

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lösningförslag till tentamen i MILJÖTEKNIK OCH ELENERGI Z2 (ENM011/ENM010)
den 17 januari 2008 kl 8.30-12.30

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Tentamen i MILJÖTEKNIK OCH ELENERGI Z2 (ENM011/ENM010) den 17 januari 2008 kl 8.30-12.30

- Lärare: Johan Boman, tel 031 772 32 88 eller 0704 834651 och
Torbjörn Thiringer, tel 031 772 16 44 eller 0704 990877
- Lösningförslag: anslås på Studieportalen den 18 januari 2008
- Rättningsprotokoll: anslås på Studieportalen den 31 januari 2008
- Granskning: av rättning kan ske på avdelningen för elteknik den 1 februari 2008
kl 12-13 i sal Fredrik Lamms rum, elteknik. Tentamina kan hämtas fr o m
den 7 februari 2008 på studieexp, avdelningen för elteknik, vard kl 10-12
och 13-15.
- Betygslista: insändes till Centrala studieexpeditionen den 1 februari 2008.
- Tillåtna hjälpmedel: Physics Handbook, Beta, 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 5 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 8 uppgifterna.

- 1 En 100 W 24 V's glödlampa skall förses med spänningsförsörjning, ett 12 V's batteri finns att tillgå, dvs en uppspänningsomvandlare (Boost-omvandlare) erfordras antingen vid batteriet eller vid lampan.
- a. Spelar det någon roll för styrkan av det magnetiska fältet kring en ledning om man överför en given elektrisk effekt med 12 V eller 24 V spänning? Glöm inte motivering! (6 p)

Styrkan på magnetfältet är direkt proportionellt mot strömstyrkan i ledaren. För att överför en given effekt med dubbel så hög spänning (24V mot 12V) måste strömmen halveras, vilket också halverar det magnetiska fältet.

- b. I figuren i appendix presenteras en Boostomvandlare. Härled ett generellt uttryck för sambandet mellan in och utspänning, observera att presentation av endast slutformeln ger 0 poäng. (5p)

Spänningen över induktansen studeras. Eftersom omvandlaren arbetar i steady state kommer medelvärdet av spänningen att vara lika med 0 under en switchperiod.

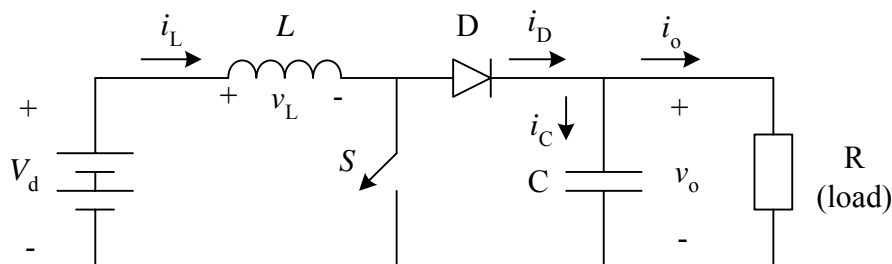
**(39
p)**

$$V_L = \frac{1}{T} \int_0^T v_L dt = \frac{1}{T} (V_d DT + (V_d - V_o)(1-D)T) = V_d + V_o(1-D) = 0 \Rightarrow$$

$$= \frac{1}{(1-D)} V_d \Rightarrow \frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{(1-D)}$$

- c. För det givna fallet har induktansen värdet 1mH och switchfrekvensen är 10 kHz. Beräkna induktorströmmen, markera tydligt topp-ström och medelström, för 12 V in, 24 V ut och 100 W lasteffekt. (10p)

För boost-omvandlaren i fråga kan det anses att alla komponenter är ideala. Låt V_d be 12 V, $V_o = 24$ V (regulated) and $f_s = 10$ kHz. Kondensatorn på utgången anses vara väldigt stor, alltså kan utspänningen anses vara en ren DC-spänning. Uteffekten är 100W.



Genom att anta att vi har ideala komponenter kan inströmmen beräknas som:

$$P_d = P_o \Rightarrow I_L = \frac{P_o}{V_d} \Rightarrow I_L = \frac{100W}{12V} = 8.33A$$

Duty-cyclen beräknas med:

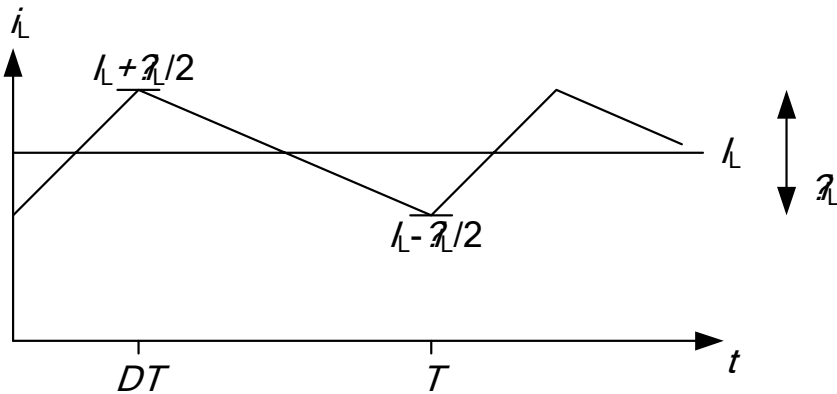
$$V_o = \frac{1}{(1-D)} V_d \Rightarrow D = \frac{V_o - V_d}{V_o} = \frac{24 - 12}{24} = 0.5$$

Ripplet på induktorströmmen kan beräknas med:

$v_L = L \frac{di_L}{dt}$ under $t=0$ till DT då induktorspänningen är konstant och lika med inspänningen. Ekvationen kan skrivas om till:

$$v_L = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta i_L = \frac{V_d DT}{L} = \frac{V_d D}{L f_s} = \frac{12V \cdot 0.5}{1m \cdot 10k} = 0.6A$$

Från tidigare resonemang har vi visat att omvandlaren arbetar i CCM om $I_L \geq \Delta i_L / 2$. I detta fall är $8.33 \geq 0.6/2$



- d. MOSFET-en som används är av typ IRF 640N. Med lämpliga förenklingar, (t.ex försumma strömrippetets inverkan på medel- och effektivvärdes-ström) beräkna MOSFET-ens kiseltemperatur utan kylfläns eller fläkt. Omgivningstemperaturen är 40°C . Är temperaturen lämplig? (om du inte löst uppgift b och c, så antag någon lämplig ström och räkna på) (6 p)

Alla switchförluster försummas, ledförlusterna kan uttryckas som,

$$v_{sw} = V_{sw,0} + R_{sw,0} i_{sw}, \text{ vilket ger}$$

$$P_{cond} = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} (V_{sw,0} + R_{sw,0} i_{sw}) i_{sw} dt = V_{sw,0} \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{sw} dt + R_{sw,0} \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{sw}^2 dt = V_{sw,0} I_{sw,av} + R_{sw,0} I_{sw,rms}^2$$

$$P_{cond} = V_{sw,0} I_{sw,av} + R_{sw,0} I_{sw,rms}^2$$

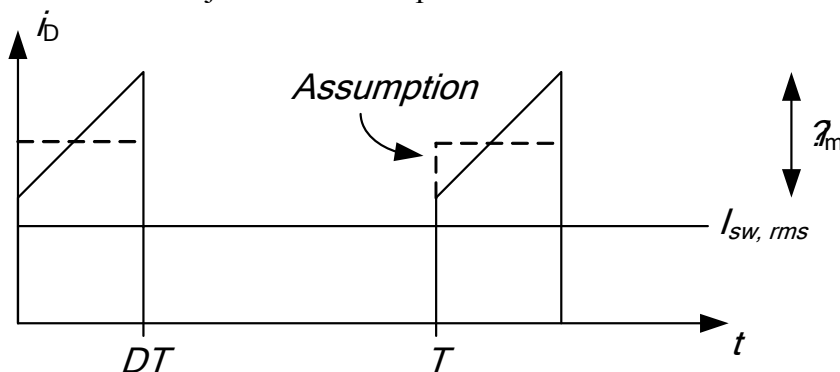
Men för en MOSFET är $V_{sw,0} = 0$ vilket gör att uttrycket kan förenklas till:

$$P_{cond} = R_{sw,0} I_{sw,rms}^2$$

För att kunna räkna ut ledförlusterna krävs alltså RMS-strömmen genom komponenten.

$$I_{d,rms} = \sqrt{\frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{sw}^2 dt} = \sqrt{\frac{DT_{sw}}{T_{sw}} \frac{1}{DT_{sw}} \int_0^{DT_{sw}} i_d^2 dt} =$$

För att förenkla beräkningarna ytterligare försummas rippet på strömmen, se figur nedan där den streckade linjen är vår assumption:



$$\Delta i_L = \frac{v_L \Delta t}{L} = 0.6 A$$

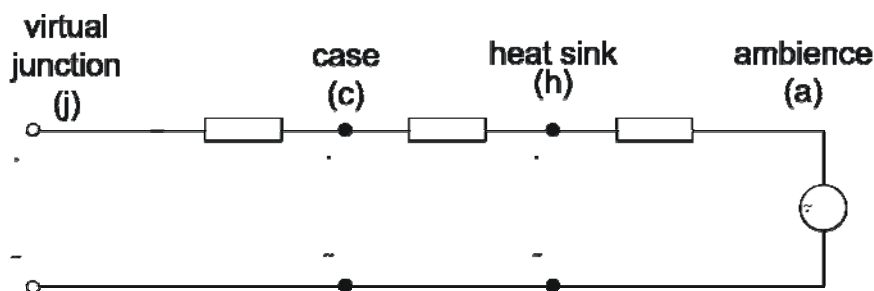
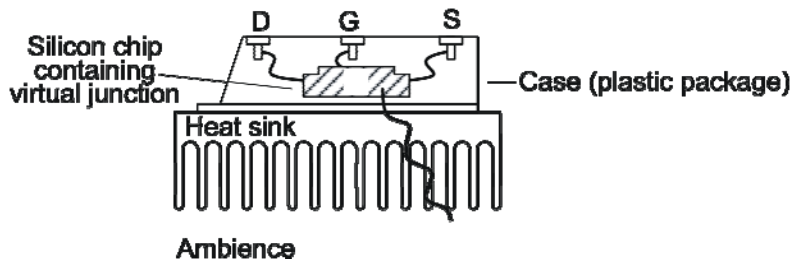
$$I_L = 8.33 A$$

$$I_{sw,rms} = \sqrt{\frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{sw}^2 dt} = \sqrt{\frac{DT_{sw}}{T_{sw}} \frac{1}{DT_{sw}} \int_0^{DT_{sw}} i_d^2 dt} = \sqrt{\frac{DT_{sw}}{T_{sw}}} 8.33 A = \sqrt{\frac{0.5}{1}} 8.33 A = 5.89 A$$

Dom totala led förlusterna kan nu beräknas

$$P_{cond} = R_{sw,0} I_{sw,rms}^2 = 70 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2 = 2.43 W$$

Maxtemperaturen för kisel-chippet får ej överstigas, alltså specas den termiska resistansen från en virtuell junction på chippet till ytterhöljet på komponenten.



Chip-temperaturen kan då beräknas som:

$$R_{\theta ja} P_{loss} + T_a = (R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) P_{loss} + T_a = (62^\circ C/W) 2.43 W + 40^\circ C = 191^\circ C$$

e. Använd kylflänsen från appendixet, vad blir nu kiseltemperaturen? (4 p)

Med en kylfläns monterad tas den termiska resistansen från chip till heatsink. Till detta adderas sedan kylflänsens termiska resistans. Chip-temperaturen kan då beräknas som:

$$T_j = R_{\theta ja} P_{loss} + T_a = (R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) P_{loss} + T_a = (1 + 0.5 + 16)^\circ C/W \cdot 2.43 W + 40^\circ C = 82.5^\circ C$$

f. Transistorn är baserad på kisel-teknologi, dvs i huvudsak byggd av kisel. Gör en livscykelanalys (som ska innehålla miljöaspekter, mänskliga/sociala konsekvenser och ekonomi) av en transistor av kisel, där du identifierar det mest kritiska steget för att minska miljöpåverkan. (8 p)

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lösningförslag till tentamen i MILJÖTEKNIK OCH ELENERGI Z2 (ENM011/ENM010)
den 17 januari 2008 kl 8.30-12.30

Här krävs tydliga antaganden om kiseltransistorns påverkan på miljö och hälsa, samt delar av de vanliga LCA-stegen: Definition av mål och omfattning, Inventeringsanalys, Miljö-påverkansbedömning, Tolkning (där det finns plats även för mänskliga/sociala och ekonomiska konsekvenser). Vilket som är det mest kritiska steget beror helt på vad ni har tagit med i er LCA. Kan vara transporter, användning av giftiga ämnen vid framställning, kostnader av olika slag.

- 2 Nämn hur energi kan lagras
- Magnetiskt En liten mängd energi lagras tillfälligt i en spole i en elektrisk krets.
 - Elektromekaniskt Låt billig natt-el pumpa upp vatten till en högre nivå.
 - Kemiskt Ett batteri/en ackumulator är en typ av kemisk energilagring.
Glöm inte att exemplen kan vara på olika skalor, med olika energimängder/ spänningar.
 - Ge minst två exempel på variabler/faktorer som påverkar energiefterfrågan i ett samhälle.

Pris på energi kan påverka efterfrågan, liksom kunskap om konsekvenserna av en för stor energiefterfrågan som bygger på ohållbar tillförsel. **(12 p)**

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

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

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. **(6 p)**

- 4
- I debatten om förändrat klimat förekommer ibland en oro för att man kan få effekter med inneboende återkoppling. Ge två exempel på sådana återkopplingar.

Värmen tinar upp permafrostområden där det avges metan som leder till ökad uppvärmning som leder till mer upptinade områden osv.

Havet blir så varmt att koldioxid inte längre löses utan avges, vilket värmer atmosfären, vilket värmer havet som avger med koldioxid, osv.

- Identifiera för ingenjören hanterbara delproblem i den övergripande frågeställningen om den globala uppvärmningen.

Effektivisering av tekniska delen av samhället på olika sätt. Smartare konstruktioner genom transmaterialisering. Dematerialisering.

(10 p)

- 5 En separatmagnetiserad likströmsmaskin skall varvtalsregleras med en inre momentloop. Maskinens parametrar är $U_a=200$ V, $R_a=1$ Ω samt $L_a=28$ mH. Ihop med lasten är $B=1$ samt $J=0.1$ kgm². Observera att B här betyder lastkoefficient, $T_{last}=B*\omega_r$
- a. Vad kan skälet vara till att använda en inre strömloop?

Man erhåller bättre dynamisk prestanda på varvtalsregleringen.

- b. Bandbredden på överföringsfunktionen från referensvärde för ankarströmmen till ärvärde skall vara 1000 rad/s. Härled en strömregulator, samt ange tydligt vad som går in till strömregulatorn samt vad som kommer ut. Att endast skriva upp regulatorparametrarna ger 0 p.

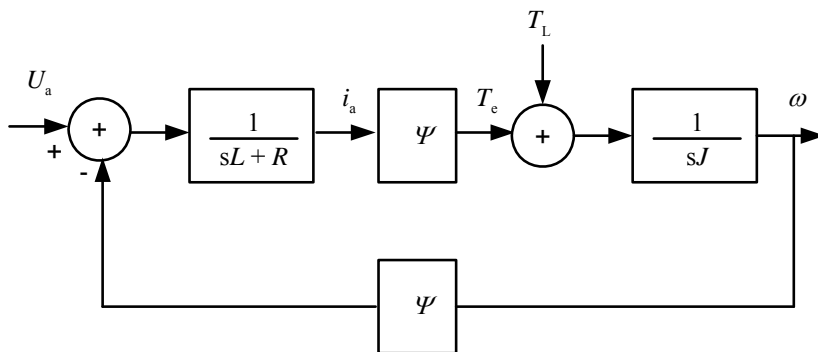
En strömregulator tar som insignal ett önskat samt aktuell värde på strömmen samt matar ut den spänning som erfordras för att erhålla denna ström

Utifrån likströmsmaskinens ekvationer

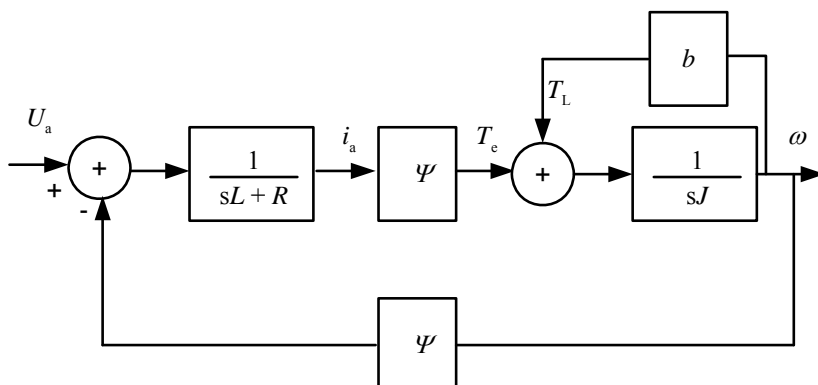
$$U_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + \omega_r \psi$$

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_e - T_L = \psi i_a - T_L$$

kan följande blockschema erhållas

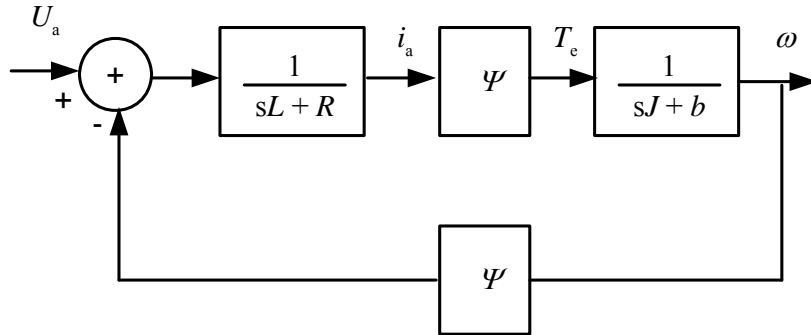


B kan manipuleras in

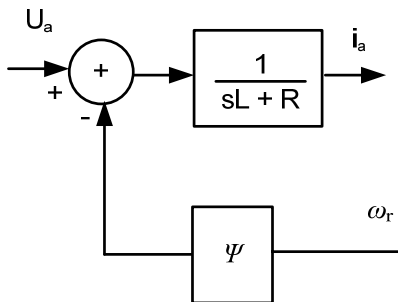


(13
p)

Vilket ger



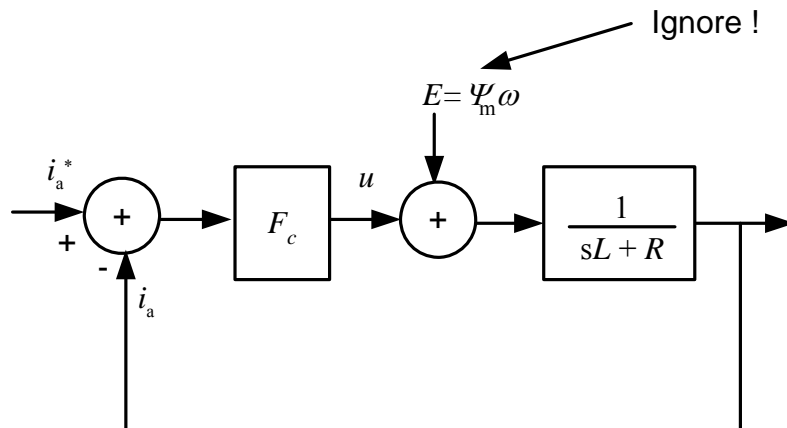
Låt oss nu detaljstudera den elektriska biten



Om det inte vore för biten $\omega_r\Psi$ så skulle strömmen i maskinens lindningar enkelt kunna bestämmas från spänningen. Nu var det ju dock så att strömdynamiken är mycket snabbare än varvtalsdynamiken så vi kan försumma inverkan av varvtalsförändringen. Det stationära fel som kommer att bildas kan I-delen i regulatorn ta hand om.

Regulatordesign med IMC:

Vi ordnar det så att det slutna systemets kretsöverföringsfunktion är ett första ordningens lågpasfilter, och nu skall vi designa en regulator F_c så att detta blir uppfyllt. Först studerar vi dock vår regulatoruppsättning och konstaterar att vi ignorerar "rotations-emkn"



Det slutna systemets överföringsfunktion skall således bli

$$G_c(s) = \frac{i_a}{i_a^*} = \frac{\alpha}{s + \alpha} = \frac{\alpha/s}{1 + \alpha/s} \quad (**)$$

Där $G(s) = \frac{1}{R + sL}$

$$G_c(s) = \frac{i_a}{i_a^*} = \frac{F(s)G(s)}{1 + F(s)G(s)} \quad (*)$$

Detta ger oss med (**) i (*)

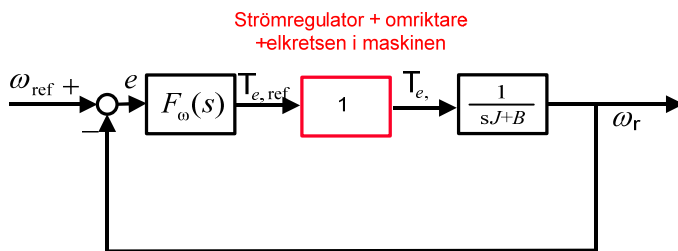
$$F_c(s) = \frac{\alpha_c}{s} G_e^{-1}(s) = \frac{\alpha_c}{s} (s\hat{L} + \hat{R}) = \alpha_c \hat{L} + \frac{\alpha_c \hat{R}}{s}$$

Insättning ger:

$$F_c(s) = 1000 \cdot 0.028 + \frac{1000 \cdot 1}{s} = 28 + \frac{1000}{s}$$

c. Rita upp hela blockschemat över styrningen med den yttre varvtalsregleringen.

På samma sätt som vi arrangerade regleringen av strömmen kan vi arrangerera regleringen av varvtalet. Vi utnyttjar ånyo det faktum att varvtalsregleringen är mycket långsammare än strömregleringen. Sålunda blir momentregleringen ur varvtalsregleringens horisont endast en "1:a".



- d. Maskinen startas nu oreglerad, dvs man slår bara på en fast spänning. Vad blir den högsta strömmen (approximativt) under startförloppet och ungefär när inträffar denna strömtopp?

Antag att vid den oreglerade starten är enda strömbegränsningen i kretsen R_a . Den elektriska tidskonstanten är mycket snabbare än den mekaniska. Således kan det anses att maskinen inte hunnit börja rotera innan strömmen nått ett elektriskt stationärtillstånd gällande för stillastående maskin (motemk=0 för en stillastående maskin). Strömmen blir då $U/R=200$ A. Detta inträffar ca 50-100 ms efter att man tryckt på startknappen. Den elektriska tidskonstanten är $L/R=28$ ms och då har strömmen nått 63 % av sitt slutliga värde, dvs 126 A, efter $3 \cdot 28$ ms 95 % av sitt slutvärde, osv. Nu har dock maskinen så sakteliga börjat rotera och då stiger motemk'n vilket gör att vi aldrig når till 200 A, men nästan.

- e. Antag att maskinen matas med en dubbelledare. Hur stort är det magnetiska fältet en meter från ledaren vid max ström?

Om vi antar att det inbördes avståndet mellan ledarna är 1 cm så blir i så fall fältet cirka 0,2 mikroTesla om vi använder den förenklade sättet av beräkna magnetfältet för en dubbelledare som finns i formelbladet och i Hamnerius häfte.

- 6 Nämn tre olika belysningsobjekt samt ange deras inbördes förmåga att omvandla el till ljus.

Glödlampa: Ger mest värme, ca 5% av inmatad effekt blir ljus

Lysrör/lågenergilampa: Ger bättre ljusutbyte, ca 20 % av inmatad effekt blir ljus

LED, ger ungefär samma ljusutbyte som lysrör, ca 20% av inmatad effekt blir ljus, men kräver mindre "kringutrustning" för samma mängd ljus, dvs den verkliga verkningsgraden är större än för lysrör.

(9 p)

- 7 Hållbar utveckling sägs "stå på tre ben".

a. Vad menar man?

b. Ge en definition av hållbar utveckling.

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.

(6 p)

8 Vad innebär det att hushålla med energi respektive exergi?

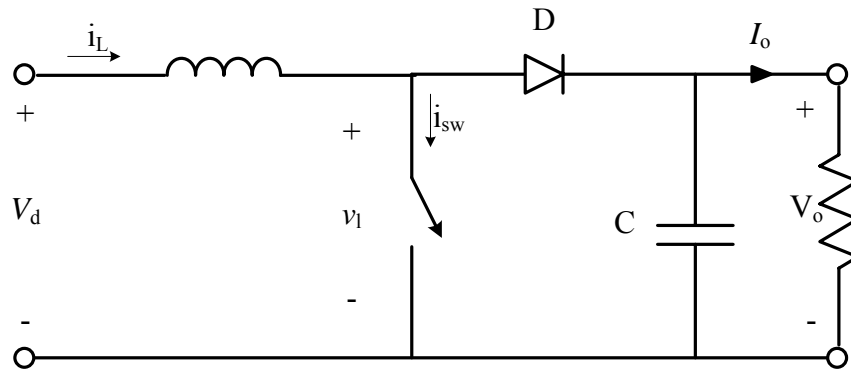
Att anpassa energikällans kvalitet med förbrukningens kvalitetskrav. Se Miljöfysikboken, **(5 p)**
kapitel 14.

Elenergiuppgifter för ENM010

- E1** En trefas, sexpolig asynkronmotor för 50 Hz är märkt: 150 kW; 3,3 kV; 36 A; $\cos \varphi = 0,8$; 965 rpm. Statorns och rotorns resistanser (hänfödda till statorsidan) är vardera $1,4 \Omega/\text{fas}$. Motorns friktionsförluster kan försummas i jämförelse med övriga förluster. Tomgångsströmmen kan försummas i förhållande till märkströmmen. Gör i övrigt lämpliga approximationer vid beräkningarna.
Bestäm med motorn ansluten till ett 3,3 kV-nät:
- Tomgångsvarvtalet
 - Varvtalet vid halvt märkmoment
 - Motorns järnförluster vid märkdrift
 - Motorns verkningsgrad vid märkdrift
- (15 p)**
- E2** Till ett 400 V, 50 Hz symmetriskt trefasnät är följande symmetriska trefasiga belastningar anslutna:
- I: En Y-kopplad elmotor som förbrukar 10 kW vid $\cos \omega = 0.707$
II: Tre Δ -kopplade impedanser på vardera $(3-j12) \Omega$.
III: Glödlampssatser som förbrukar 3.6 kW vid $\cos \omega = 1$.
- Beräkna den första lastens impedanser per fas uttryckt i komplex form.
 - Bestäm fasströmmarna som respektive last belastar nätet med samt den totala strömmen som tas ifrån nätet. Alla strömmar skall anges i komplex form. Rita ett visardiagram över alla strömmar beräknade med nätets fasspänning som referens.
 - Bestäm den från nätet totalt avgivna aktiva och reaktiva effekten.
 - Bestäm den effektfaktor med vilket nätet arbetar. Har nätets totala belastning induktiv eller kapacitiv karaktär?
- (15 p)**
- E3** Hur kan man styra frekvensen respektive spänningen i ett elnät? **(5 p)**
- E4** Hur skapas det roterande flödet i statorn till en asynkronmaskin? Ange förutsättningarna. **(5 p)**

Appendix

Layout Boost-krets



Klipp ur datablad för MOSFET IRF 640N



BUZ10

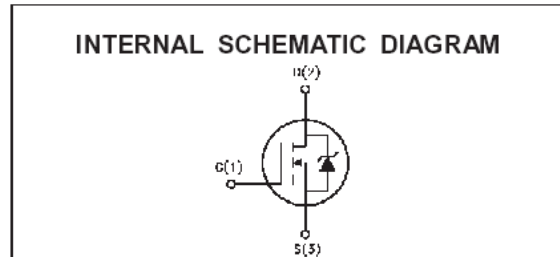
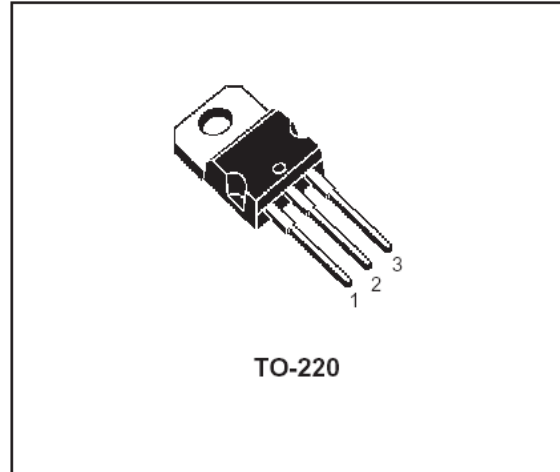
**N - CHANNEL 50V - 0.06Ω - 23A TO-220
STripFET™ MOSFET**

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
BUZ10	50 V	< 0.07 Ω	23 A

- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.06 Ω
- AVALANCHE RUGGED TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- HIGH CURRENT CAPABILITY
- 175°C OPERATING TEMPERATURE

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- REGULATORS
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- AUTOMOTIVE ENVIRONMENT (INJECTION, ABS, AIR-BAG, LAMPDRIVERS, Etc.)

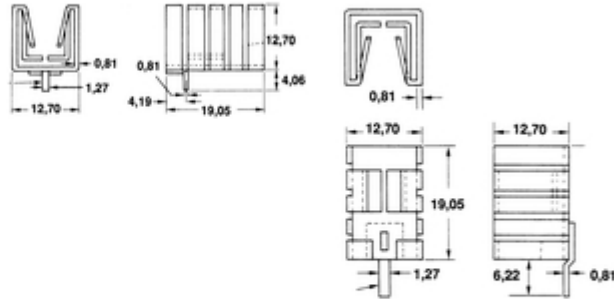


Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
R _{θJC}	Junction-to-Case	—	1.0	°C/W
R _{θCS}	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface ④	0.50	—	
R _{θJA}	Junction-to-Ambient④	—	62	
R _{θJA}	Junction-to-Ambient (PCB mount)⑤	—	40	

Kylfläns

TO220 heatsink



Thermal resistance: 16 °C/W at 5 W

Mfr. Aavid

Heatsink with spring-loaded (no screws), four point clamp to package.
Black matt anodised aluminium