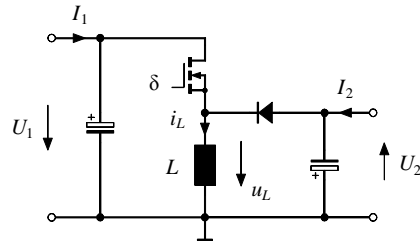


13. Buck-Boost-Konverter

Gegeben ist ein DC/DC-Konverter der aus der positiven Eingangsspannung U_1 eine negative Ausgangsspannung U_2 erzeugt.

Eingangsspannung: $U_1 = 60V$ Ausgangsspannung: $U_2 = 15V$
 Ausgangsstrom: $I_2 = 6A$
 Schaltfrequenz: $f_s = 100kHz$ Induktivität: $L = 50\mu H$



- a) Berechnen Sie das Tastverhältnis δ , den Mittelwert des Stromes i_L und zeichnen Sie den Zeitverlauf von u_L und i_L . 4 x 4% = 16%
- b) Bestimmen Sie auf welche Sperrspannung U_{BR} der MOSFET und die Diode ausgelegt sein müssen. Berechnen Sie weiters, wie groß der Laststrom I_2 mindestens sein muß, damit nichtlickender Betrieb herrscht. 2 x 9% = 18%
- c) Durch eine Messung wurden folgende Verluste P_V des Konverters bei verschiedenen Lastströmen bestimmt:

I_2	0	3A	6A
P_V	1W	7.25W	18W

Bestimmen Sie damit unter Voraussetzung daß die Verluste einem Polynom 2.Grades folgen $P_V = a + b \cdot I_2 + c \cdot (I_2)^2$ den maximalen Wirkungsgrad η_x des Konverters und bei welchem Laststrom $I_{2,x}$ dieser auftritt.

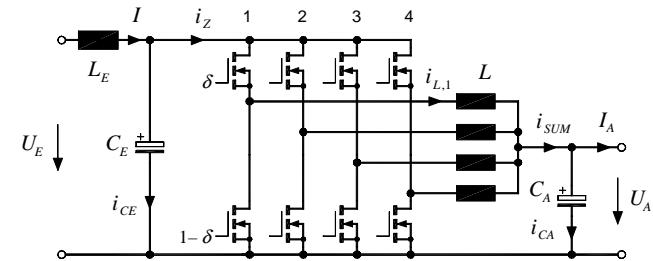
2 x 8% = 16%

14. Phasenversetzter DC/DC-Wandler für Computer-CPU

Gegeben ist die Schaltung eines 4-phasigen Tiefsetzstellers mit MOSFETs zur Versorgung einer Hochleistungs-CPU. Die 4 Zweige werden mit einer fixen Taktfrequenz $f_p = 1/T_p$ betrieben, jeder Zweig allerdings um $T_p/4$ zum vorhergehenden zeitlich versetzt (phasenversetzte Taktung).

Es kann vorausgesetzt werden, daß sich I_A gleichmäßig auf die einzelnen Zweige aufteilt.

Eingangsspannung: $U_E = 12V$ Ausgangsspannung: $U_A = 1.2V$
 Ausgangsstrom: $I_A = 80A$
 Schaltfrequenz: $f_p = 100kHz$ Induktivitäten: $L = 1\mu H$



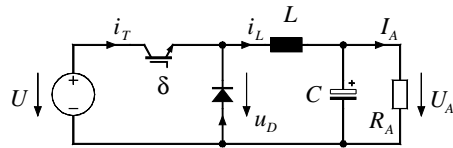
- a) Berechnen Sie das Tastverhältnis δ sowie die Rippel-Amplitude $\Delta i_{L,1}$ eines Teilstromes und zeichnen Sie den Zeitverlauf von $i_{L,1}$. 16%
- b) Berechnen Sie den Effektivwert I_{CE} mit dem der Eingangs-Kondensator C_E belastet wird und vergleichen sie diesen Wert mit jenen Effektivwert I_{CE}^* welcher sich ergibt, wenn keine phasenversetzte Taktung verwendet wird (also alle Zweige gleich getaktet werden). (Der Rippel von $i_{L,i}$ kann dazu vernachlässigt werden, weiters kann ideale Glättungswirkung von L_E vorausgesetzt werden.) 16%
- c) Zeichnen die Ausgangsströme $i_{L,i}$ der einzelnen Zweige sowie den Strom i_{CA} durch den Ausgangsglättungskondensator (es wird z.B. ein Maßstab von $1\mu s/cm$ empfohlen, I_A kann als rippelfrei vorausgesetzt werden) und bestimmen Sie dessen Effektivwert I_{CA} und Frequenz f_{CA} . (Es gilt phasenversetzte Taktung!) 2 x 9% = 18%

15. Tiefsetzsteller (inklusive Lückbetrieb)

Gegeben ist die Schaltung eines Gleichstromstellers (Tiefsetzsteller) mit abschaltbarem Halbleiterventil (IGBT) welches mit konstanter Frequenz f_p und variablem Tastverhältnis $\delta=0\dots 1$ periodisch getaktet wird. Der Gleichstromsteller speist einen ohmschen Verbraucher R_A mit parallel geschaltetem Glättungskondensator C dessen Kapazität so groß ist, dass die Spannung U_A rippelfrei ist (nicht jedoch der Strom i_L in der Glättungsinduktivität L).

Weiters ist gegeben:

Eingangsspannung: $U = 400V$ Schaltfrequenz: $f_p = 50kHz$
 Lastwiderstand: $R_A = 80\Omega$ Glättungsinduktivität: $L = 600\mu H$



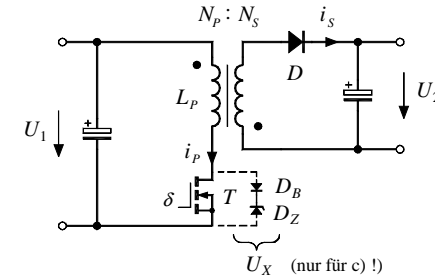
- a) Berechnen Sie für ein Tastverhältnis von $\delta = 0.3$ den Wert des Laststromes I_A und skizzieren Sie den Zeitverlauf von i_L , i_T , und u_D . 4 x 4% = 16%
- b) Berechnen Sie den auf den jeweiligen Laststrom bezogenen prozentuellen Maximalwert $\Delta I_L / I_A$ des Ripples in L (Spitze-Spitze-Wert für den gesamten Steuerbereich $\delta=0\dots 1$) und geben Sie weiters an, bei welcher Ausgangsspannung dieser maximale Rippel auftritt. 7% + 7% = 14%
- c) Skizzieren Sie für lückenden Betrieb (!) bei einem Tastverhältnis von $\delta = 0.2$ und einer Ausgangsspannung von $U_A = 100V$ den Zeitverlauf von i_L , und u_D und berechnen Sie für diesen Fall auch den Wert des Lastwiderstandes R_A der für diesen Betriebspunkt benötigt wird ($R_A \neq 80\Omega$!).
- Berechnen Sie weiters allgemein das Steuergesetz des Tiefsetzstellers im Lückbetrieb $U_A = f(U, \delta, I_A)$. Dazu wird die folgende Normierung empfohlen: $u = U_A / U$ sowie $i = I_A \cdot (2L f_p / U)$
- (Achtung: Das Steuergesetz von a), b) gilt unter Punkt c) nicht !)
- 3 x 3% + 11% = 20%

Anmerkungen: 1. Für a) und b) kann nichtlückender Betrieb und $R_A = 80\Omega$ vorausgesetzt werden
 2. Der Glättungskondensator sei so groß, dass U_A rippelfrei betrachtet werden kann.

16. Sperrwandler-Schaltnetzteil

Gegeben ist ein Sperrwandler-Schaltnetzteil (Buck-Boost-Konverter mit zwei gekoppelten Induktivitäten, „Trafo“) mit folgenden Kennwerten:

Eingangsspannung: $U_1 = 300V$ Windungs-Übersetzungsverhältnis: $N_p / N_s = 5$
 Ausgangsspannung: $U_2 = 15V$ Primär-Induktivität: $L_p = 600\mu H$
 Schaltfrequenz: $f_s = 100kHz$ Trafo-Streuinduktivität (primärseitig): $L_\sigma = 5\mu H$



- a) Skizzieren Sie für nichtlückenden Betrieb (exakt: nichtlückende Magnetisierung) den Zeitverlauf der Ströme i_p , bzw. i_s und bestimmen Sie die an T und D auftretende maximale Sperrspannung $U_{T,max}$ bzw. $U_{D,max}$. 4 x 4% = 16%
- b) Skizzieren Sie den Zeitverlauf der Ströme i_p , bzw. i_s an der Grenze zum Lückbetrieb und berechnen Sie, unterhalb welcher Mindest-Ausgangsleistung $P_{2,min}$ lückender Betrieb auftritt (gleiches Tastverhältnis δ wie bei Punkt a)). 2 x 4% + 8% = 16%
- c) Zeichnen Sie für den obigen Betriebspunkt (an der Grenze zum Lückbetrieb) das Ersatzschaltbild des Konverters (Ersatz des Trafos durch dessen Hauptinduktivität L_m und eine kleine Streuinduktivität L_σ (nur primärseitig!)).
- Skizzieren Sie den Stromübergang $i_p \rightarrow i_s$ unter der Voraussetzung, dass eine Begrenzungsnetzwerk (DB, DZ parallel zu T) die Spannung am Transistor auf $U_X = 425V$ begrenzt wird.
- Berechnen Sie, welche Verlustleistung P_X im Begrenzungsnetzwerk umgesetzt wird, und zwar für den Fall, dass der Transistor einen Strom von 1A abschaltet.
- 3 x 6% = 18%

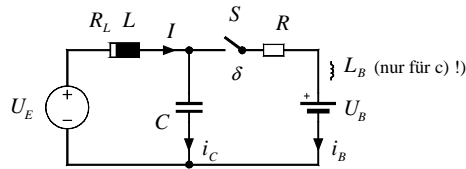
Anmerkungen: 1. Alle Bauelemente (auch Halbleiter, außer DZ) sind "ideal" (verlustfrei).
 2. Der Trafo ist bei Punkt a) und b) ideal gekoppelt (strefrei).

17. Pulsstromquelle

Gegeben ist eine Schaltung bestehend aus einem elektronischen Schalter S und einem Stoßkondensator C mit der eine Bleibatterie B mit periodischen (f_p) Hochstrom-Pulsen geladen werden kann.

Batteriespannung: $U_B = 12V$ mittlerer Ladestrom: $I = 20A$ (ideale Glättung!)
 Tastverhältnis: $\delta = 0.1$ Pulsfrequenz: $f_p = 100Hz$

ohmscher Widerstand im Pulskreis: $R = 10m\Omega$
 ohmscher Widerstand der Glättungsdrossel: $R_L = 50m\Omega$



- a) Skizzieren Sie den Zeitverlauf des Batteriestromes i_B , des Kondensatorstromes i_C , und berechnen Sie die Amplitude des Pulses $i_{B,pk}$ sowie den Wert der benötigten Speise-Gleichspannung U_E . 4 x 4% = 16%
- b) Berechnen Sie, auf welchen Effektivwert $I_{C,RMS}$ der Kondensator für den obigen Betriebsfall ($\delta = 0.1$) ausgelegt sein muss. Berechnen und skizzieren Sie den Verlauf des Wirkungsgrad $\eta = P_B/P_E$ für variables Tastverhältnis $\delta = 0 \dots 1$, andere Parameter wie oben gegeben. 8% + 8% = 16%
- c) In einem praktischen System wird (1.) S als MOSFET realisiert (R entspricht dessen Leitwiderstand $R_{DS,on}$), (2.) ist die Induktivität im Batteriekreis zu berücksichtigen ($L_B = 0.3\mu H$) und (3.) hat der Kondensator einen endlichen Kapazitätswert C .
- (i) Wie groß muss C sein, damit der Strom während des Pulses ($\delta = 0.1$) um nicht mehr als ca. 20% einbricht?
 - (ii) Welche Schaltungserweiterung ist notwendig, damit es beim Abschalten des Pulsstromes zu keinen Überspannungen infolge der Induktivität im Batteriekreis kommt?
 - (iii) Skizzieren Sie den Zeitverlauf des realen Pulsstroms i_B . 3 x 6% = 18%

Anmerkung: Für a) und b) kann vorausgesetzt werden, dass die Kapazität des Kondensators so groß ist, dass sich die Kondensatorspannung während des Pulses konstant ist ($u_C = U_C$)

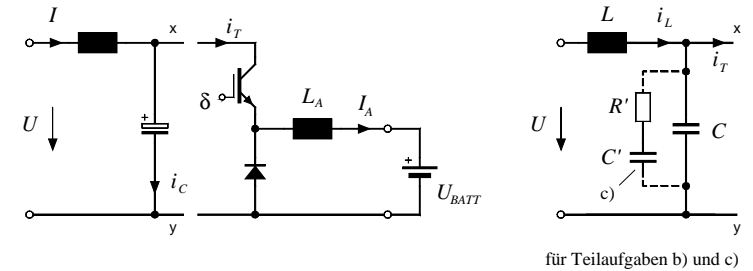
18. Tiefsetzsteller – optimale Dämpfung des Eingangsfilters

Gegeben ist die Schaltung eines Tiefsetzstellers zur Ladung einer 250V-Fahrzeuggatterie aus einem 500V-Zwischenkreis bestehend aus einem IGBT mit Freilaufdiode. Die Ladeleistung beträgt 5kW.

Der Tiefsetzsteller ist zweipunktgeregelt (Hysterese 20%) wobei sich eine Schaltfrequenz f_s einstellt. Die Eingangs- (Zwischenkreisspannung) kann stets rippelfrei vorausgesetzt werden. Der Zwischenkreis ist entweder mit einem Elektrolytkondensator (Teilaufgabe a)) oder mit einem Folienkondensator (mit viel geringerer Kapazität, Teilaufgaben b) und c)) ausgestattet.

Eingangsspannung: $U = 500V$ Batteriespannung: $U_{BATT} = 250V$
 Leistung: $P_{BATT} = 5kW$ Schaltfrequenz: $f_s = 16kHz$

Stromrippel in der Ausgangsdrossel L_A : $\Delta i_A = 20\%$ (spitze-spitze)



- a) Berechnen Sie das sich einstellende Tastverhältnis δ , den Wert des Laststromes I_A , den Effektivwert $I_{C,RMS}$ des Stromes durch den Eingangskondensator (der Nachladestrom I kann dazu als rippelfrei vorausgesetzt werden). Berechnen Sie den Induktivitätswert L_A der Ausgangs-Glättungsdrossel sowie das zu deren Realisierung relevante $N \cdot A_{fe}$ -Produkt (N : Windungszahl, A_{fe} : Kernquerschnitt) unter der Annahme einer Sättigungsinduktion des Kernmaterials von $B_{max} = 0.3T$. 5 x 4% = 20%
- b) Nun wird der Elektrolytkondensator (mit hoher Kapazität) aus der Teilaufgabe a) an den Klemmen x,y durch einen Folienkondensator C mit geringerer Kapazität (aber viel längerer Lebensdauer) ersetzt (rechtes Bild). Dimensionieren Sie L und C des Eingangsfilters so, dass die schaltfrequente Komponente der Transistorstromes i_T um 40dB gedämpft wird (d.h., $L_{L,f_s} = I_T \cdot f_s / 100$). Nebenbedingung dabei ist, dass die Gleichspannung an C beim Laststoß (= idealisiertes Einschalten des Tiefsetzstellers) nur um 10% einbricht (d.h. $\Delta U = 100V$ bei $\Delta P = 5kW$). Der Einfluss des Dämpferes R', C' , ist dabei zu vernachlässigen. 8% + 8% = 16%
- c) Berechnen Sie die Werte R', C' des Dämpferes so, dass das gesamte Eingangsfilter (L, C, C', R') Butterworth-Charakteristik aufweist. Anmerkung: Eine Butterworth-Charakteristik eines Filters 3. Ordnung hat folgende 3 Pole in der linken Halbebene: $-1, -1/2 \pm \sqrt{3}/2$ (charakteristische Gleichung: $(1+x^2)(1+x) = 1+2x+2x^2+x^3 = 0$). 7% + 7% = 14%