

Tentamen i ETEF10 Kraftelektronik 2016-05-13, kl 08:00-13:00, Sal C548
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 trefasig diodlikriktare som ansluts till en uppspänningsomvandlare via ett kapacitivt mellanled (C_{dc}). Rita även in ett kapacitivt utgångsfilter (C i din figur) som ansluts på uppspänningsomvandlarens utgång och en resistiv last (R_{load}) ansluten parallellt med filterkondensatorn C . (1 p)
- Härled ett uttryck som kan användas för att bestämma mellanledningsspänningens medelvärde V_{dc} ur effektivvärdet (dvs RMS-värdet) för trefasnätets huvudspänning U_{LL} . Hur hög blir V_{dc} om $U_{LL}=230V$? (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 $V_o=500V$? Antag att omvandlaren arbetar i ansluten drift. (sätt $V_{dc}=400V$ om du saknar svar på deluppgift b.) (3 p)
- Härled ett uttryck för att bestämma strömripletet i induktorn dvs Δi_L . Hur högt blir strömripletet i detta fall om $L=1.5\text{ mH}$ och switch-frekvensen är $f_{sw} = 40\text{ kHz}$? (2 p)
- Antag att likriktarbryggan i deluppgift a ersätts med en tyristorbrygga. Hur ska tyristorerna styras för att mellanledningsspänningen V_{dc} ska halveras jämfört med den i deluppgift b? (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 SKM300GB125D (se bifogat datablad) som du anser vara tillräckliga för din applikation där mellanledningsspänningen är $V_{dc}=750V$ och lastströmmen $I_{Load}=I_o=150A$. Du har bestämt att IGBT:ernas gate-motstånd ska ha värdet $R_G=10\Omega$ och dina gate-drivers ska ha matningsspänningar så att $V_{GE}=\pm 15V$. Switch-frekvensen för transistorhalvbryggorna är $f_{sw}=3\text{ kHz}$.

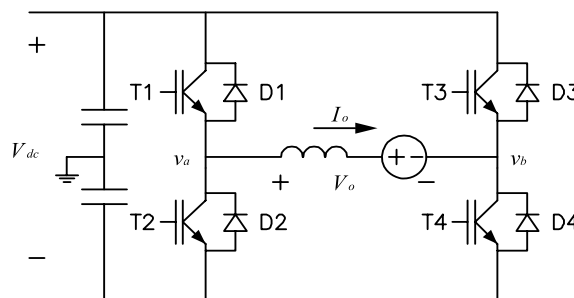


Fig 1: Fyrkvadrantomvandlare.

- Antag att en likströmsmotor ansluts på fyrkvadrantomvandlarens utgång enligt Fig 1. Omvandlaren drivs så att motorn bromsas, dvs dess utspänning (V_o) är positiv medan dess utström (I_o) är negativ. Medelvärdet på omvandlarens utspänning motsvarar $0.5V_{dc}$. Skissa spänningarna v_a och v_b i förhållande till jord. Skissa även utspänning V_o och ström I_o 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 0.99. (5 p)
- c. Gör en kylardimensionering dvs bestäm vilken termisk resistans R_{thja} 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 $T_{amb}=40^{\circ}\text{C}$. (3 p)

3 Flyback-omvandlaren

I Fig 2 nedan visas switch-kurvformer för en flyback-omvandlare med galvanisk separation. Mellanledningsspänningen är $V_{dc}=48\text{V}$. Transformatorns självinduktans refererad till primärsidan är $100\ \mu\text{H}$.

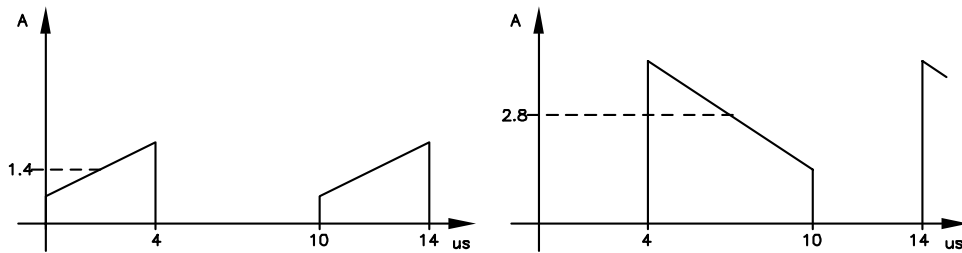
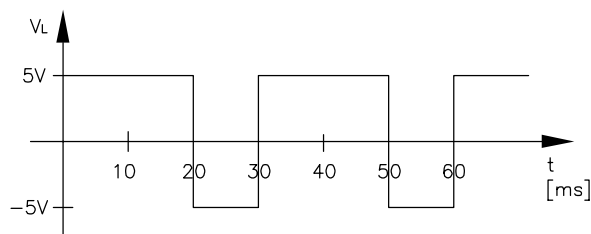


Fig 2: Kurvformer för flyback-omvandlaren. Till vänster: transformatorns primärström. Till höger: transformatorns sekundärström.

- a. 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 utspänning borde kurvformerna i Fig 2 ge upphov till? (3 p)
- b. Rita spänningen över transformatorns primärlindning samt transistorspänning som funktion av tiden. Ange spänningsnivåer samt tid i figuren. (2 p)
- c. Bestäm transistorens toppström. (2 p)
- d. På omvandlarens utgång är en kondensator kopplad parallellt med lasten. 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. (3 p)

4 Diverse

- a. Nedanstående kurvmform återger spänningen mätt över en induktor med 10 lindningsvarv och en induktans på 25 mH. Antag att flödet i induktansen är noll vid tidpunkten noll. Skissa flödet i kärnan. Hur högt är flödet vid tidpunkten 60 ms? (3 p)



- b. Hur hög är strömmen i lindningen vid tidpunkten 60 ms? (2 p)
- c. Ange en fördel samt en nackdel med hög switchfrekvens. (2 p)
- d. Ange en fördel samt en nackdel med att välja lågt värde på gateresistansen i en drivkrets till en IGBT eller MOSFET? (2 p)

- e. Varför är det nödvändigt med galvaniskt separerade matningsspänningar till transistor drivstegen i en halvbrugga. (1 p)

5. Snubbar och halvledarförluster

Antag att du har designat en nedspänningsomvandlare för nominell mellanledningsspänning $V_{dc}=540\text{V}$ och nominell lastström $I_o=20\text{A}$. Du har valt att transistorn ska vara en MOSFET.

- a. När du testar nedspänningsomvandlaren upptäcker du att du gjort en alldeles för dålig design av mellanledet så att ströinduktansen L_σ blivit oacceptabelt hög. Därför monterar du en rent kapacitiv överspänningssnubber över mellanledet alldeles intill halvledarna. Rita en nedspänningsomvandlare med en spänningskälla som mellanled (V_{dc}) samt en induktor (L) och en annan spänningskälla (V_{load}) som last. Rita också in ströinduktansen (L_σ) och den rent kapacitiva överspänningssnubbern (C_s). Förklara hur snubbern fungerar. (2 p)
- b. Antag att $L_\sigma=200\text{nH}$ och $C_s=100\text{nF}$. Hur stor överspänning över transistorn kan man förvänta sig för ett transistorfrånslag vid nominell ström. Härled ett uttryck (med detaljerade förklaringar) för att bestämma överspänningen ur ovanstående data och sätt in data för att beräkna överspänningen. (3 p)
- c. I en nedspännings-omvandlare switchas en MOSFET med 10 kHz och leder under en tid motsvarande 80% av periodtiden. Inspänningen till omvandlaren är 100 V. Medelströmmen ut från omvandlaren är 5A och strömrippet är $I_{ripple, pk-pk} = 2\text{A}$. Ledspänningsfallet för transistorn är $V_{ds(on)}=1.9\text{V}$ vid drainströmmen $I_d=10\text{A}$. Transistorns tillslagstid är $t_{turn-on} = t_{ri} + t_{fv} = 100\text{ns}$ och dess frånslagstid är $t_{turn-off} = t_{rv} + t_{fi} = 100\text{ns}$. Beräkna transistorns led förluster. (3 p)
- d. Beräkna switchförlusterna för omvandlaren i deluppgift c. (2 p)

6. Forward-omvandlaren

- a. Rita kretsschema för en isolerad forward-omvandlare med LC utgångsfilter. (1 p)
- b. Transformatorn har omsättningen $N1:N2:N3=1:2:1$ där index 1 anger den matande sidan, index 2 lastsidan och index 3 demagnetiseringslindningen. Mellanledningsspänningen (dvs inspänningen) är $V_{dc}=90\text{V}$. Transistorns switch-frekvens är $f_{sw}=80\text{kHz}$. Primärsidans (index 1) självinduktans är $L'_m = 300\text{ }\mu\text{H}$. Härled ett uttryck för att beräkna transistorns duty-cycle $\delta_T = t_T / \tau = t_T / T_{sw} = t_T \cdot f_{sw}$ som funktion av $N1$, $N2$, $N3$, V_{dc} och V_o . Vilken duty-cycle ger en utspänning på 24V. Antag att omvandlaren arbetar i ansluten drift. (2 p)
- c. Härled ett uttryck för att beräkna maximal utspänning V_o från omvandlaren, förutsatt att den arbetar i ansluten drift, och beräkna den maximala utspänningen. (2 p)
- d. Lasten som är ansluten till omvandlarens utgång kan variera mellan 25 W och 90 W. Bestäm induktansen hos induktorn i utgångsfiltret så omvandlaren arbetar i ansluten drift i hela detta belastningsområde. (2 p)
- e. Rita spänningen över transistorn för ett driftsfall enligt deluppgift b, dvs när omvandlarens utspänning är 24 V. Ange spänningsnivåer samt tid i figuren. Antag att transistorn börjar leda vid tidpunkten noll. (2 p)
- f. Vad händer om man tar bort demagnetiseringslindningen? Motivera svaret. (1 p)