

# Tentamen i ETEF10 Kraftelektronik 2015-08-28, kl 08:00-13:00, Sal E230

## Lunds Universitet, Campus Helsingborg

Tillåtna hjälpmedel: Räknedosa, linjal, bifogad formelsamling

Tentamen består av totalt 6 uppgifter om 10 poäng vardera. För godkänt resultat på tentamen krävs 30p, för betyget fyra krävs 40p och för betyget fem krävs 50p.

Observera att samtliga beräkningar måste redovisas för att erhålla poäng på respektive deluppgift

### 1. Likriktare och uppspänningsomvandlare

- Rita en enfasig diodlikriktare som ansluts till en uppspänningsomvandlare via ett kapacitivt mellanled ( $C_{dc}$ ). Rita även in ett kapacitivt utgångsfilter ( $C$ ) som ansluts på uppspänningsomvandlaren utgång och en resistiv last ( $R_{load}$ ) ansluten parallellt med filterkondensatorn  $C$ . (1 p)
- Härled ett uttryck för att beräkna mellanledningsspänningens medelvärde  $V_{dc}$  ur det matande nätets RMS-spänning  $U_{LN}$ . Hur hög blir  $V_{dc}$  om  $U_{LN}=230V$ . (3 p)
- Härled ett uttryck för att beräkna transistorens duty-cycle ( $\delta_T = t_T / \tau = t_T / T_{sw} = t_T \cdot f_{sw}$ ) ur mellanledningsspänningen  $V_{dc}$  och spänningen över filterkondensatorn ( $C$ )  $V_o$  som betraktas som konstant. Hur hög ska duty-cyceln vara om  $V_o=280V$ ? Antag att omvandlaren arbetar i ansluten drift. (sätt  $V_{dc}=200V$  om du saknar svar på deluppgift b.) (3 p)
- Härled ett uttryck för att bestämma strömriplet i induktorn dvs  $\Delta i_L$ . Hur högt blir strömriplet i detta fall om  $L=1.5mH$ ? Switch-frekvensen är  $f_{sw} = 50$  kHz. (2 p)
- Ange ett skäl till att välja hög respektive låg switchfrekvens. (1 p)

### 2. Fyrkvadrant DC-DC omvandlare

Du ska bygga en fyrkvadrant DC-DC-omvandlare (utan likriktare) och har bestämt dig för att använda två IGBT-moduler av typ SEMIKRON SKM300GB12E4 (se bifogad datablad) som du anser vara tillräckliga för din applikation där mellanledningsspänningen är  $V_{dc}=750V$  och lastströmmen  $I_{Load}=I_o=100A$ . Du har bestämt att IGBT:ernas gate-motstånd ska ha värdet  $R_G=5\Omega$  och dina gate-drivers ska ha matningsspänningar så att  $V_{GE}=\pm 15V$ . Switch-frekvensen för transistorhalvbryggorna är  $f_{sw}=4$  kHz.

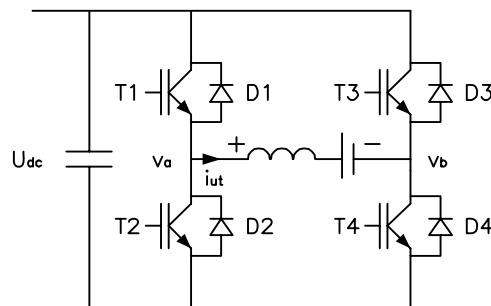


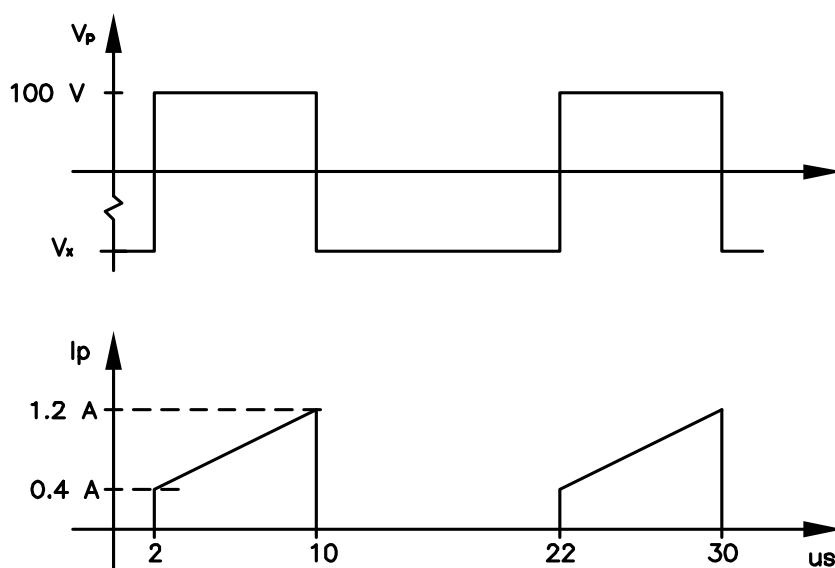
Fig 1: Fyrkvadrantomvandlare.

- Fyrkvadrantomvandlaren i Fig 1 drivs i andra kvadranten, dvs positiv utspänning och negativ utström. Omvandlaren utspänning motsvarar  $0.5U_{dc}$ . Skissa spänningarna  $v_a$  och  $v_b$  i förhållande till den negativa skenan på mellanledet. Skissa även utspänning och ström ut från omvandlaren. Ange spänningsnivåer samt tid i figuren. (2 p)

- b. Beräkna led- och switch-förluster för en IGBT och en frihjulsdiod genom att använda uppgifterna i databladet. Var noga med att ange i vilken figur/tabell du hittar data som du använder för respektive beräkning. Antag att duty-cyceln för de transistorerna som verkligen leder ström är 0.9. (5 p)
- c. Gör en kylardimensionering dvs bestäm vilken termisk resistans  $R_{thha}$  kylflänsen måste ha. Antag att maximalt tillåten kiseltemperatur i applikationen är  $T_{j,max}=125^{\circ}\text{C}$  och att omgivningstemperaturen kan vara så hög som  $T_{amb}=45^{\circ}\text{C}$ . (3 p)

### 3 Flyback-omvandlaren

I Fig 2 visas switchkurvformerna för en flyback-omvandlare med galvanisk separation. Mellanledningsspänningen  $V_{dc}=100\text{V}$  och omsättningen för transformatorn är  $N1/N2=5$ .



**Fig 2:** Switchkurvformer för flyback-omvandlare. Överst: spänning över transformatorns primärlindning. Underst: transistorens drainström

- a. Bestäm transformatorns självinduktans sett från primärsidan. (2 p)
- b. Härled ett uttryck för att bestämma flyback-omvandlarens utspänning  $V_{out}$  som funktion av mellanledningsspänningen  $V_{dc}$ , transformatorns omsättning  $N1/N2$  och transistorens duty-cycle  $\delta_T = t_T / \tau$ . Hur hög blir utspänningen om omvandlaren switchas enligt Fig 2? (3 p)
- c. Hur hög är spänningen  $V_x$  som är markerad i Fig 2? (1 p)
- d. Hur hög spänning måste transistoren kunna blockera? (1 p)
- e. Härled ett uttryck för att beräkna utspänningsripplet vid ansluten drift. Beräkna kapacitansen hos utgångskondensatorn  $C_{out}$  som ger ett spänningsrippel motsvarande 1% av utspänningens medelvärde vid drift enligt ovan. (3 p)

#### 4 Diverse

- Vilken viktig skillnad i funktion finns det mellan transformatorn i en flyback-omvandlare och en forward-omvandlare? (2 p)
- En induktans matas med en 10 kHz fyrkantsspänning (utan DC-komponent) med duty-cycle 0.5 och amplituden 12 V. Beräkna maximala flödet i kärnan om antalet lindningsvarv är 25 och kärnan har en tvärsnittsarea på  $15\text{mm}^2$ . (3 p)
- Strömmen ut från en trefasig diodlikriktare kan skrivas  $i_{Ldc}(t) = I_{dc} - \hat{i}_6 \sin(6 \cdot 2\pi f_n t) = I_{dc} - \hat{i}_6 \sin(\omega_6 t)$  där  $I_{dc} = 12\text{A}$ ,  $\hat{i}_6 = 3\text{A}$ . Ange ett uttryck för att beräkna RMS-värdet av strömmen som flyter genom induktorn  $L_{dc}$  och beräkna RMS-värdet enligt givna data. (2 p)
- Härled ett uttryck för att beräkna RMS-värdet av strömmen som flyter genom en likriktardiod enligt uppgift c. Beräkna RMS-värdet enligt givna data. Observera att en trefasig diodlikriktare används. (3 p)

#### 5. Snubbrar

Antag att du har designat en nedspänningsomvandlare för nominell mellanledningsspänning  $V_{dc} = 250\text{V}$  och nominell lastström  $I_o = 100\text{A}$  (induktiv). Du har valt att transistorn ska vara en MOSFET.

- Skissa drain-source-spänningen ( $v_{DS}$ ) och drain-strömmen ( $i_D$ ) för ett MOSFET-tillslag ( $t_{on} = t_{ri} + t_{fv} = 50 + 150\text{ns}$ ) och ett MOSFET-frånslag ( $t_{off} = t_{rv} + t_{fi} = 200 + 100\text{ns}$ ). Beräkna motsvarande tillslags- och frånslagsförluster (energiförluster). (3 p)
- Du placerar en RCD-snubber av upp-och-urladdningstyp över enbart MOSFET:en. Rita nedspänningsomvandlaren med denna snubber. Härled ett uttryck för att välja snubberkapacitansen  $C_s$  så att drain-source-spänningen  $v_{DS}$  stiger på samma tid som drain-strömmen  $i_D$  faller vid frånslag (dvs  $t_{fi} = 100\text{ns}$ ). Beräkna ett värde på  $C_s$ . (3 p)
- Beräkna frånslagsförlusterna (energiförluster) då snubbern från uppgift b används. (2 p)
- Förklara funktionen hos snubbers resistor respektive diod. (2 p)

#### 6. Forward-omvandlaren

- Rita kretsschema för en isolerad forward-omvandlare med LC utgångsfiltret. (1p)
- Transformatorn har omsättningen  $N_1:N_2:N_3 = 1:1:1$ . Transformatorns magnetiseringsinduktans refererad till primärsidan är  $L_m' = 2.5\text{mH}$ . Transistorns switchfrekvens är 50 kHz. Mellanledningsspänningen (dvs inspänningen) är  $V_{dc} = 150\text{V}$ . Beräkna utspänningens medelvärde om transistorns duty-cycle  $\delta_T = t_T / \tau = t_T / T_{sw} = t_T \cdot f_{sw} = 0.2$ . Antag att omvandlaren arbetar i ansluten drift. (2 p)
- Den nominella uteffekten från omvandlaren är  $P_n = 80\text{W}$ . Bestäm induktansen hos induktorn i utgångsfiltret så att gränsen mellan ansluten och icke-ansluten drift inträffar vid uteffekten  $P_{out} = 0.1P_n$ . (2 p)
- Beräkna den kritiska resistansen  $R_{crit}$  dvs lastresistansen som motsvarar drift på gränsen mellan ansluten och icke-ansluten drift. (2 p)
- Rita transistorns primärström och magnetiseringsström samt induktorströmmen i utgångsfiltret för ett driftsfall enligt deluppgift d. Ange strömnivåer samt tid i figuren. (3 p)