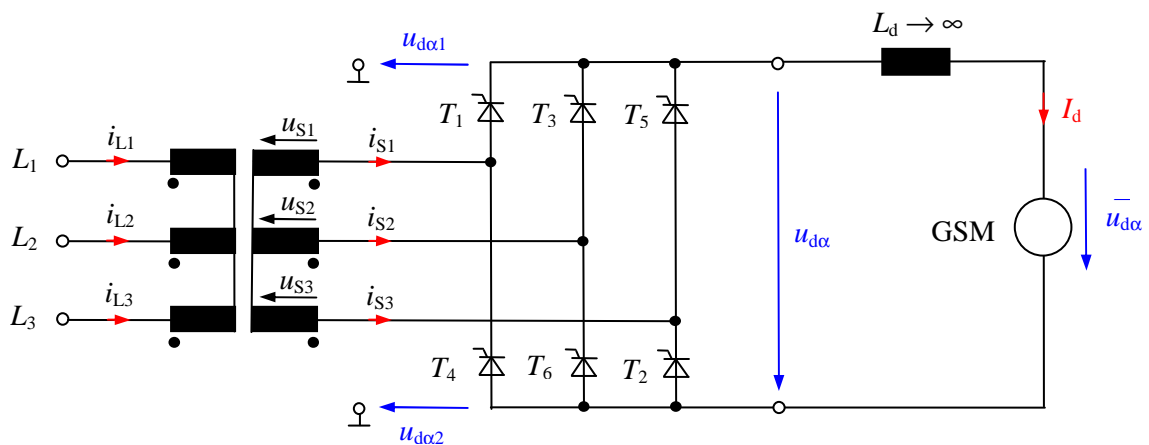


Klausur: Leistungselektronik
WS 2010/2011

Zugelassene Hilfsmittel: Taschenrechner, Formelsammlung (max. 3 DIN A4 Blätter)
 Dauer/Punkte: 90min/100Punkte

Aufgabe 1

Eine Brückenschaltung mit einer Gleichstrommaschine als Last wird über einen Transformator aus dem 400V/50Hz Drehstromnetz versorgt. Die Übersetzung des Transformators beträgt $\ddot{u} = 1$. Verluste im Stromrichter und Überlappungen bei den Kommutierungen sind zu vernachlässigen. Der ideal geglättete Gleichstrom in der Maschine beträgt $I_d = 30\text{A}$.



Gegeben:

Umgebungstemperatur: $T_u = 40^\circ\text{C}$ Thermische Widerstände: $R_{\text{th JK}} = 2.4 \text{ K/W}$
 $R_{\text{th KU}} = 0.6 \text{ K/W}$

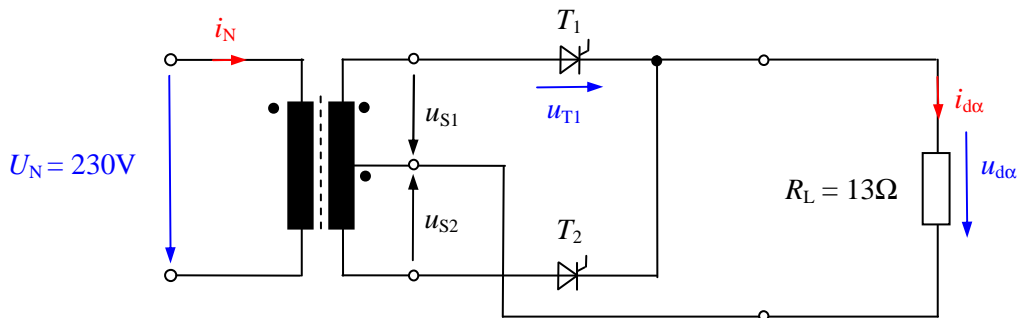
- 1.1. Zeichnen Sie für den Steuerwinkel $\alpha = 60^\circ$
 - a) die Ausgangsspannung $u_{d\alpha}$ und die Spannung $\bar{u}_{d\alpha}$ an der Maschine,
 - b) die Thyristorströme i_{T1} , i_{T3} und i_{T5} sowie i_{T2} , i_{T4} und i_{T6} ,
 - d) die Sekundärströme i_{S1} , i_{S2} und i_{S3} sowie
 - e) den Netzstrom i_{L1} mit dem Grundswingungs-Phasenverschiebungswinkel φ_{L1} .
- 1.2. Berechnen Sie den Mittel- und Effektivwert der Thyristorströme.
- 1.3. Laut Datenblatt haben alle Leistungshalbleiter die Schleusenspannung $u_{T0} = 0.8\text{V}$ und den differentiellen Widerstand $r_T = 5\text{m}\Omega$. Bestimmen Sie die Verlustleistung in den Halbleitern.
- 1.4. Alle Leistungshalbleiter sind auf einem gemeinsamen Kühlkörper montiert. Zeichnen Sie zunächst das thermische Ersatzschaltbild. Berechnen Sie die Kühlkörpertemperatur T_K und die Sperrschichttemperatur T_J in den Halbleitern.

(30 Punkte)

Klausur: Leistungselektronik
WS 2010/2011

Aufgabe 2

Eine Zweipuls-Mittelpunktschaltung (M2-Schaltung) mit einer ohmschen Last wird über einen Transformator aus dem einphasigen 230V/50Hz Netz versorgt. Das Übersetzungsverhältnis zwischen der Primärwicklung und den Sekundärwicklungen des Transformators beträgt jeweils $\hat{u} = 5$. Verluste im Stromrichter und Überlappungen bei den Kommutierungen sind zu vernachlässigen.



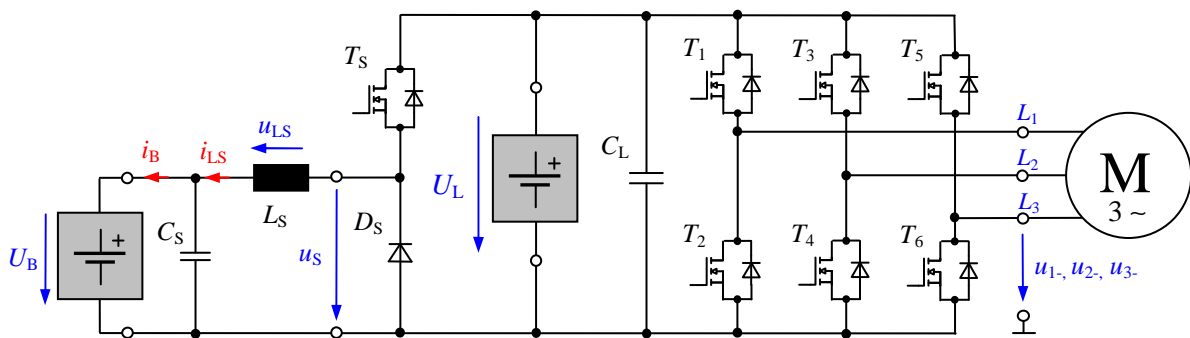
- 2.1. Zeichnen Sie für den Steuerwinkel $\alpha = 30^\circ$
 - a) die Spannung $u_{d\alpha}$, und den Strom $i_{d\alpha}$ am Widerstand,
 - b) die Thyristorströme i_{T1} und i_{T2} ,
 - c) die Netzspannung u_N und den Netzstrom i_N sowie
 - d) die Thyristorspannung u_{T1} .
- 2.2. Bestimmen Sie den Spitzenwert der Spannung $\hat{u}_{d\alpha}$ und des Stromes $\hat{i}_{d\alpha}$ im Lastwiderstand.
- 2.3. Berechnen Sie allgemein den Spannungseffektivwert am Lastwiderstand $U_{d\alpha}$ in Abhängigkeit vom Spitzenwert $\hat{u}_{d\alpha}$ und vom Steuerwinkel α .
- 2.4. Zeichnen Sie die Kennlinie für den Spannungseffektivwert $U_{d\alpha}$ in Abhängigkeit vom Steuerwinkel α . Wie groß ist der Effektivwert bei dem Steuerwinkel $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$?
- 2.5. Bestimmen Sie die Wirkleistung am Lastwiderstand P_L in Abhängigkeit vom Spitzenwert der Spannung $\hat{u}_{d\alpha}$, vom Widerstand R_L und vom Steuerwinkel α . Welchen Wert hat diese Wirkleistung beim Steuerwinkel $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$?
- 2.6. Wie groß ist die aus dem Netz entnommene Wirkleistung P_N beim Steuerwinkel $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$? Wird das Netz jeweils mit Blindleistung belastet (Begründung!)?

(30 Punkte)

Klausur: Leistungselektronik
WS 2010/2011

Aufgabe 3

Gegeben ist das Bordnetz eines Hybridantriebs mit einer Lithium-Ionen Batterie $U_L = 48V \pm 25\%$ und einer Bleibatterie $U_B = 12V \pm 20\%$. Die Batterien sind durch einen Steller miteinander gekoppelt. Die Li-Ionen Batterie ist mittels eines dreiphasigen Wechselrichters mit einer Drehstrommaschine verbunden. Verluste sind zu vernachlässigen. Die Stromrichter befinden sich jeweils im ausgeregeltem Zustand.



Der dreiphasige Wechselrichter soll drei sinusförmig modulierte Spannungen an den Ausgängen erzeugen und wird mittels Pulsweitenmodulation angesteuert (Sinus-Dreieck-Vergleich).

- 3.1. Zeichnen Sie die Spannung u_{1-} mit dem Grundschwingungsanteil u_{1-G} . Geben Sie jeweils die Ansteuerzeiten der Transistoren an. (Bitte benutzen Sie das Arbeitsblatt!).
- 3.2. Tragen Sie darunter auch die Spannung u_{2-} mit dem Grundschwingungsanteil u_{2-G} in das Diagramm ein.
- 3.3. Entwickeln Sie mit Hilfe der beiden Spannungen die verkettete Spannung u_{12} an der Maschine mit dem Grundschwingungsanteil u_{12G} .

Nehmen Sie nun an, dass der Wechselrichter mit sehr großer Pulsfrequenz arbeitet. Für die Einstellung der Grundschwingungsamplitude (\hat{u}_{12G}) kann der Modulationsgrad im Bereich zwischen $m = 0 \dots 1$ verändert werden.

- 3.4. Geben Sie eine Beziehung zwischen der Batteriespannung U_L und dem Effektivwert der verketteten Grundschwingungsspannung U_{12G} an. Wie groß ist die maximal einstellbare Spannung $U_{12G \text{ Max}}$ bei der minimalen Batteriespannung $U_{L \text{ Min}}$ (Normaler Modulationsbereich)?
- 3.5. Die Spannung $U_{12G \text{ Max}}$ aus Aufgabenpunkt 3.4 soll nun bei der maximalen Batteriespannung $U_{L \text{ Max}}$ eingestellt werden. Bestimmen Sie den Modulationsgrad m .

Name :

Matr.-Nr. :

Klausur: Leistungselektronik

WS 2010/2011

- 3.6. Der Steller zwischen den beiden Batterien wird mit Pulsweitenmodulation gesteuert und befindet sich im nicht lückendem Betrieb. Geben Sie eine Beziehung zwischen den beiden Batteriespannungen und dem Tastverhältnis t_e/T_p an.
- 3.7. Bestimmen Sie das Tastverhältnis t_e/T_p für die beiden Batterie-Bemessungsspannungen. In welchen Bereich kann das Tastverhältnis des Stellers durch die Spannungstoleranzen variieren?
- 3.8. Bei den Batterie-Bemessungsspannungen soll die Stromänderung in der Drossel $\Delta i_{LS} = 15A$ betragen. Berechnen Sie die erforderliche Induktivität L_S für eine Taktfrequenz von $f_T = 25kHz$ (Falls Sie Aufgabenpunkt 3.7 nicht gelöst haben rechnen Sie mit dem Tastverhältnis $t_e/T_p = 1/4$).
- 3.9. Geben Sie die gleichstromseitigen Betriebsquadranten von beiden Stromrichtern an. Könnten beide Batterien im Generatorbetrieb geladen und im Motorbetrieb wieder entladen werden. Falls nicht schlagen Sie eine Schaltung vor mit der das möglich ist!

(40 Punkte)

Formel zu Aufgabe 2

$$\int \sin^2(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{1}{2} \cdot \omega t - \frac{1}{4} \cdot \sin(2\omega t)$$

Klausur: Leistungselektronik**WS 2010/2011**

Ergebnisse

Aufgabe 1

1.2. $I_{TAV} = 10A$

$I_{T RMS} = 17.3A$

1.3. $P_T = 9.5W$

1.4. $T_K = 74.2^\circ C$

$T_{J1} = T_{J2} = T_{J3} = T_{J4} = T_{J5} = T_{J6} = 97^\circ C$

Aufgabe 2

2.2. $\hat{u}_{di\alpha} = 65.0V$

$\hat{i}_{di\alpha} = 5.0A$

2.3. $U_{di\alpha} = \hat{u}_{di\alpha} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) \right]}$

2.4. $U_{di\alpha=0^\circ} = 46V$

$U_{di\alpha=30^\circ} = 45.3V$

$U_{di\alpha=60^\circ} = 41.2V$

$U_{di\alpha=90^\circ} = 32.5V$

$U_{di\alpha=120^\circ} = 20.3V$

$U_{di\alpha=150^\circ} = 7.8V$

$U_{di\alpha=180^\circ} = 0V$

2.5. $P_L = \frac{U_{di\alpha}^2}{R} = \frac{\hat{u}_{di\alpha}^2}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) \right]$

$P_{L\alpha=30^\circ} = 157.8W$

$P_{L\alpha=90^\circ} = 81.25W$

2.6. $P_{Netz} = P_L$ (Verlustloses System)

$P_{Netz\alpha=30^\circ} = 157.8W$

$P_{Netz\alpha=90^\circ} = 81.25W$

Das Netz wird jeweils mit Blindleistung belastet. Im Kurvenverlauf von Aufgabenpunkt 2.1 ist die Phasenverschiebung zwischen Netzstrom und Netzspannung deutlich erkennbar.

Aufgabe 3

3.4. $U_{12G} = \frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot m \cdot U_L$

3.5. $m = 0.6$

3.7. $\frac{t_e}{T_p} = \frac{1}{4}$

$U_{12G} = 22V$

3.6. $\frac{t_e}{T_p} = \frac{U_B}{U_L}$

$\frac{t_e}{T_p} = 0.16 \dots 0.4$

3.8. $L_S = 24\mu H$

Wechselrichter → I. und II. Quadrant

Steller → I. Quadrant

Batterien können geladen werden im Generatorbetrieb!

Im Motorbetrieb kann nur die Lithium-Ionen Batterie entladen werden!

Vorschlag: Verwendung eines bidirektionalen Stellers