

Aufgaben zur Übung

Elektrische Maschinen und Stromrichter

1 Komplexe Wechselstromrechnung

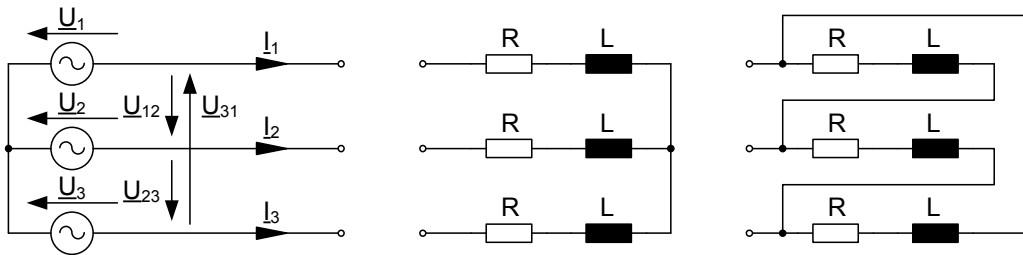
Gegeben sei ein Drehstromnetz mit folgenden Größen:

$$U_0 = 230V$$

$$\underline{U}_1 = U_0$$

$$\underline{U}_2 = U_0 \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi}{3}}$$

$$\underline{U}_3 = U_0 \cdot e^{-j \cdot \frac{4\pi}{3}}$$



Außerdem sind drei ohmsch-induktive Verbraucher mit der Impedanz $\underline{Z} = 115\Omega + j \cdot 115\Omega$ vorhanden, die in Stern- oder in Dreieckschaltung an das Netz angeschlossen werden können.

- Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm mit den Strangspannungen $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$ und den Leiterspannungen $\underline{U}_{12}, \underline{U}_{23}, \underline{U}_{31}$.
- Berechnen Sie den komplexen Effektivwert der Leiterspannungen $\underline{U}_{12}$ und $\underline{U}_{31}$.
- Berechnen Sie den komplexen Effektivwert des Netzstroms I_1 , wenn die Verbraucher in Sternschaltung angeschlossen sind.
- Berechnen Sie den komplexen Effektivwert des Netzstroms I_1 , wenn die Verbraucher in Dreieckschaltung angeschlossen sind.
- Die drei Verbraucher seien wieder in Sternschaltung angeschlossen. Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf und den Mittelwert der Leistung an dem Verbraucher, der an der ersten Phase angeschlossen ist.
- Berechnen Sie die Scheinleistung als Produkt der Effektivwerte und die Blindleistung an dem Verbraucher, der an der ersten Phase angeschlossen ist.
- Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf der Summe der Wirkleistungen der drei Verbraucher in Sternschaltung

2 Drehstrommotor

Gegeben sei ein Drehstrommotor auf dessen Typenschild folgende Nenndaten stehen:

$$U_N = 400V$$

$$I_N = 6A$$

$$\cos(\varphi) = 0,85$$

$$P_N = 3kW$$

$$n_N = 2890 \frac{1}{min}$$

- Berechnen Sie das Nennmoment M_N .
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad η_N im Nennpunkt.

3 Fremderregte, kompensierte Gleichstrommaschine

Ein Stellantrieb soll $z = 20$ Umdrehungen in möglichst kurzer Zeit vornehmen. Hierzu wird von 0 bis $\frac{z}{2}$ mit maximal möglichem Drehmoment beschleunigt und von $\frac{z}{2}$ an mit maximal möglichem Drehmoment verzögert.

Vereinfachende Annahmen

- das Lastmoment und die Reibung können vernachlässigt werden
- die Ankerkreisinduktivität hat keinen Einfluss
- die Maschine wird mit Nennerregung betrieben

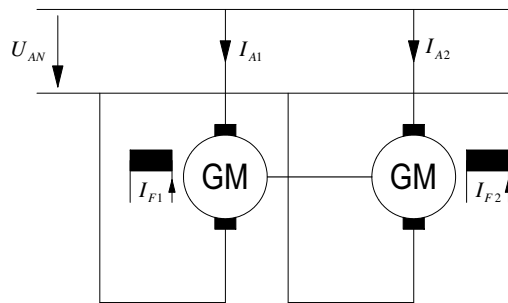
Folgende Daten sind gegeben

z	$= 20$	Anzahl der Umdrehungen
J	$= 1,0 \text{ kg m}^2$	Läuferträgheitsmoment
$P_{N_{el}}$	$= 5 \text{ kW}$	elektrische Nennleistung
n_{0N}	$= 1000 \text{ min}^{-1}$	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und Nennerregung
$I_{A_{max}}$	$= 1,5 I_{AN}$	maximal zulässiger Ankerstrom
$c\phi_N$	$= 4,2 \text{ Vs}$	Nennhauptfluss
R_A	$= 3,87 \Omega$	Ankerkreiswiderstand

- Berechnen Sie die Zeitdauer des Verstellvorgangs.
- Bestimmen Sie den Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\Omega(t)$, des Ankerstroms $i_A(t)$ und der Ankerspannung $u_A(t)$. Tragen Sie diese in ein gemeinsames Diagramm ein.
- Wie verändern sich, bei sonst gleichen Bedingungen, die Zeitverläufe, wenn der Hauptfluss auf $\phi = \frac{\phi_N}{2}$ reduziert wird?

4 Fremderregte, kompensierte Gleichstrommaschine im Parallelbetrieb

Zwei baugleiche Gleichstrommaschinen sind miteinander mechanisch gekuppelt (gemeinsame Welle, Maschinensatz). Die Maschinen laufen im quasistationären Betrieb ohne Last bei Nennspannung. Die Erregerströme sind so eingestellt, dass sich im Einzelbetrieb jeweils unterschiedliche Leerlaufdrehzahlen bei Ankernennspannung einstellen würden.



Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt

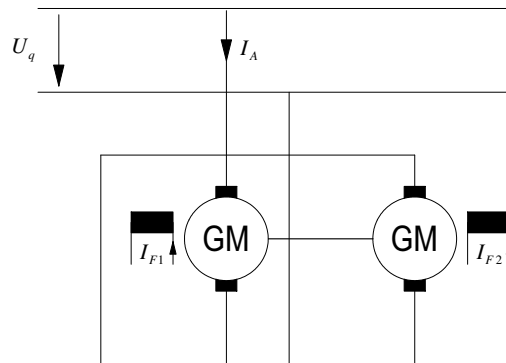
Folgende Daten sind gegeben

U_{AN}	=	220 V	Ankernennspannung
n_{01}	=	1560 min^{-1}	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und dem Erregerstrom I_{F1}
n_{02}	=	1680 min^{-1}	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und dem Erregerstrom I_{F2}
R	=	$0,15 \Omega$	Ankerkreiswiderstand

- Welche Bedingung gilt für das innere Moment der beiden Maschinen?
- Bestimmen Sie die Ströme I_{A1} und I_{A2} .
- Berechnen Sie die Drehzahl des Maschinensatzes.
- Für beide Maschinen ist jeweils die Kennlinie $M(n)$ zu berechnen und in ein gemeinsames Diagramm einzutragen.
- Wieviel Leistung entnehmen die beiden Maschinen zusammen (Maschinensatz) aus dem Gleichspannungsnetz?

5 Fremderregte, kompensierte Gleichstrommaschine in Serienschaltung

Die Ankerstromkreise zweier gleicher fremderregter, kompensierter Gleichstrommaschinen sind in Serie geschaltet und an einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Die beiden Maschinen sind mechanisch starr gekuppelt und besitzen die gleiche Drehrichtung. Der Erregerfluss ist bei beiden Maschinen auf einen jeweils unterschiedlichen Wert eingestellt. Der Maschinensatz läuft stationär im jeweiligen Belastungszustand.



Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt

Folgende Daten sind gegeben

U_q	=	500 V	Spannung der Gleichspannungsquelle
U_{AN}	=	250 V	Ankernennspannung der beiden Maschinen
n_{01}	=	1820 min^{-1}	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und dem Erregerstrom I_{F1}
n_{02}	=	2100 min^{-1}	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und dem Erregerstrom I_{F2}
R	=	$0,3 \Omega$	Ankerkreiswiderstand

- Welche Drehzahl stellt sich ein, wenn der gekuppelte Maschinensatz unbelastet ist?
- Bestimmen Sie die Ankerspannung der beiden Maschinen.
- In welchem Verhältnis teilt sich die Ankerverlustleistung auf die beiden Maschinen auf? Geben Sie die jeweilige Ankerverlustleistung an.

Der Maschinensatz wird nun mit einem Drehmoment von 100 Nm belastet.

- Wie groß sind dabei die Ankerströme in den beiden Maschinen?
- Wieviel Leistung wird der Gleichspannungsquelle entnommen?
- Wie groß ist nun die Verlustleistung im Maschinensatz?
- Welche Drehzahl des Maschinensatzes stellt sich jetzt ein?
- Bestimmen sie die Ankerspannungen der beiden Maschinen.

6 Drehmomentensprung an einer fremderregten, kompensierten Gleichstrommaschine

Eine Gleichstrommaschine wird mit Ankernennspannung und Nennerregung sowie Nennlast betrieben. Die Belastung ändert sich zum Zeitpunkt $t = 0$ s sprungförmig von $M_L = M_N$ auf $M_L = -M_N$.

Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt
- Die Wirkung der Ankerkreisinduktivität L_A kann vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

U_{AN}	=	250 V	Ankernennspannung
I_{AN}	=	68 A	Ankernennstrom
n_{0N}	=	2178 min ⁻¹	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und Nennerregung
J	=	12 kg m ²	Trägheitsmoment des gesamten Antriebsstrangs
R	=	0,3 Ω	Ankerkreiswiderstand

- Bestimmen Sie $\lim_{t \rightarrow \infty} I_A(t)$.
- Berechnen Sie die Nenndrehzahl n_N .
- Bestimmen Sie den Verlauf der Drehzahl $n(t)$.

7 Fremderregte, kompensierte Gleichstrommaschine

Die fremderregte, kompensierte Gleichstrommaschine sei nennerregt und wird mit M_L belastet. Die Drehzahl ist gleich der Nenndrehzahl.

Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt

Folgende Daten sind gegeben

U_{AN}	=	250 V	Ankernennspannung
I_{AN}	=	80 A	Ankernennstrom
n_N	=	1450 min ⁻¹	Nenndrehzahl
n_{0N}	=	1500 min ⁻¹	Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung und Nennerregung
M_L	=	$\frac{M_N}{3}$	Lastmoment
Ω	=	Ω_N	Drehzahl der Maschine

- Berechnen Sie die Größe $c\phi_N$.
- Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A .
- Wie groß sind der Wirkungsgrad η und die mechanische Leistung P_{mech} im Nennpunkt?
- Berechnen Sie den notwendigen Ankerstrom I_A und die Ankerspannung U_A für den Betriebspunkt mit dem angegebenen Lastmoment.

Nun soll die Maschine ohne Lastmoment mit $0,5 I_{AN} \leq I_A \leq 1,5 I_{AN}$ an der Nennankerspannung U_{AN} angefahren werden.

- Berechnen Sie die notwendigen Ankervorwiderstandswerte aus der DIN/IEC E12 Reihe. Zeichnen Sie den Verlauf $n(I_A)$.

8 Reversieren einer fremderregten, kompensierten Gleichstrommaschine

Ein unbelasteter Gleichstromantrieb wird bei Nennerregung mit konstantem Ankerstrom von $n = -n_N$ auf $n = n_N$ in der Zeit t_r reversiert. Der Nennstrom darf während des Reversiervorgangs überschritten werden.

Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt

Folgende Daten sind gegeben

P_N	=	100 kW	mechanische Nennleistung
J	=	15 kg m ²	Trägheitsmoment des Antriebsstrangs
I_{AN}	=	250 A	Ankernennstrom
n_N	=	600 min ⁻¹	Nenndrehzahl
t_r	=	0,08 π ² s	Zeitdauer des Reversierens
R	=	0,1 Ω	Ankerkreiswiderstand

- Berechnen Sie den notwendigen Ankerstrom.
- Berechnen Sie die aufzuwendende Energie.

9 Gleichstromreihenschlussmaschine

Von einer Gleichstromreihenschlussmaschine sind folgende Daten bekannt:

Daten der Reihenschlussmaschine

U_{MN}	=	230 V	Nennspannung an den Motorklemmen
I_{MN}	=	8,7 A	Nennstrom des Motors
P_{mechN}	=	1800 W	Mechanische Nennleistung des Motors
R_F	=	450 mΩ	Widerstand der Feldwicklung

Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt.
- Es treten keine Sättigungseffekte im Eisen auf.

Durch eine Messung wurden außerdem folgende Daten eines Betriebspunktes ermittelt:
 $U_{M1} = 115 \text{ V}$, $I_{M1} = 5,92 \text{ A}$ und $n_1 = 6000 \text{ min}^{-1}$.

- Berechnen Sie den Widerstand R_A der Ankerwicklung.
- Berechnen Sie das Nennmoment M_N des Motors.
- Berechnen Sie die Nenndrehzahl n_N des Motors.
- Welche Drehzahl n_2 stellt sich ein, wenn der Motor an Nennspannung betrieben und mit dem Moment $M_2 = 0,3 \cdot M_N$ belastet wird?

10 Synchrongenerator

Ein Synchrongenerator in Turboläuferausführung wird am Netz mit Nennspannung und Nennstrom betrieben.

Vereinfachende Annahmen

- die Synchronmaschine sei verlustlos

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Nennspannung
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz
p	=	1	Polpaarzahl
S_N	=	50 kVA	Nennscheinleistung
$\cos(\varphi_N)$	=	0,9	Leistungsfaktor (übererregt)
ϑ_N	=	34°	Nennpolradwinkel

- Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild.
- Berechnen Sie den Nennstrom I_N und das Nennmoment M_N .
- Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm im Nennbetrieb.
- Bestimmen Sie die Synchroninduktivität L_S im Nennbetrieb.

11 Synchrongenerator als Turboläufer

Eine Synchronmaschine in Turboläuferausführung wirkt als Generator.

Vereinfachende Annahmen

- der Synchrongenerator sei verlustlos

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Nennspannung
P_{elN}	=	32 kW	elektrische Nennleistung
n_N	=	1200 min ⁻¹	Nenndrehzahl
$\cos(\varphi_N)$	=	0,85	Leistungsfaktor (übererregt)
I_f	=	1,5 I_{f0}	Erregerstrom des Polrads

Mit dem Leerläufererregestrom I_{f0} : Bei Leerläufererregestrom, Nenndrehzahl und Nennspannung ist $I_S = 0$ A.

- Berechnen Sie den Strangstrom I_{SN} .
- Wie groß ist die Polradspannung U_p ?
- Berechnen Sie die Synchronreaktanz X_S .
- Bestimmen Sie den Polradwinkel.
- Wie verändert sich der Polradwinkel, wenn die Last um 30 % verringert wird?

12 Synchrongenerator

Eine Synchronmaschine in Turboläuferausführung wird als Generator betrieben. Sie läuft am starren, symmetrischen Netz mit Nennspannung und Nennfrequenz.

Vereinfachende Annahmen

- der Synchrongenerator sei verlustlos

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	500 V	Nennspannung
I_N	=	300 A	Nennstrom
$\cos(\varphi)$	=	0,85	Leistungsfaktor (übererregt)
X_{SN}	=	3,67 Ω	Synchronreaktanz im Nennbetrieb

- Berechnen Sie den Nennererregestrom I_{fN} bezogen auf den Leerläufererregestrom I_{f0} .
- Wie groß ist der Polradwinkel ϑ_N ?

Nun soll die Erregung der Synchronmaschine verringert werden auf $\frac{I_f}{I_{f0}} = 0,2$ und der Leistungsfaktor soll $\cos(\varphi)=0$ sein.

- Ist die Maschine über- oder untererregt?
- Berechnen Sie die Blindleistung, die an das Netz abgegeben wird.

13 Synchronmaschine

Eine Synchronmaschine in Turboläuferausführung kann sowohl als Motor als auch als Generator arbeiten.

Vereinfachende Annahmen

- die Synchronmaschine sei verlustlos

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Nennspannung
I_N	=	5 A	Nennstrom
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz
L_{SN}	=	80 mH	Synchroninduktivität bei Nennbetrieb

Die Maschine wird mit Nennspannung, Nennstrom und Nennfrequenz betrieben. Zeichnen Sie die Zeigerdiagramme folgender Betriebszustände:

- generatorisch mit einem Leistungsfaktor von $\cos(\varphi) = 0,9$ übererregt bzw. untererregt.
- motorisch mit einem Leistungsfaktor von $\cos(\varphi) = 0,85$ übererregt bzw. untererregt.
- Wie groß ist jeweils der Polradwinkel ϑ ?

14 Synchrongenerator mit $X_d \neq X_q$

Bei einem Synchrongenerator ist folgendes bekannt:

Vereinfachende Annahmen

- der Synchrongenerator sei verlustfrei

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Nennspannung
I_N	=	100 A	Nennstrom
$\cos(\varphi_N)$	=	0,80	Leistungsfaktor im Nennbetrieb (übererregt)
X_d	=	4,0 Ω	Synchronreaktanz in d-Richtung
X_q	=	2,6 Ω	Synchronreaktanz in q-Richtung
f_N	=	50 Hz	Netzfrequenz
p	=	6	Polpaarzahl

- Wie groß ist der Polradwinkel ϑ_N ?
- Berechnen Sie den Nennerregerstrom I_{fN} bezogen auf den Leerlauferregerstrom I_{f0} .
- Wodurch ist die Spannung zwischen zwei Anschlussklemmen bestimmt, die bei völliger Entlastung ($I_S=0$) auftritt?
- Berechnen Sie das Nenndrehmoment.

15 Drehstromasynchronmotor

In Abbildung 1 sind die Schlupf-Drehmoment- und die Lastkennlinie dargestellt. Der Motor läuft am starren Drehspannungsnetz.

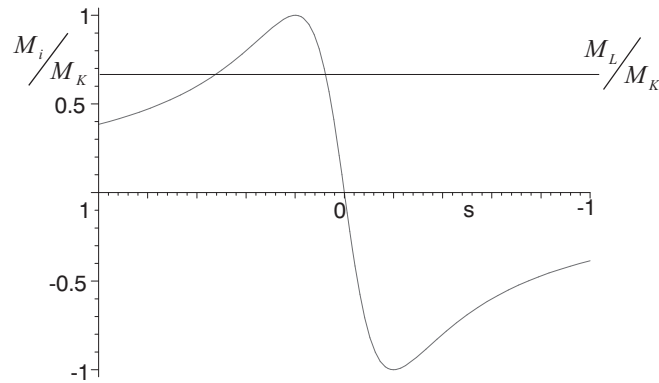


Abbildung 1: Schlupf-Drehmoment-Kennlinie mit Lastkennlinie

- Geben Sie die Kriterien für einen stabilen Betriebspunkt an.
- Geben Sie die Betriebspunkte an. Welche sind stabil und welche instabil?
- Läuft dieser Motor selbständig an? Begründen Sie ihre Antwort.

16 Drehstromasynchronmaschine mit Kurzschlussläufer

Ein Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlussläufer wird an Nennspannung bei Nennlast betrieben.

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Nennspannung
I_N	=	11,5 A	Nennstrom
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz des Netzes
n_N	=	1440 min ⁻¹	Nennzahl
$\cos \varphi$	=	0,85	Leistungsfaktor
P_N	=	5,5 kW	Nennleistung

- Berechnen Sie die aufgenommene Nennleistung, die Nennverlustleistung und den Nennwirkungsgrad.
- Geben Sie die Polpaarzahl an. ($s_N < 0,2$)
- Berechnen Sie den Nennschlupf und die Rotorfrequenz im Nennpunkt.
- Berechnen Sie das Nennmoment des Motors.
- Der Kippschlupf betrage $s_k = 0,15$. Wie groß sind das Kippmoment und das Anlaufmoment?

17 Polumschaltbare Drehstromasynchronmaschine

Eine polumschaltbare Asynchronmaschine wird leerlaufend am Netz betrieben. Durch die Wicklungsumschaltung können zwei Polpaarzahlen p_1, p_2 realisiert werden. Die Maschine wird zunächst mit Polpaarzahl p_1 betrieben und dann auf p_2 umgeschaltet.

Vereinfachende Annahmen

- Der Ständerwiderstand, die Eisen- und Reibungsverluste sowie Stromverdrängung können vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

p_1	=	2	Polpaarzahl
p_2	=	4	Polpaarzahl
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz des Netzes
J	=	0,05 kg m ²	Trägheitsmoment des Antriebs

- Geben Sie die Drehzahl des Antriebs vor der Polumschaltung an.
- Geben Sie die Drehzahl des Antriebs an, die sich nach dem Übergangsvorgang stationär einstellt.
- Skizzieren Sie die Kennlinien $\frac{M_{p1}}{M_k}(\Omega)$ und $\frac{M_{p2}}{M_k}(\Omega)$ in ein gemeinsames Diagramm.
- Geben Sie die mit dem Netz ausgetauschte Energie an.
- Wie groß ist die Verlustenergie bei diesem Vorgang?
- Wie groß ist die Änderung der gespeicherten kinetischen Energie?

18 Drehstromasynchronmaschine als Lüfterantrieb

Eine Asynchronmaschine treibt einen Lüfter einer Tunnelbelüftung an.

Die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Lüfters ist gegeben durch $M_L = k \cdot \Omega^2 + M_R$.

Folgende Daten sind gegeben

M_k	=	$2,8 \cdot M_N$	Kippmoment
P_N	=	$1,5 \text{ kW}$	Nennleistung
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz des Netzes
n_N	=	1450 min^{-1}	Nennzahl
k	=	$3 \cdot 10^{-4} \text{ Nms}^2$	Faktor in der Lüfterkennlinie
M_R	=	$0,8 \text{ Nm}$	Lagerreibung des Lüfters

- Geben Sie die Polpaarzahl an.
- Berechnen Sie das Nennmoment des Motors.
- Wie groß ist das Kippmoment?
- Bestimmen Sie den Nennschlupf s_N und den Kippschlupf s_K .
- Zeichnen Sie die Schlupf-Drehmoment-Kennlinie des Motors und die des Lüfters in ein gemeinsames Diagramm und bestimmen Sie den Arbeitspunkt grafisch.

Ein Metallstück fällt in den Lüfter. Die Lüfterflügel fallen ab ($k = 0$) und das Lager wird beschädigt. Dadurch erhöht sich das Reibmoment auf $M_R = 2,8 \text{ Nm}$.

- Berechnen Sie den neuen Arbeitspunkt.

19 Drehstromasynchronmaschine mit Schleifringläufer

Mit einem Schleifringläufermotor eines Kranantriebs wird im Gegenstrombremsbetrieb eine Last gesenkt. Die konstante Sinkgeschwindigkeit entspricht der halben negativen synchronen Drehzahl des Motors. Das erforderliche Bremsmoment ist gleich dem Nennmoment des Motors.

Vereinfachende Annahmen

- Der Verlauf des Moments des Motors wird mit der Kloss'schen Formel beschrieben.
- Die Stromwärmeverluste im Stator sind zu vernachlässigen.
- Reibungsverluste in der Maschine können vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

P_N	=	50 kW	Nennleistung des Motors
f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz des Motors
p	=	3	Polpaarzahl
$\frac{M_K}{M_N}$	=	2	Verhältnis Kipp- zu Nennmoment
s_K	=	$0,15$	Kippschlupf
n	=	$-\frac{1}{2} n_{syn}$	Drehzahl

- Wie groß ist der Vorwiderstand bezogen auf den Rotorwiderstand pro Läuferstrang zu wählen?
- Wie groß sind die Verlustleistungen, die im Rotor- und im Vorwiderstand anfallen?
- Auf welchen Wert müssen die Vorwiderstände bezogen auf den Rotorwiderstand eingestellt werden, um das Senken zu beenden?

20 Wechselstromtransformator

Vereinfachende Annahmen

- Der Magnetisierungsstrom kann vernachlässigt werden.
- $Z_k = u_k \cdot \frac{U_{1N}}{I_{1N}} \approx u_k \cdot \frac{U_{2N}}{I_{2N}}$

Folgende Daten sind gegeben

U_{2N}	=	400 V	sekundäre Nennstrangspannung
w_1	=	w_2	Windungsverhältnis
u_k	=	10 %	relative Kurzschlussspannung
R_1	=	0	Widerstand im Transformatorersatzschaltbild
R'_2	=	0	Widerstand im Transformatorersatzschaltbild

Mit welcher Spannung U_1 auf der Primärseite muss ein Transformator bei Belastung mit Nennstrom I_{2N} gespeist werden, damit die Sekundärspannung dem Nennwert entspricht?

- a) bei rein ohmscher Last
- b) bei rein induktiver Last
- c) bei rein kapazitiver Last

21 Einphasentransformator

Vereinfachende Annahmen

- Die Sättigung kann vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

Transformator

U_{2N}	=	460 V	sekundärseitige Nennstrangspannung
$\ddot{u}=w_1/w_2$	=	0,5	Übersetzungsverhältnis
R_1	=	4,7 Ω	primärseitiger Widerstand
$L_{1\sigma}$	=	25 mH	primärseitige Streuinduktivität
R_2	=	32 Ω	sekundärseitiger Widerstand
$L_{2\sigma}$	=	127 mH	sekundärseitige Streuinduktivität
X_h	=	150 Ω	Hauptinduktivität
f	=	60 Hz	Frequenz

Der Transformator wird mit sekundärer Nennspannung betrieben.

- Zeichnen Sie das primärseitige Ersatzschaltbild.
- Berechnen Sie $X_{1\sigma}$, R'_2 , $X'_{2\sigma}$ sowie U'_{2N} .
- Der Trafo wird mit einer Impedanz $Z_L=184 \Omega$, $\cos(\varphi) = 0,8$ induktiv belastet. Wie groß sind die Last Z'_L , der Laststrom I_L und der Laststrom I'_L ?
- Konstruieren Sie das Zeigerdiagramm.

22 Wechselstromsteller (Dimmer)

An einen Wechselstromsteller sei eine Last angeschlossen.

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.

Folgende Daten sind gegeben

$$U_n = 230 \text{ V} \quad \text{Netzspannung}$$

Berechnen Sie die effektive Spannung an der

- a) rein ohmschen Last
- b) rein induktiven Last

als Funktion des Steuerwinkels α .

23 Netzgeführte Wechselstrombrückenschaltung

Ein Verbraucher wird aus dem starren 230 V Wechselspannungsnetz über einen Stromrichter (Netzgeführte Wechselstrombrückenschaltung) gespeist.

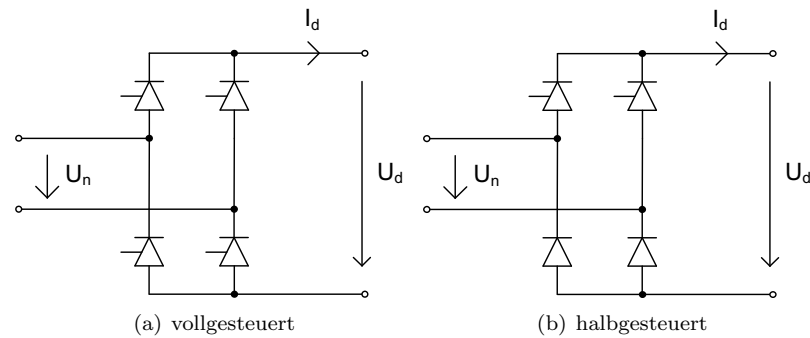


Abbildung 2: Wechselstrombrückenschaltung

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.
- Der Strom I_d ist vollkommen glatt.
- Sämtliche Kommutierungsvorgänge können vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

U_n	=	230 V	Netzspannung
I_d	=	15 A	Ausgangsstrom der Brückenschaltung

Wie groß sind die aus dem Netz aufgenommene Wirkleistung P , die Scheinleistung S und der Leistungsfaktor $\lambda = \frac{P}{S}$ für

- die vollgesteuerte Brücke bei einem Steuerwinkel von $\alpha_a = \frac{\pi}{6}$,
- die halbgesteuerte Brücke, wenn der Steuerwinkel α_b so eingestellt wird, dass die gleiche Verbraucherspannung wie in Fall a) auftritt?
- Geben Sie die jeweils am Stromrichtereingang auftretende Grundsicherungsblindleistung an.
- In welchem Bereich liegen die möglichen Ausgangsspannungen, die mit den beiden Schaltungen eingestellt werden können?

24 Netzgeführte Drehstrombrückenschaltung

Gegeben ist eine sechspulsige Brückenschaltung mit RL-Last.

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.
- Kommutierungseffekte können vernachlässigt werden.

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Netzleiterspannung
I_d	=	100 A	Laststrommittelwert

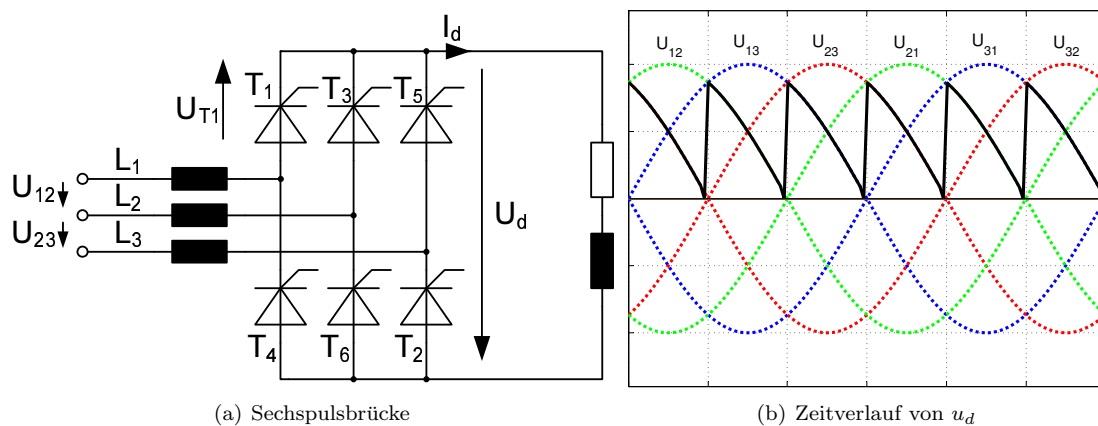


Abbildung 3: zu Aufgabe 24

- Berechnen Sie die ideale Gleichspannung U_{di} .
- Wie lautet die Steuerkennlinie $\frac{U_{di\alpha}}{U_{di}}$ im nicht lückenden Betrieb?

In Abbildung 3(b) sind der Verlauf der verketteten Spannungen U_{12} , U_{23} , U_{31} und der Verlauf der Ausgangsspannung u_d zu sehen.

- Wie groß ist der Zündwinkel α ?
- Wie groß ist der Gleichspannungsanteil $U_{di\alpha}$?
- Liegt lückender oder nicht lückender Betrieb vor?
- Markieren Sie in der Zeichnung, wann welche Thyristoren leiten.
- Zeichnen Sie den Verlauf der Thyristorspannung u_{T1} für eine Netzperiode in die Zeichnung ein.
- Wie groß ist die maximal erforderliche Sperr- bzw. Blockierspannung?

Nun soll der Strom i_d als ideal glatt angenommen werden.

- Berechnen Sie die vom Netz abgegebene Wirkleistung und den Phasenwinkel zwischen der Grundschwingung des Stroms und der Spannung am Eingang.

25 Gleichstromantrieb mit netzgeführter Drehstrombrückenschaltung

Für einen Gleichstromantrieb mit netzgeführtem Stromrichter haben Sie zwei Gleichstrommaschinen gleicher Leistung – aber mit verschiedenen Nenndaten – zur Auswahl. Als Auswahlkriterium ist die Netzbelastung entscheidend.

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.

Folgende Daten sind gegeben

Umrichter

$$U_{di} = 520 \text{ V} \quad \text{ideelle Spannung bei } \alpha=0^\circ$$

Gleichstrommotor 1

$$\begin{aligned} U_{AN1} &= 220 \text{ V} & \text{Nennspannung} \\ I_{AN1} &= 100 \text{ A} & \text{Nennstrom} \end{aligned}$$

Gleichstrommotor 2

$$\begin{aligned} U_{AN2} &= 440 \text{ V} & \text{Nennspannung} \\ I_{AN2} &= 50 \text{ A} & \text{Nennstrom} \end{aligned}$$

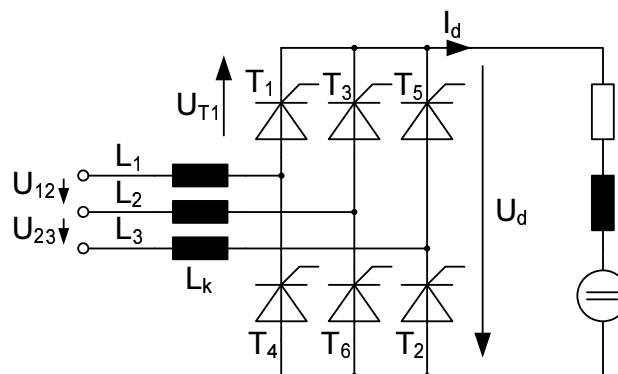


Abbildung 4: Drehstrombrückenschaltung mit Kommutierungsinduktivität

Kommutierungseffekte können vernachlässigt werden. Berechnen Sie:

- den Zündwinkel α ,
- den Leistungsfaktor $\cos(\varphi_1)$ der Grundschiwingung,
- die Grundschiwingungsblindleistung Q_1 und
- die Grundschiwingungsscheinleistung S_1 .

Nun ist eine Kommutierungsinduktivität von $L_K=0,3 \text{ mH}$ und $f=50 \text{ Hz}$ zu berücksichtigen.

- Berechnen Sie erneut den Zündwinkel α .
- Für welche Maschine würden Sie sich entscheiden?

26 Tiefsetzsteller

Ein als Tiefsetzsteller geschalteter Gleichstromsteller speist eine Gleichstrommaschine, die sich als Reihenschaltung aus einem Widerstand R_L , einer Induktivität L und der Gegenspannung U_q darstellen lässt. Der Steller wird mit der festen Taktfrequenz f betrieben. Das gewählte Einschaltverhältnis beträgt a .

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.

Folgende Daten sind gegeben

U_d	=	500 V	Eingangsspannung des Stellers
R_L	=	1Ω	Widerstand der Gleichstrommaschine
L	=	2 mH	Induktivität der Gleichstrommaschine
U_q	=	300 V	innere Spannung der Gleichstrommaschine
f	=	1 kHz	Schaltfrequenz des Stellers
a	=	0,8	Einschaltverhältnis des Stellers $a = \frac{T_e}{T}$

- Berechnen und zeichnen Sie maßstäblich den zeitlichen Verlauf von zwei Perioden des Laststroms für quasi stationären Betrieb.
- Wie groß sind der Mittelwert des Laststroms und die vom Steller übertragene Leistung?

Durch Entlastung der Gleichstrommaschine erhöht sich die Gegenspannung auf $U_q = 430 \text{ V}$.

- Berechnen und zeichnen Sie den neuen Laststrom.
- Wie groß ist der neue Mittelwert des Laststroms?
- Skizzieren Sie den Verlauf der Spannung $u_L(t)$ am Ausgang des Stellers.

27 Schaltnetzteil

Ein Schaltnetzteil wird nach dem Prinzip des Tiefsetzstellers aufgebaut.

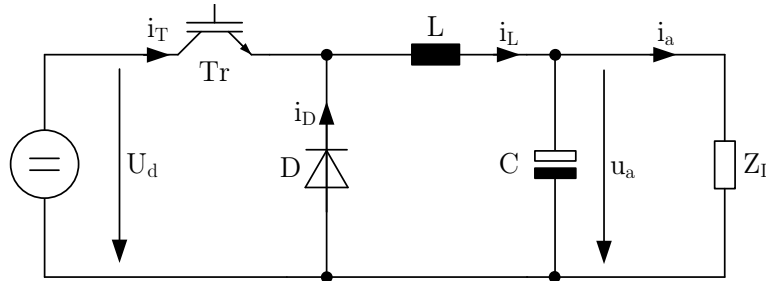


Abbildung 5: Tiefsetzsteller

Vereinfachende Annahmen

- Die Halbleiterbauelemente sind ideale Schalter.
- Da die Kapazität C als sehr groß angenommen wird, sind die Ausgangsspannung U_a und der Ausgangsstrom i_a konstant.

Folgende Daten sind gegeben

U_d	=	60 V	Eingangsspannung des Stellers
U_a	=	5 V	Ausgangsspannung des Stellers
L	=	100 μ H	Induktivität des Stellers
i_a	=	30 A	Ausgangsstrom

- Wie groß muss die Taktfrequenz gewählt werden, wenn die Stromwelligkeit in der Speicherinduktivität L maximal $\Delta i_L = 2$ A betragen soll?
- Der Zeitverlauf des Transistorstroms und des Stroms in der Speicherinduktivität L sind maßstäblich zu zeichnen!
- Wie groß sind der Mittelwert $\bar{i}_T$ und der Effektivwert $I_{T,eff}$ des Eingangsstroms?

28 Vierquadrantensteller

Eine Gleichstromstellerschaltung versorgt eine Gleichstrommaschine.

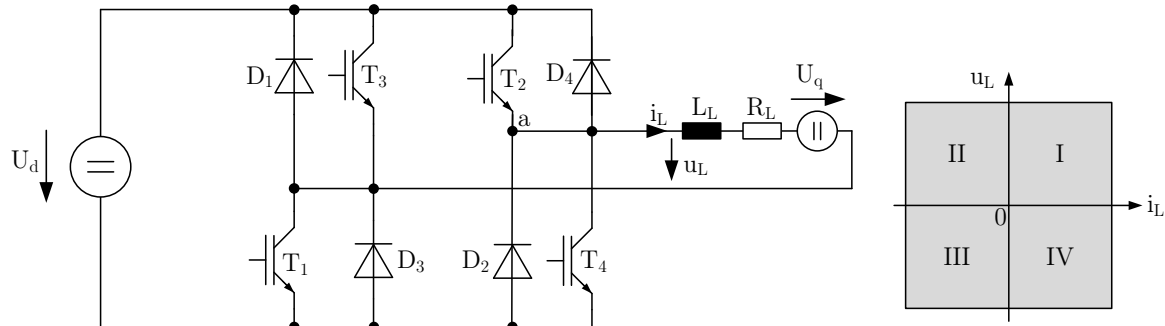


Abbildung 6: Vierquadrantensteller

a) Geben Sie an, in welchen Quadranten Motor- und in welchen Generatorbetrieb vorliegt.

Leiten Sie aus dem gegebenen Vierquadrantensteller folgende Ein- und Zweiquadrantenstellerschaltungen ab:

- b) Ein-Quadrantenstellerschaltung mit $U_L > 0, I_L > 0$ (Quadrant 1)
- c) Ein-Quadrantenstellerschaltung mit $U_L > 0, I_L < 0$ (Quadrant 2)
- d) Zwei-Quadrantenstellerschaltung mit Stromumkehr (Quadrant 1, 2)
- e) Zwei-Quadrantenstellerschaltung mit Spannungsumkehr (Quadrant 1, 4)

Die Schaltung wird jetzt wieder als Vierquadrantensteller betrieben. Folgende Daten sind gegeben:

U_d	=	400 V	Eingangsspannung des Stellers
U_q	=	180 V	Innere Spannung der Gleichstrommaschine
I_L	=	100 A	Ankerstrom
R_L	=	$0,2 \Omega$	Ankerkreiswiderstand
f_S	=	1 kHz	Schaltfrequenz

f) Mit welchen Einschalt Dauern werden die einzelnen Transistoren getaktet?

29 Pulswechselrichter



Abbildung 7: Umrichtervorlage

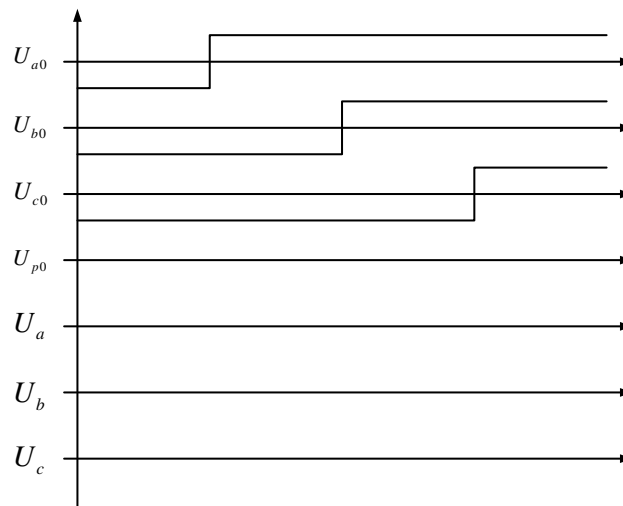


Abbildung 8: Zeitverläufe

- Skizzieren Sie eine Möglichkeit für die Erzeugung der Schaltsignale einer selbstgeführten Drehstrombrücke, bei der die Ausgangsspannungen mit Hilfe der Pulsweitenmodulation/Dreieckmodulation generiert werden. Verwenden Sie dafür einen Dreiecksgenerator, Komparatoren und Logikbausteine. Um beim Umschalten der Halbleiter keine Kurzschlüsse zu verursachen, soll eine Verriegelungszeit eingehalten werden, in der sowohl der obere als auch der untere Transistor eines Brückenzeiges sperrt.
- Erweitern Sie die Abbildung 7 zu einer dreiphasigen IGBT-Brücke mit angeschlossenem Synchronmotor als Last in Stern-Schaltung (Maschine durch passive Bauteile und Spannungsquelle modellieren).
- Ergänzen Sie die Spannungsverläufe in Abbildung 8 und geben Sie an, welche Halbleiter eingeschaltet sind. (Halbleiter können als ideale Schalter angenommen werden; U_a , U_b und U_c seien Sternspannungen)

30 Pulswechselrichter mit Raumzeigermodulation

Ein Pulswechselrichter mit an den Klemmen a,b, und c angeschlossener Asynchronmaschine soll mit Raumzeigermodulation betrieben werden.

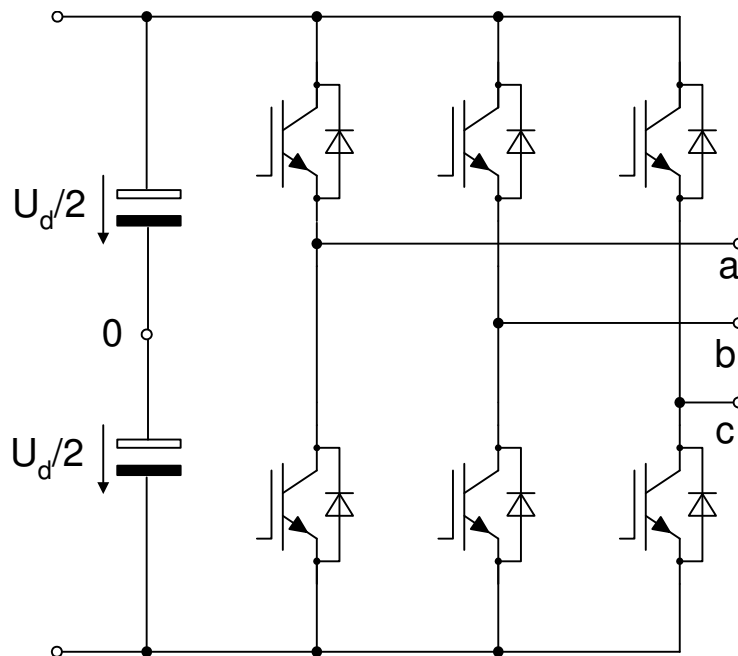


Abbildung 9: Pulswechselrichter

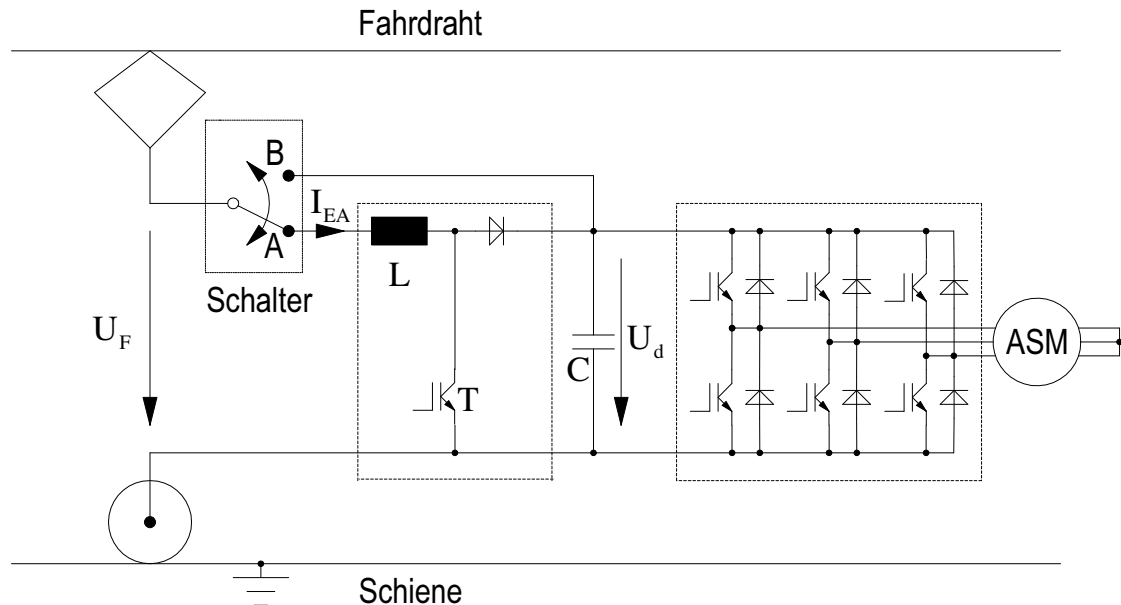
Folgende Daten sind gegeben

$u_a(t)$	$= \hat{U} \cos(\omega t)$	Zeitverlauf der Sternspannung U_a
$u_b(t)$	$= \hat{U} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$	Zeitverlauf der Sternspannung U_b
$u_c(t)$	$= \hat{U} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$	Zeitverlauf der Sternspannung U_c
U_N	$= 400 \text{ V}$	Nennspannung der ASM
U_d	$= 650 \text{ V}$	Zwischenkreisspannung
f_p	$= 10 \text{ kHz}$	Modulationsfrequenz des Umrichters

- Zeichnen Sie die möglichen Raumzeiger der selbstgeführten Drehstrombrücke (ohne PWM).
- Schraffieren Sie den durch eine Pulsweitenmodulation erreichbaren Bereich im Bild aus a) für eine sinusförmige Steuerung der Ausgangsspannungen.
- Berechnen Sie den Raumzeiger für das gegebene Spannungssystem, abhängig vom ωt .
- Wie hoch muss die Gleichspannung U_d mindestens sein, damit die ASM mit Nennspannung betrieben werden kann? Geben Sie den Wert für Blocktaktung und Raumzeigermodulation an.
- Bestimmen Sie für $\omega t = \frac{\pi}{12}$ die notwendigen Schaltzustände und jeweils die Einschaltdauer der diskreten Raumzeiger.
- Zeichnen Sie für zwei Modulationsperioden die Größen $u_{ab}(t)$, $u_{bc}(t)$ und $u_{ca}(t)$.

31 Antriebssystem für eine Mehrsystemlokomotive

Ein Lokomotivantrieb mit Drehstromasynchronmaschine als Fahrmotor soll wahlweise an 1,5 kV Gleichspannung oder 3 kV Gleichspannung betrieben werden. Die Fahrdrachtspannung U_F wird mit einem Schalter entweder direkt oder über einen Gleichstromsteller zur Speisung einer selbstgeführten Drehstrombrückenschaltung benutzt.



Vereinfachende Annahmen

- die Leistungshalbleiter seien ideal
- die Gleichspannung U_d sei ideal glatt ($C \rightarrow \infty$)

Folgende Daten sind gegeben

U_F	=	1,5 kV oder 3 kV	Fahrdrachtspannung
U_{dN}	=	3 kV	Nennwert der Gleichspannung U_d
P_{elN}	=	1,5 MW	Nennleistung des Fahrmotors
L	=	5 mH	

- Geben Sie die Schalterstellung für $U_F = 1,5 \text{ kV}$ und $U_F = 3 \text{ kV}$ an. ($U_d = U_{dN}$)
- Berechnen Sie die Einschaltzeitdauer des Transistors T für $U_F = 1,5 \text{ kV}$, Nennbelastung des Fahrmotors und eine Schaltfrequenz von $f = 500 \text{ Hz}$.
- Berechnen Sie den Mittelwert des Stroms I_{EA} für den Betrieb nach b).
- Skizzieren Sie maßstäblich den Zeitverlauf des Stromes I_{EA} für den Betrieb nach b)
(200 A/cm, 1 ms/cm)
Hinweis: $U_d = U_{dN}$ ist als konstant anzunehmen
- Berechnen Sie den Effektivwert der Grundschiwingung der Außenleiterspannung an der Asynchronmaschine für Blocksteuerung ($U_d = U_{dN}$).
- Berechnen Sie den maximalen Effektivwert der Grundschiwingung der Leiterspannung an der Asynchronmaschine für Raumzeigermodulation ($U_d = U_{dN}$).
- Geben Sie an, welches der Verfahren nach e) und f) für das Anfahren und welches für das Erreichen der Höchstgeschwindigkeit benutzt wird. Begründen Sie Ihre Antwort.

32 Synchronmotor am Umrichter

Eine Synchronmaschine in Turboläuferausführung wird als Motor betrieben. Gespeist wird die Maschine von einem Umrichter, der ein dreiphasiges Drehspannungssystem variabler Frequenz erzeugen kann.

Vereinfachende Annahmen

- der Synchronmotor sei verlustlos

Folgende Daten sind gegeben

U_{SN}	=	230 V	Nennstrangspannung
I_N	=	170 A	Nennstrom
$\cos(\varphi_N)$	=	0,85	Leistungsfaktor (übererregt)
p	=	4	Polpaarzahl
f_N	=	60 Hz	Nennfrequenz
X_{SN}	=	$5\ \Omega$	Synchronreaktanz im Nennbetrieb

- Berechnen Sie die Nenndrehzahl n_N .
- Wie groß ist die Polradspannung U_{PN} bei Nennbedingungen?
- Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm für den Nennbetriebspunkt.

Nun soll die Maschine mit halber Nenndrehzahl im Betriebspunkt 2 betrieben werden. Das Drehmoment und die Strangspannung sollen den Nennwerten entsprechen.

- Wie groß ist die Speisefrequenz f_2 ?
- Bestimmen Sie den Polradwinkel ϑ_2 , die Phasenverschiebung φ_2 und die Höhe des Statorstroms I_{S2} .
- Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm.