{27 L} = I_{Omin} \Leftrightarrow L_{min} = \frac{2 T_s U_o}{27 I_{Omin}} \quad (1.6)$$

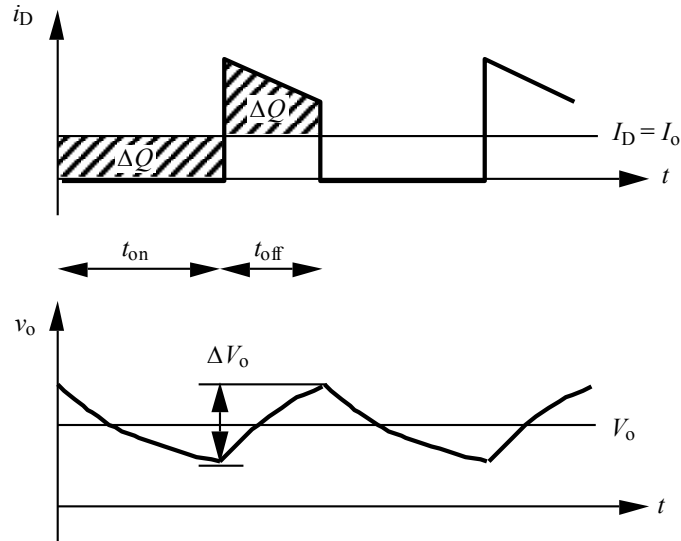
Tarvittavan kuristimen arvo saadaan laskettua lähtövirran minimiarvon avulla. Lähtötietoina on annettu; lähtöteho $P_o \geq 10 \text{ W}$ ja lähtöjännite $U_o = 48 \text{ V} \Rightarrow I_o \geq 10/48 \text{ A}$.

$$L_{min} = \frac{2 T_s U_o}{27 I_{Omin}} = \frac{2 \frac{1}{300 \text{ kHz}} 48 \text{ V}}{27 \frac{10}{48} \text{ A}} \approx 56,9 \mu\text{H} \quad (1.7)$$

eli kun kuristin on suurempi kuin edellinen minimiarvo, hakkuri toimii kaikissa toimintapisteissä jatkuvalla alueella. Tehtävässä toimintapiste on kuitenkin $D = 0,687 \dots 0,791$ eli edellä saatu D :n arvo 1/3 on tämän ulkopuolella. Tässä tapauksessa induktanssi voi olla edellä laskettua arvoa pienempi ja se on

$$L = \frac{T_s U_o}{2I_{OB}} D(1-D)^2 \approx 25,8 \mu\text{H} \quad (1.8)$$

joka on laskettu D :n arvolla 0,687. Arvolla 0,791 laskettu induktanssin arvo on pienempi, mutta silloin katkoja toimii käytännössä aina aukottuvalla alueella.



$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_o D T_s}{C} = \frac{U_o}{R} \frac{D T_s}{C} \quad (1.9)$$

Jatkuvalla toiminta-alueella

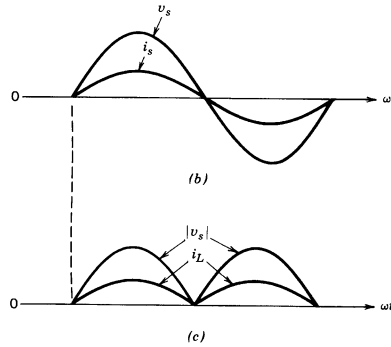
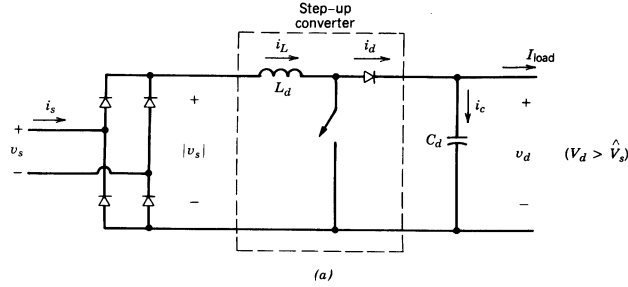
$$\frac{U_o}{U_d} = \frac{1}{1-D} \Leftrightarrow D = 1 - \frac{U_d}{U_o} = 1 - \frac{10}{48} = 0,792 \quad (1.10)$$

jolloin lähtöjännitteen huipusta huippuun vaihtelu laskettuna suurimmalla ohjaussuhteella on

$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q}{c} = \frac{I_o D T_s}{c} = \frac{\frac{10}{48} \text{ A} \cdot 0,79 \cdot \frac{1}{300 \text{ kHz}}}{47 \mu\text{F}} \approx 11,68 \text{ mV} \quad (1.11)$$

TEHTÄVÄ 2.

a) Katso luentomateriaali



b) Kun jännite ja virta oletetaan sinimuotoisiksi ja samanvaiheisiksi niin tehon hetkellisarvo

$$p_{in} = \sqrt{2}U_s |\sin \omega t| |\sqrt{2}I_s \sin \omega t| = U_s I_s - U_s I_s \cos 2\omega t = i_d U_d \quad (1.12)$$

kun lisäksi tasasuuntaajan hyötysuhde on oletettu sadaksi prosentiksi. Tasavirta jakautuu kuroman ja kondensaattorin virraksi ja

$$i_d = I_d + i_c = \frac{U_s I_s}{U_d} - \frac{U_s I_s}{U_d} \cos 2\omega t = I_d - I_d \cos 2\omega t \quad (1.13)$$

jonka perusteella kondensaattorin virta on

$$i_c = -\frac{U_s I_s}{U_d} \cos 2\omega t = -I_d \cos 2\omega t \quad (1.14)$$

ja sen jännitteen vaihtelu voidaan laskea integroimalla

$$u_{d,ripple} = \frac{1}{C_d} \int i_c dt = -\frac{I_d}{2\omega C_d} \cos 2\omega t \quad (1.15)$$

Tasavirran keskiarvo $I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{1000}{370}$ A, jolloin kondensaattorin jännitteen huippuarvo

$$\hat{u}_{d,ripple} = \frac{I_d}{2\omega C_d} \approx 43 \text{ V} \quad (1.16)$$

c)

$$PF = \frac{V_s I_{s1} \cos \phi_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \phi_1 \quad (1.17)$$

$$I_{s1} = \frac{P_d}{U_s} = 4,35 \text{ A} \quad (1.18)$$

$$I_s = \frac{I_{s1}}{PF} \cos \phi_1 = 4,53 \text{ A} \quad (1.19)$$

Ilman korjauspiiriä perusaallon tehokertoimen voi arvioida suunnilleen yhtä suureksi ja myös perusaallon. Virran tehollisarvo sen sijaan on todennäköisesti paljon suurempi, koska virrassa on suuri piikki jännitteen huippuarvon kohdalla. Tämän vuoksi myös tehokerroin on tässä tapauksessa paljon huonompi.

TEHTÄVÄ 4.

Kokosiltahakkurissa magnetointi on kaksisuuntainen ja $\Delta B_{\max} = 0,2 \text{ T} = 20\,000 \text{ Gaussia}$ on suurin vuon arvo. Häviökäyrästä nähdään, että 100 kHz:n katkontataajuudella häviöteho on 400 mW/cm^3 . Ongelmaksi jää siis ratkaista muuntajasydämen tilavuus $V_m = A_C I_m$.

Kun resistiivisiä häviöitä ei huomioida, syöttöjännite on yhtä suuri kuin vuon muutos.

$$U_d = \frac{d\Psi}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} = NA_C \frac{dB}{dt} = NA_C \frac{2\Delta B_{\max}}{DT_s} \quad (1.20)$$

Kerroin 2 johtuu siitä, että kyseessä on kokosilta eli vuo muuttuu negatiivisesta arvosta yhtä suureen positiiviseen arvoon. Sydämen poikkipinta on siten

$$A_C = \frac{U_d DT_s}{2N\Delta B_{\max}} = \frac{U_d}{4N\Delta B_{\max} f_s} \quad (1.21)$$

kun ohjaussuhteena on käytetty suurinta mahdollista arvoa eli 0,5. Yhtälössä on edelleen tuntemattomana kierrosluku N . Siihen päästään käsiksi magnetoimisvirran ja -induktanssin avulla. Magnetoimisvirran huippuarvo tunnetaan ja toisaalta se voidaan laskea magnetoimisinduktanssin avulla.

$$\hat{i}_m = \frac{U_d DT_s}{2L_m} \Rightarrow L_m = \frac{U_d DT_s}{2\hat{i}_m} \quad (1.22)$$

jossa jako kahdella johtuu samasta asiasta kuin yhtälössä (4.1) kertominen kahdella. Magnetoimisinduktanssi puolestaan riippuu sydämen pinta-alasta ja pituudesta.

$$L_m = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \mu A_C}{l_m} \quad (1.23)$$

Merkitään edelliset yhtälöt yhtä suuriksi, jolloin

$$L_m = \frac{U_d DT_S}{2\hat{i}_m} = \frac{N^2 \mu A_C}{l_m} \Rightarrow l_m = \frac{N^2 \mu A_C}{U_d DT_S} 2\hat{i}_m \quad (1.24)$$

Sydämen tilavuus voidaan nyt laskea, kun apuna käytetään ensimmäiseksi johdettua pinta-alaa A_C kaksi kertaa.

$$\begin{aligned} V_m &= A_C l_m = \frac{U_d}{4N\Delta B_{\max} f_s} \frac{N^2 \mu A_C}{U_d DT_S} 2\hat{i}_m = NA_C \frac{\mu 2\hat{i}_m}{4\Delta B_{\max} D} \\ &= N \frac{U_d}{4N\Delta B_{\max} f_s} \frac{\mu 2\hat{i}_m}{4\Delta B_{\max} D} = \frac{U_d \mu 2\hat{i}_m}{(4\Delta B_{\max})^2 D f_s} \end{aligned}$$

Tilavuuden numeroarvon laskemiseksi tarvitaan ferriitin permeabiliteetti. Sen suuruus voidaan arvioida $B-H$ käyrästä. Vuon tiheys on alle 0,2 T, jolloin liikutaan varsin lineaarisella alueella. Käytetään 25°C:n ylempää hystereesisilmukkaa, jolloin μ on suurin ja myös tilavuus ja siten häviöt suurimmat. Tällöin

$$\mu \approx \frac{2000\text{G}}{(0,25 - -0,25)\text{örstedt}} = \frac{0,2\text{T}}{0,5 \frac{1}{4\pi} 10^3 \text{A/m}} \approx 5,58 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}, \text{ tarkista tämä lasku ja}$$

myös seuraavat 0,5 muutettu
muuntajasydämen tilavuus

$$\begin{aligned} V &= \frac{U_d \mu 2\hat{i}_m}{(4\Delta B_{\max})^2 D f_s} = \frac{180 \cdot 5,58 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0,5}{(4 \cdot 0,2)^2 \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot 10^3} \approx 31,39 \text{ cm}^3 \\ V_m &= \frac{U_d \mu 2\hat{i}_m}{(4\Delta B_{\max})^2 D f_s} = \frac{170 \cdot 5,58 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0,5}{(4 \cdot 0,2)^2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,5} \text{ m}^3 \approx 29,67 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ja sydämen häviöt

$$P_V = \frac{400\text{mW}}{\text{cm}^3} \cdot 31,29 \text{ cm}^3 \approx 12,6 \text{ W}$$

TEHTÄVÄ 4.

Täysiin pisteisiin vaadittiin suurinta osaa alla olevista asioista vähän pidemmin selitettynä kuin alla.

-kytkemishäviöt, kytkemistäajuuden nosto kasvattaa niitä, käyttämällä nopeampia komponentteja, joissa nousu- ja laskuajat pienempiä häviöt pienenevät

-resonanssitekniikat => edellä olevat kytkemishäviöt saadaan periaatteessa nolliksi
-kytkentäsuojapiirit, hyvin suunniteltuna kytkemishäviöt pienenevät ja hyötysuhde nousee, myös suojien energian takaisinsyöttö on joissain ratkaisuissa mahdollista
-johtohäviöt, joko vakiojännite (diodit) ja vastus. Diodeja voidaan korvata lähdössä ohjattavilla MOSFETeilla, synchronous rectification tai Schotky diodeilla. Johdotusten yms. vastusten vaikutusta voidaan pienentää johtimien poikkipintaa kasvattamalla.
-Magneettisten komponenttien häviöt, käämityksen häviöt sekä sydänmateriaalin häviöt (hystereesi). Voidaan vaihtaa vähähäviöisempään materiaaliin tai pienentää kytkemistaajuutta. Käämityksissä samoin kuin edellä johtimien poikkipintaa voidaan kasvattaa, jos vain mahtuu varattuun tilaan
-Ylipäättään topologialla on vaikutusta, koska kytkimien määrä voi muuttua.

TEHTÄVÄ 5.

Alla on joitakin vastauksessa vaadittuja asioita.

-tarkkaan ja hyvällä dynamiikalla säädetty lähtöjännite vaikka syöttöjännite tai lähtövirta muuttuvat => säätäjien virittämiseen tarvitaan malli järjestelmästä
-tilayhtälöiden keskiarvoistaminen, mallia voidaan käyttää kun taajuus on alle kytkemistaajuuden puolikas, keskiarvoistaminen voidaan tehdä joko tilayhtälöistä tai keskiarvoistamalla kytkin
-jatkuva ja aukottuva alue, aukottuvalla alueella siirtofunktiosta puuttuu yksi napa
-syöttöjännitteen myötäkytkentä
-virtäsäätö on sisempi ja nopeampi silmukka, rajoittaa myös virran maksimiarvo, automaattinen syöttöjännitteen myötäkytkentä, siirtofunktio ensimmäistä astetta kurssissa käsitellyssä analyysissä, virtäsäätö voidaan toteuttaa vakiotaajuudella tai esim. kaksipistesäätönä, tarvitaan kompensointijännite ns. slope compensation