

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Tentamen i MILJÖTEKNIK OCH ELENERGI Z2 (ENM011/ENM010) den 20 augusti 2008 kl 8.30-12.30

- Lärare: Johan Boman, tel 031 772 32 88 eller 0704 834651 och
Julia Paixao, tel 031 772 16 32 (diskuterar helst på engelska)
- Lösningförslag: anslås på Studieportalen den 21 augusti 2008
- Rättningsprotokoll: anslås på Studieportalen den 9 september 2008
- Granskning: av rättning kan ske på avdelningen för elteknik den 10 september 2008
kl 12-13 i sal Fredrik Lamms rum, elteknik. Tentamina kan hämtas fr o m
den 15 september 2008 på studieexp, avdelningen för elteknik, vard kl 10-
12 och 13-15.
- Betygslista: insändes till Centrala studieexpeditionen den 11 september 2008.
- Tillåtna hjälpmedel: Physics Handbook, räknatabeller (TEFYMA eller motsvarande), typgodkänd
räknare och bifogade formelblad.
- Betygsgränser: 40-60p betyg 3; 61-85p betyg 4; 86-100p betyg 5
VG på projektuppgiften ger X bonuspoäng på denna tentamen.

OBS! Motivera klart men kortfattat dina svar, t ex beräkningsmetoder och approximationer. Om uppgifter saknas i problemtexten, gör då själv rimliga antaganden.

OBS! Separata ENM010-eluppgifter finns efter de första 7 uppgifterna.

-
- 1
- Om allt annat är oförändrat, hur varmt skulle vi ha det på jorden om avståndet mellan solen och jorden halverades? (5 p)
 - Ett sätt att ta vara på solinstrålningen är att använda solceller vilket i sin tur kräver omvandling av spänningen. Detta kan göras via en Buckomriktare. Antag att alla komponenter i en Buck-omriktare kan anses ideala. Låt V_o vara konstant vid 5 V genom att variera "Duty Cyclen" D . Inspänningen (V_d) är 30 V, switchfrekvensen (f_{sw}) är 50 kHz, induktansen (L) är 100 μ H, kapacitansen (C) är 470 μ F och uteffekten är 40 W. Plotta $i_{Diode}(t)$, $i_{in}(t)$ och $i_L(t)$ för driftpunkten under antagande om CCM (Contineous conduction mode=induktorströmmen är alltid >0). Bevisa sedan att kretsen arbetar i CCM. (15p)
 - Beräkna (OBS ! att utan härledning skriva ett uttryck och värde ger 0p) I_{in} (medelvärde av inströmmen $i_{in}(t)$). (4p)
 - För en minskning med 10% av V_{in} , beräkna I_{in} . (3p)
 - Baserat på en förenklad livscykelanalys jämför spänningsomvandling med transformator eller med switchad reglering. Vilken är att föredra? (6 p) (33 p)

Svarsförslag:

1a

Utgå från solarkonstanten 1370 W/m^2 och att solen utstrålar ca $3,92 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

$$\frac{3,92 \cdot 10^{26}}{4 \cdot \pi \cdot (\text{avst mellan sol och jord})^2} \cdot \text{Jämvikt när inkommande} = \text{utstrålat.}$$

$$\text{"solarkonstant"} \cdot \pi \cdot (\text{jordradie})^2 = \sigma \cdot T^4 \cdot 4 \cdot \pi \cdot (\text{jordradie})^2$$

$$\text{Lös ut } T. T = \sqrt[4]{\frac{\text{"solarkonstant"}}{4 \cdot \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3,92 \cdot 10^{26}}{4 \cdot \pi \cdot (149600000 / 2\text{km})^2 \cdot 4 \cdot \sigma}} = 396\text{K} \text{ Svaret}$$

varierar sedan beroende på om man tar med albedo eller ej, samt vilket albedo man räknar med.

1b

För att kunna plotta $i_d(t)$ måste vi först beräkna vilken tid switchen är tillslagen

$$\text{(leder)} t_{on} = DT_{sw} \text{ där } T_{sw} = 1/f_{sw}$$

Vi antar att Buck-omriktaren arbetar i stationärtillstånd samt CCM (continuous conduction mode $\Rightarrow i_L > 0$,) och att utspänningen är en ren likspänning $\Rightarrow v_o = V_o$.

Vi vet vidare att

$$i_L(T_S) = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T_S} v_L(t) dt$$

$$v_C(T_S) = v_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T_S} i_C(t) dt$$

Tack vare att vi har stationärtillstånd vet vi att medelspänningen över induktorn samt medelströmmen genom kapacitansen är 0:

$$\frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T_{sw}} v_L(t) dt = 0, \quad \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T_{sw}} i_C(t) dt = 0.$$

I CCM går i_L genom switchen när den är tillslagen och dioden blockerar. När switchen är av så går i_L genom dioden.

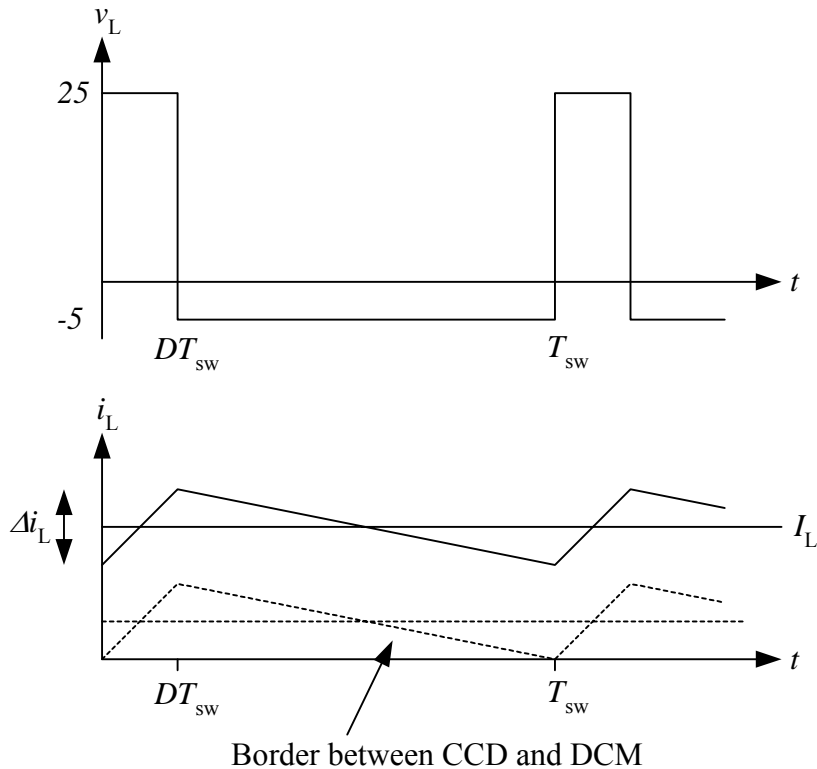
När switchen är på $v_L = V_{in} - V_o$ och när den är av $v_L = -V_o$, vi antog ju

$$\text{att} \Rightarrow v_o = V_o.$$

$$V_L = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{DT_{sw}} V_{in} - V_o dt + \frac{1}{T_{sw}} \int_{DT_{sw}}^{T_{sw}} -V_o dt = \frac{1}{T_{sw}} (V_{in} DT_{sw} - V_o DT_{sw} - V_o T_{sw} + V_o DT_{sw}) = 0 \Rightarrow$$

$$V_o = V_{in} D \Rightarrow D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{5}{30} = \frac{1}{6} = 0.167$$

Nu kan vi plotta induktorströmmen och induktorspänningen



Nu får vi kontrollera **vårt antagande om CCM**. Om $I_L \geq \Delta i_L / 2$ så arbetar omritkaren i CCM. Under on-tiden är $v_L = V_{in} - V_o = \text{konstant}$ vilket ger

$$v_L = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta i_L = \frac{v_L \Delta t}{L} = \frac{(V_{in} - V_o) DT_{sw}}{L} = \frac{25}{0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 50 \cdot 10^3} = 0.83 \text{ A}$$

Vad är I_L ?

Vi vet att $i_L = i_c + i_o$ och vidare $I_c = 0$. Eftersom $v_o = V_o$, $i_o = I_o$ pga att lasten är en resistor. Vi **beräknar medelvärdet av kondensatorströmmen**

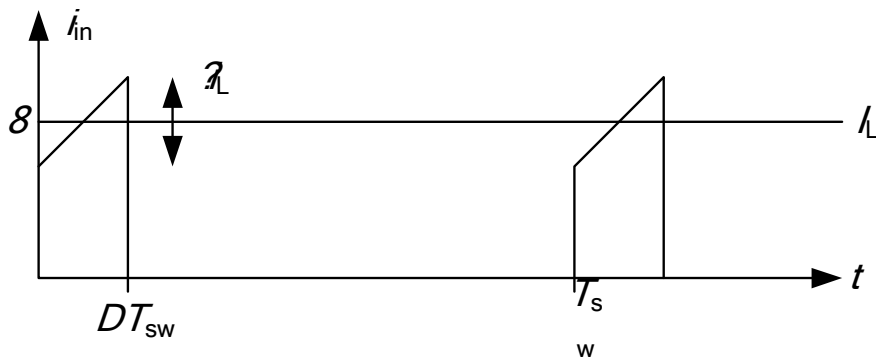
$$I_c = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_L(t) - I_o dt = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_L(t) dt - I_o = 0 \Rightarrow \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_L(t) dt = I_o = I_L$$

Vi inser att medelinduktorströmmen måste vara lika med utströmmen.

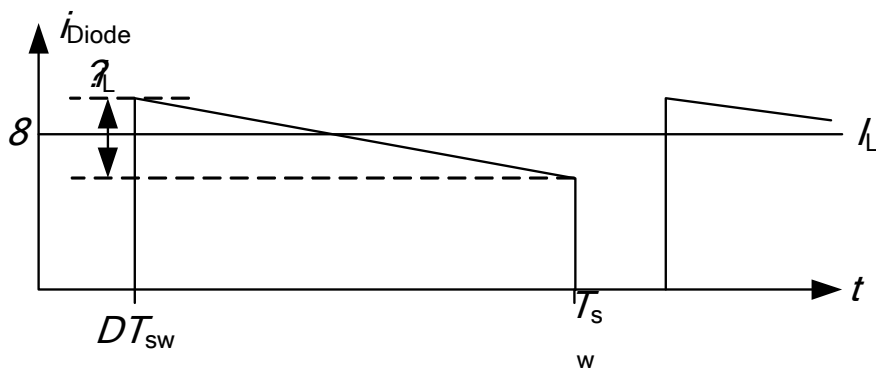
$$I_o = I_L = \frac{P_o}{V_o} = \frac{40}{5} = 8 \text{ A} \text{ och } 8 = I_L > \Delta i_L / 2 = 0.415 \text{ alltså, antagandet om CCM var}$$

OK!!

Vi vet att när swtichen är tillslagen så är $i_{in} = i_L$ och när den är avslagen så är $i_{in} = 0$, så nu kan vi plotta i_{in}



Slutligen plottar vi i_{Diode} . Vi vet att när swtichen är tillslagen så är $i_{Diode} = 0$, och då är dioden i blockerande tillstånd. När swtichen är avslagen så firhjulär induktorströmmen genom dioden, $i_{Diode} = i_L$.



1c

$$I_d = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{in}(t) dt = \frac{DT_{sw}}{T_{sw}} \frac{1}{DT_{sw}} \int_0^{DT_{sw}} i_{in}(t) dt = \frac{DT_{sw}}{T_{sw}} I_L = DI_L = \frac{8}{6} = 1.33 \text{ A}$$

Eller eftersom omriktaren är förlustfri, $P_{in} = P_o \Rightarrow I_d = \frac{V_o I_o}{V_{in}} = \frac{DV_{in} I_o}{V_{in}} = DI_o$

1d

Vi vet att utspänningen skulle kontrolleras till att vara 5 V konstant.

$$I_d = \frac{P_o}{V_{in}} = \frac{P_o}{0.9V_{in}} = \frac{40}{0.9 \cdot 30} = 1.48 \text{ A}$$

1e

Jämför effektförluster, materialåtgång, livslängd, miljöpåverkan av ingående material, mm och lägg på värderingar. Inget givet korrekt svar

2

- Förklara de ingående termerna i ekvationen för miljöpåverkan, $I = i \cdot m \cdot u \cdot p$. (3 p)
- Ge ett konkret exempel på vad du i din roll som z-ingenjör kan göra för att påverka (=minska) I. (3 p)

Svar: I: påverkan på naturen, **i:** påverkan per använd material- eller energienhet (minskas genom t.ex. filter, katalysator mm), **m:** använt material eller energi per produkt eller service (minskas med god ingenjörskonst t.ex. samproduktion av el och värme eller fax+kopiator +scanner i en apparat), **u:** antal produkter eller service per person – levnadsstandard. **p:** antal personer på jorden

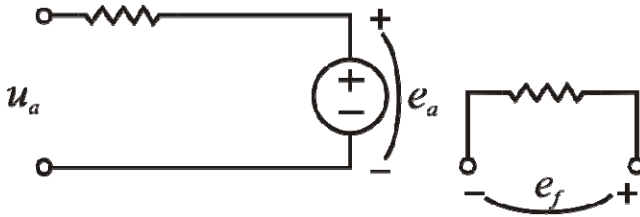
(6 p)

Det viktiga i b) är att det är förslag som inte är sådant som gemene man kan göra lika enkelt. Sortera papper, cykla till skolan, etc.

- 3 En separatmagnetiserad likströmsmaskin, med konstant fältström, har en tomgångsspänning på 440V vid ett varvtal på 2000rpm och en ankarresistans på 1Ohm. Hur hög ankarspänning behövs för att hålla varvtalet på 500rpm vid en uttagen axeffekt på 3kW (mekanisk effekt).

Svar:

Ett ekvivalent schema över en separatmagnetiserad likströmsmaskin är som följer:



Vid motordrift gäller om L_a försummas och flödet ses som en konstant:

$$u_a = R_a I_a + \Psi \cdot \omega$$

Om maskinen körs i tomgång ($I_a=0$) kan konstanten k räknas ut.

$$u_a = E_a = \Psi \cdot \omega \rightarrow \Psi = \frac{E_a}{\omega} = \frac{440V}{2000rpm} = 0.22$$

Det aktuella belastningsfallet ger:

$$E_a = \Psi \cdot \omega = 0.22 \cdot 500 = 110V$$

För att kunna leverera 3kW ut från motorn måste strömmen uppgå till:

$$P_{ut} = E_a I_a \rightarrow I_a = \frac{P_{ut}}{E_a} = \frac{3000}{110} = 27.3A$$

Spänningen till motorn bör då vara (inkl ankarresistans):

$$u_a = R_a I_a + E_a = 1 \cdot 27.3 + 110 = 137.3V$$

(10 p)

- 4 Att värma ett hus med direktverkande el verkar ju effektivt eftersom 100% av elen blir värme. Ge minst 3 argument för att det kanske inte är så effektivt som det först verkar.

Svar:

Kolla avsnittet om Exergi – energikvalitet – i Miljöfysikboken.

(9 p)

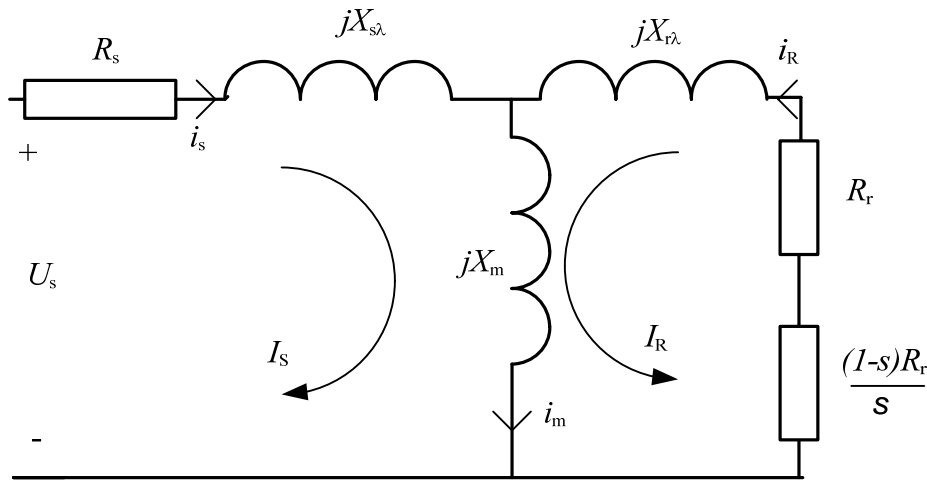
- 5 Hållbar utveckling sägs ”stå på tre ben”. Vad menar man? Ge en definition av hållbar utveckling.

Svar:

De tre benen är ekologisk, ekonomisk och social hållbar utveckling. Man kan utveckla detta till någonting i stil med en definition: ”Meet the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs” (WCED 1987:87). Hållbar utveckling tillfredsställer dagens behov utan att äventyra förutsättningarna för kommande generationer att tillfredsställa sina behov

(7 p)

- 6 En asynkronmaskin har följande data: $R_s=R_r=0.2 \Omega$, $X_{s\lambda}$ och $X_{r\lambda}=1 \Omega$, $X_m=15 \Omega$, $p=2$, $f=50 \text{ Hz}$, $U=400 \text{ V}$ Y-kopplad. Det ekvivalenta schemat för asynkronmaskinen ser ut enligt följande:



- Bestäm ekvationerna som behövs för att bestämma aktiv och reaktiv effekt som dras från elnätet som funktion av eftersläpningen, s . (10p)
- Från de erhållna resultaten, förklara hur momentet kan bestämmas. (5p)

Svar:

6a

Effekten tagen från elnätet är:

$$S = P + jQ = UI^*$$

För en trefaskrets har vi

$$S = P + jQ = 3U_{\text{phase}} I^* = \sqrt{3}U_{\text{line-line}} I^*$$

Huvudspänningen var 400 V, och det som fattas är att bestämma statorströmmen i kretsen.

För att göra detta använder vi oss av maskanalys, men först förenklar vi beräkningarna lite:

$$R_r + \frac{(1-s)R_r}{s} = \frac{R_r}{s}$$

Vi sätter upp de två maskorna och erhåller:

$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + jX_{s\lambda} \underline{I}_s + jX_m \underline{I}_s + jX_m \underline{I}_r$$

$$\underline{U}_r = \frac{R_r \underline{I}_s}{s} + jX_{r\lambda} \underline{I}_s + jX_m \underline{I}_r + jX_m \underline{I}_s$$

Eller i Matrisform:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} \underline{I}_s \\ \underline{I}_r \end{bmatrix}, \mathbf{U} = \begin{bmatrix} \underline{U}_s \\ \underline{U}_r = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 230 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} R_s + jX_m + jX_{s\lambda} & jX_m \\ jX_m & \frac{R_r}{s} + jX_m + jX_{r\lambda} \end{bmatrix}$$

Genom att invertera impedansmatrisen och multiplicera på med spänningen erhåller

(15 p)

vi

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_s \\ \underline{I}_r \end{bmatrix} = \underline{Z}^{-1} \underline{U}$$

$$S = P + jQ = 3 * 230 \underline{I}_s^*$$

Där P är den aktiva och Q den reaktiva effekten.

6b

Effekten som förbrukas i termen $\frac{(1-s)R_r}{s}$ är den mekaniska effekten. Detta betyder att

$$P = 3RI^2 = 3 \left\{ \frac{(1-s)R_r}{s} \right\} (|I_R|)^2 = T\omega$$

Vilket ger:

$$T = \frac{3}{\omega} \left\{ \frac{(1-s)R_r}{s} \right\} (|I_R|)^2$$

- 7 När man pratar om den globala ökade växthuseffekten säger man att den beror på en ökad mängd växthusgaser. Men hur mycket varmare blir ger på grund av all den energi som använder i våra mänskliga system och aktiviteter? Antag att den samhälliga energianvändningen (effekten) är 15 TW. Hur stor blir temperaturökningen som jorden uppnått vid en ny energibalans?

Svar:

Se sidan 60 i Miljöfysikboken. Temperaturökningen är ca 0,006 K

(20 p)

På ENM010-el-uppgifterna finns i en separat pdf-fil. Observera att uppgiftsnumreringen inte stämmer, men det ska inte vara några problem att hitta rätt svarsförslag.

Lösningarna

Elenergiuppgifter för ENM010

- E1** Två stycken symmetriska trefasbelastningar enligt nedan är anslutna till ett symmetriskt trefasnät med spänning 400 V, 50 Hz. Belastningarna är:
I – en Y-kopplad last med ett motstånd på 20Ω seriekopplat med en kondensator på $100 \mu\text{F}$ i varje fas
II – en Δ -kopplad last med en spole på 100 mH i varje gren.
- a) Bestäm med hur stor ström respektive last belastar nätet samt den totala ström som tas från nätet. Alla strömmar skall anges i komplex form.
 - b) Rita ett visardiagram över alla tre strömmarna med nätets fasspänning som referens.
 - c) Hur stor skenbar effekt förbrukar den totala lasten (anges i komplex form)?
 - d) Vad är det för karaktär på den totala lasten? **(15 p)**
- E2** Rita transformatorns fullständiga och förenklade ekvivalenta schema. Beskriv alla ingående komponenter. Rita även transformatorns visardiagram (för det förenklade schemat) med antagande att den belastas med en induktiv last. Ange hur transformatorns utspänning ändrar sig med belastningen (strömmen), när inspänningen är konstant. **(10 p)**
- E3** Ankaret i en likströmsmotor matas från en likriktare med variabel spänning. Fältlindningen matas separat. Ankarkretsens resistans $R_a = 0,8 \Omega$
- a) Maskinen går vid ett tillfälle belastad med ett visst moment och roterar då med 1200 rpm vid $U_a = 240 \text{ V}$ och $I_a = 10 \text{ A}$. Bestäm maskinens moment. **(5 p)**
 - b) Vid oförändrad fältström minskar man belastningsmomentet till 75 % av momentet i a). Samtidigt sänker man ankarspänningen till 200 V . Bestäm maskinens varvtal. **(5 p)**
- E4** Hur skapas det roterande flödet i statorn till en asynkronmaskin? Ange förutsättningarna. **(5 p)**