

Schriftliche Prüfung

Elektrische Maschinen und Stromrichter

Prof. Dr.-Ing. Michael Braun

Prof. Dr.-Ing. Marc Hiller

Felix Hoffmann

Daniel Bernet

– Aufgaben zur Prüfung Nr. 139 am 18. September 2019 –

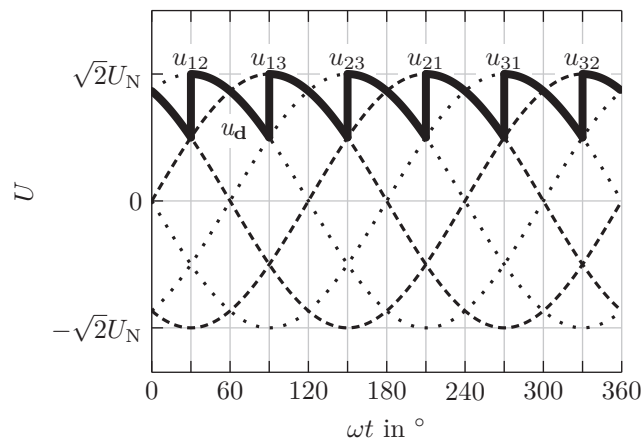
Vorname:

Nachname:

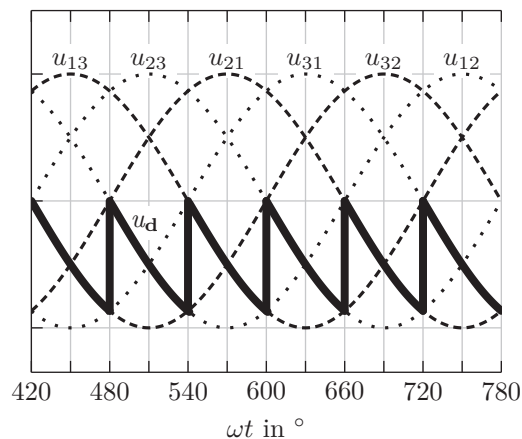
Matrikelnummer:

Lösungsblatt

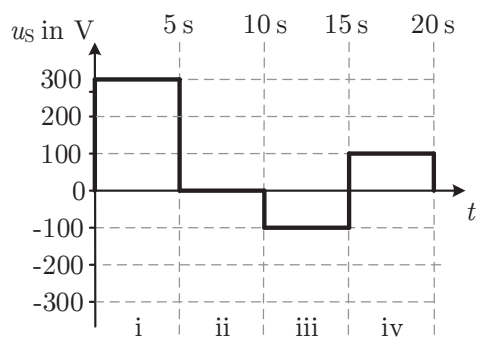
Diagramme für Aufgabe 3



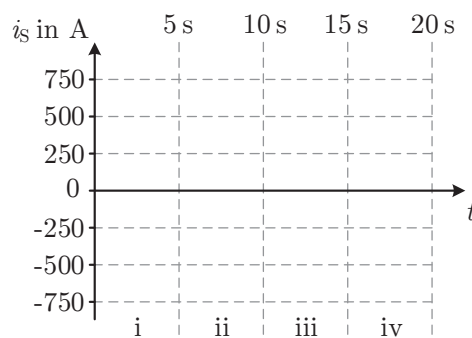
3.1: $u_d(t)$ für $\alpha_1 = 30^\circ$



3.2: $u_d(t)$ für $\alpha_2 = 120^\circ$

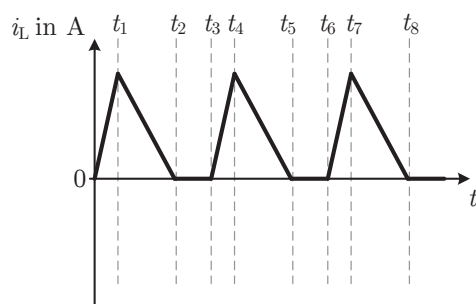


3.3: $u_S(t)$

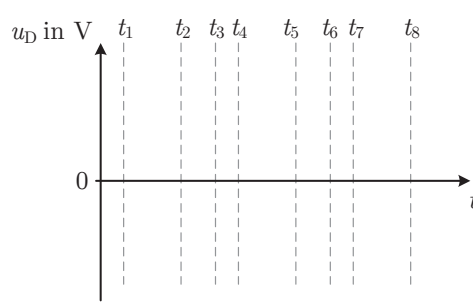


3.4: $i_S(t)$

Diagramme für Aufgabe 4

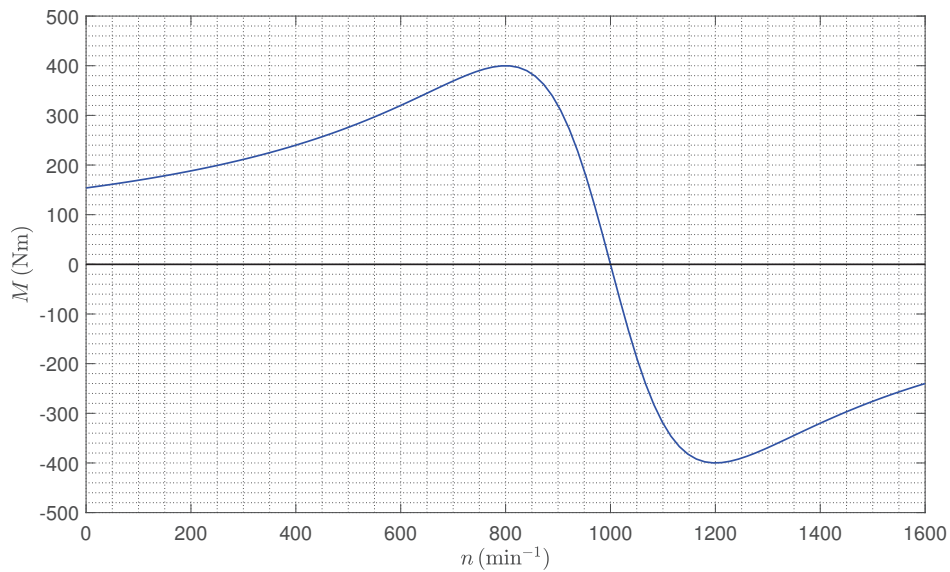


4.1: $i_L(t)$

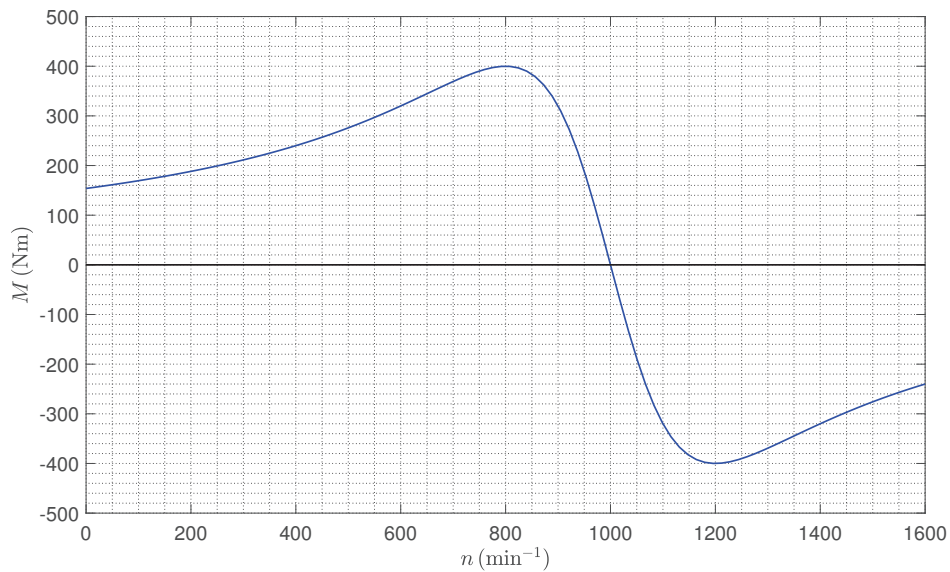


4.2: $u_D(t)$

Diagramme für Aufgabe 5



5.1: Vorlage für den Betrieb bei halber Nennspannung



5.2: Vorlage für den Betrieb bei halber Motornennfrequenz

1 Anfahren einer fremderregten, kompensierten Gleichstrommaschine

Die aus einer Spannungsquelle U_d gespeiste Gleichstrommaschine GM sei nenerregt und wird mit dem Lastmoment M_L belastet. Während des Anfahrvorgangs soll ein separater Ankervorwiderstand R_V benutzt werden, um den Ankerstrom I_A zu begrenzen.

Vereinfachende Annahmen

- Eisen- und Reibungsverluste werden vernachlässigt

Folgende Daten sind gegeben

U_{AN}	=	500 V	Ankernennspannung
I_{AN}	=	100 A	Ankernennstrom
n_N	=	1740 min ⁻¹	Nennzahl
n_{0N}	=	1800 min ⁻¹	Leerlaufzahl bei Ankernennspannung und Nennerregung

Aufgaben

- a) Zeichnen Sie das Schaltbild des Systems mit der Spannungsquelle U_d , dem Ankervorwiderstand R_V und der Gleichstrommaschine einschließlich Erregerkreis und Erregerspannungsquelle U_f . (4 Punkte)

Der Ankervorwiderstand R_V sei zunächst nicht wirksam.

- b) Berechnen Sie die Größe $c\phi_N$. (3 Punkte)
- c) Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A . (2 Punkte)
- d) Wie groß sind der Wirkungsgrad η und die mechanische Leistung P_{mech} im Nennpunkt? (3 Punkte)

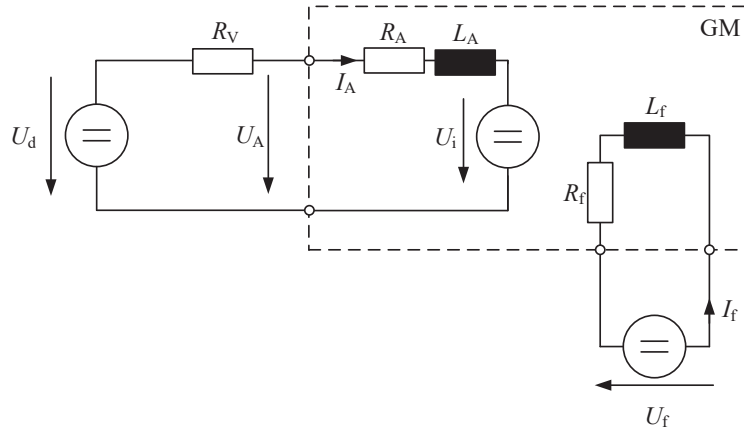
Der Ankervorwiderstand R_V wird im Folgenden zugeschaltet. Der Einfluss der Ankerkreisinduktivität wird im Anfahrvorgang vernachlässigt.

- e) Nun soll die unbelastete Maschine vom Stillstand aus mit $I_A \leq 2 \cdot I_{AN}$ an der Spannungsquelle U_d mit dem Wert der Nennankerspannung U_{AN} angefahren werden. Berechnen Sie den Wert des Ankervorwiderstands R_V . (3 Punkte)

Wenn die Maschine hochgelaufen ist, wird die Maschine mit Nennmoment belastet. Der Ankervorwiderstand bleibt dabei weiterhin wirksam.

- f) Welche Drehzahl stellt sich ein? (4 Punkte)
- g) Wie groß ist der Wirkungsgrad der Maschine einschließlich Vorwiderstand und welche Verlustleistung $P_{V,V}$ wird dabei im Vorwiderstand umgesetzt? (4 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 1



a)

b) $c\phi_N$ aus Leerlaufdrehzahl:

$$\Omega_{0N} = \frac{2\pi}{60 \frac{s}{min}} \cdot n_{0N} = 188,50 \text{ s}^{-1} \quad (1)$$

$$U_{AN} = R_A \cdot \underbrace{I_A}_{=0} + c\phi_N \cdot \Omega_{0N} \quad (2)$$

$$c\phi_N = \frac{U_{AN}}{\Omega_{0N}} = 2,6526 \text{ V s} \quad (3)$$

c) Ankerwiderstand aus Nennbetrieb:

$$U_{AN} = R_A \cdot I_{AN} + c\phi_N \cdot \Omega_N \quad (4)$$

$$\Omega_N = \frac{2\pi}{60 \frac{s}{min}} \cdot n_N = 182,21 \text{ s}^{-1} \quad (5)$$

$$R_A = \frac{U_{AN} - c\phi_N \Omega_N}{I_{AN}} = 0,1667 \Omega \quad (6)$$

d)

$$P_{el,N} = U_{AN} \cdot I_{AN} = 50 \text{ kW} \quad (7)$$

$$P_V = R_A \cdot I_{AN}^2 = 1,667 \text{ kW} \quad (8)$$

$$P_{mech,N} = P_{el,N} - P_V = 48,333 \text{ kW} \quad (9)$$

$$\eta_N = \frac{P_{mech,N}}{P_{el,N}} = 96,67 \% \quad (10)$$

e) Anfahren an Nennspannung mit Vorwiderstand

$$U_{AN} = (R_A + R_V) I_{AN} + c\phi_N \Omega \quad (11)$$

$$\Omega = 0 \quad (12)$$

Einschalten mit einem Widerstand unter der Bedingung $I_A \leq 2 \cdot I_{AN}$

$$R_V \geq \frac{U_{AN} - c\phi_N \Omega}{2 \cdot I_{AN}} - R_A = \frac{U_{AN}}{2 \cdot I_{AN}} - R_A = 2,333 \Omega \quad (13)$$

f) Drehzahl mit Vorwiderstand

$$U_{AN} = (R_A + R_V) I_A + c\phi_N \Omega_{N1} \quad (14)$$

Umstellen nach der Drehzahl ergibt

$$\Omega_{N1} = \frac{U_{AN} - (R_A + R_V) I_{AN}}{c\phi_N} \quad (15)$$

$$= 30\pi \text{ rad s}^{-1} \quad (16)$$

Die Winkelgeschwindigkeit muss nun noch in die Drehzahl umgerechnet werden

$$n_{N1} = \frac{2\pi}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \Omega_{N1} \quad (17)$$

$$= 900 \text{ min}^{-1} \quad (18)$$

g) Wirkungsgrad der Maschine mit Vorwiderstand berechnen

$$P_{el,N} = U_{AN} \cdot I_{AN} = 50 \text{ kW} \quad (19)$$

$$P_V = (R_A + R_V) \cdot I_{AN}^2 = 25 \text{ kW} \quad (20)$$

$$P_{mech,N} = P_{el,N} - P_V = 25 \text{ kW} \quad (21)$$

$$\eta_N = \frac{P_{mech,N}}{P_{el,N}} = 50 \% \quad (22)$$

Verlustleistung im Vorwiderstand

$$P_{V,V} = \frac{R_V}{R_A + R_V} \cdot P_V \quad (23)$$

$$= 23,333 \text{ kW} \quad (24)$$

2 Permanentmagnetenerregte Synchronmaschine im motorischen Betrieb

Vereinfachende Annahmen

- Die Maschine sei verlustfrei.

Von einem permanentmagnetenerregten Synchronmotor sind folgende Daten bei Anschluss an ein ideales Drehspannungssystem bekannt:

Permanentmagnetenerregte Synchronmaschine

f_N	=	50 Hz	Nennfrequenz
U_{SN}	=	230 V	Sternspannung im Nennbetrieb (Effektivwert)
I_{SN}	=	25 A	Strangstrom im Nennbetrieb (Effektivwert)
$X_d = X_q$	=	3Ω	Synchronreaktanzen
$\cos(\varphi_N)$	=	0,9 übererregt, Motorbetrieb	Nennleistungsfaktor

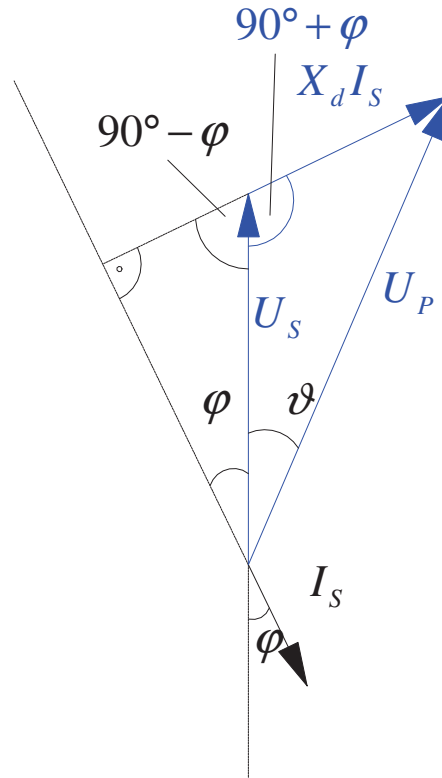
- a) Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm ($1 \text{ cm} \equiv 25 \text{ V}$ bzw. 10 A). (5 Punkte)
- b) Berechnen Sie den Effektivwert der Polradspannung U_{PN} im Nennbetrieb. (3 Punkte)
- c) Jetzt soll dieser Synchronmotor von einem Stromrichter gespeist und durch Drehmomentensteuerung bei Nennfrequenz so betrieben werden, dass das gleiche Drehmoment wie im Nennbetrieb durch minimalen Statorstrom eingestellt wird.
Berechnen Sie den Effektivwert des minimalen Statorstromes $I_{S_{\min}}$ und den Effektivwert der Sternspannung $U_{S_{\min}}$, der dazu erforderlich ist. (7 Punkte)

Durch eine Fehlfunktion der Steuerung wird der Synchronmotor im Betrieb nach b) kurzgeschlossen.

- d) Welcher Effektivwert des Strangstroms stellt sich ein, unter der Annahme, dass die Drehzahl der Maschine konstant bleibt? (3 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 2

a) Zeigerdiagramm der Synchronmaschine



b) Mit Hilfe des Cosinussatz lässt sich U_P bestimmen:

$$U_{PN} = \sqrt{(X_d I_S)^2 + U_S^2 - 2X_d I_S U_S \cos(90^\circ + \varphi)} = 271,23 \text{ V} \quad (25)$$

c) Für das Drehmoment gilt allgemein:

$$M_{el} = \frac{p}{\omega_{\text{Netz}}} 3U_S I_S \cos \varphi \quad (26)$$

Für das Einstellen des Drehmoments mit minimalem Strom, muss der Stromzeiger in Richtung der Polradspannung zeigen

$$M_{el} = \frac{p}{\omega_{\text{Netz}}} 3U_P I_{Sq} \quad (27)$$

Gleichungen (27) und (26) gleichsetzen, nach I_{Sq} auflösen und die Nennwerte aus a) einsetzen:

$$I_{S_{\min}} = I_{Sq} = \frac{U_{SN} I_{SN} \cos \varphi_N}{U_{PN}} = 19,08 \text{ A} \quad (28)$$

Spannungsabfall an Synchronreaktanz berechnen:

$$U_X = X_d I_{Sq} = 57,24 \text{ V} \quad (29)$$

In diesem Betriebsfall bilden U_P , U_S und U_X ein rechtwinkliges Dreieck

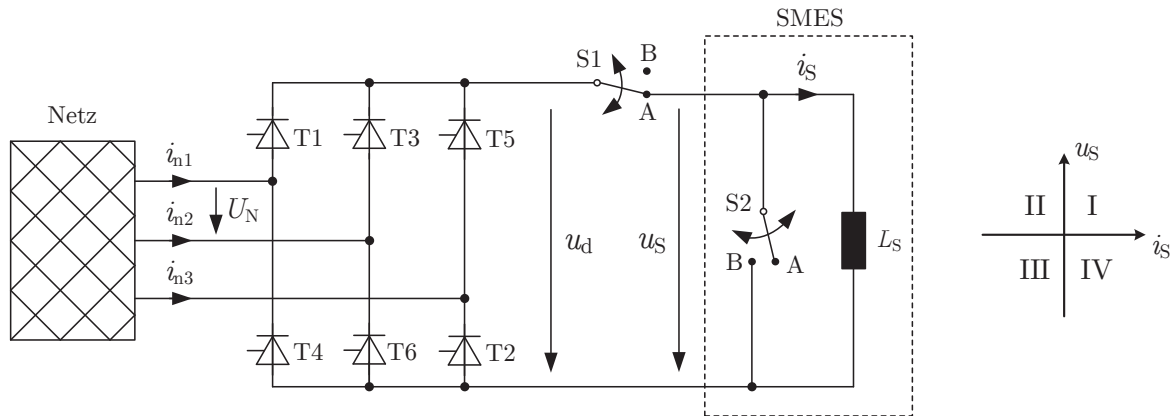
$$U_{S_{\min}} = \sqrt{U_{PN}^2 + U_X^2} = 277,2 \text{ V} \quad (30)$$

d) Die Synchronmaschine wird kurzgeschlossen:

$$I_{Sk} = \frac{U_P}{X_d} = 90,41 \text{ A} \quad (31)$$

3 Energiespeicher mit Drehstrombrückenschaltung

Ein supraleitender magnetischer Energiespeicher (SMES) ist über eine netzgeführte Drehstrombrückenschaltung mit dem dreiphasigen Netz verbunden. Um der Speicherinduktivität L_S Energie hinzuzufügen oder zu entnehmen wird Schalter S1 geschlossen und Schalter S2 geöffnet (Schalterstellung A), sodass die Lastspannung u_S der Ausgangsspannung u_d der Drehstrombrückenschaltung entspricht. Nach dem Lade- oder Entladevorgang wird Schalter S1 geöffnet und Schalter S2 geschlossen (Schalterstellung B), sodass der Spulenstrom i_S verlustfrei im Freilaufkreis über Schalter S2 fließt.



(a) Supraleitender magnetischer Energiespeicher (SMES) mit Drehstrombrückenschaltung

(b) Quadranten

Vereinfachende Annahmen

- Die Leistungshalbleiter sind ideale Schalter.
- Das Netz ist eine ideale Drehspannungsquelle.

Folgende Daten sind gegeben

U_N	=	400 V	Effektivwert der verketteten Netzspannung
L_S	=	2 H	Speicherinduktivität

Aufgaben

- a) Geben Sie alle Quadranten gemäß Abb. (b) an, in denen die Schaltung betrieben werden kann. (2 Punkte)

Die Schaltung wird für eine Netzperiode $0^\circ \leq \omega t \leq 360^\circ$ mit $\alpha_1 = 30^\circ$ in Schalterstellung A, für $360^\circ \leq \omega t \leq 420^\circ$ in Schalterstellung B und anschließend für eine Netzperiode $420^\circ \leq \omega t \leq 780^\circ$ mit $\alpha_2 = 120^\circ$ in Schalterstellung A betrieben.

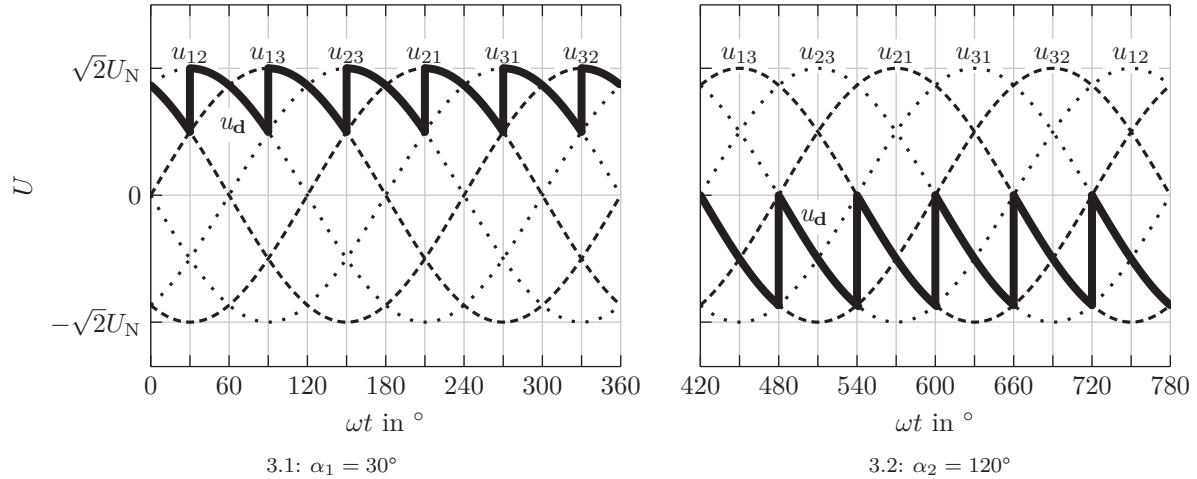
- b) Zeichnen Sie den Zeitverlauf der Spannung $u_d(t)$ für $0^\circ \leq \omega t \leq 360^\circ$ mit $\alpha_1 = 30^\circ$ in Abb. 3.1 und für $420^\circ \leq \omega t \leq 780^\circ$ mit $\alpha_2 = 120^\circ$ in Abb. 3.2 auf Ihrem Lösungsblatt ein. (4 Punkte)
- c) Geben Sie die Energieflussrichtung zwischen Netz und SMES für die Zündwinkel α_1 und α_2 gemäß Aufgabe b) an (Schalterstellung A). Begründen Sie Ihre Antwort. (4 Punkte)

Im Folgenden wird die Spannungswelligkeit der Gleichrichterspannung u_d vernachlässigt. Für die Lastspannung u_S gilt der Zeitverlauf in Abb. 3.3 auf Ihrem Lösungsblatt.

- d) Berechnen Sie für den auf Ihrem Lösungsblatt in Abb. 3.3 angegebenen Spannungsverlauf $u_S(t)$ die jeweils erforderlichen Zündwinkel in den Intervallen i, iii und iv. (3 Punkte)
- e) Geben Sie eine Gleichung des Spulenstroms i_S als Funktion der Lastspannung u_S an und zeichnen Sie den Zeitverlauf des Spulenstroms $i_S(t)$ mit dem Anfangsstrom $i_S(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ A}$ in Abb. 3.4 auf Ihrem Lösungsblatt ein. (6 Punkte)
- f) Berechnen Sie die mittlere elektrische Wirkleistung, die im Intervall i mit $0 \leq t \leq 5 \text{ s}$ (siehe Abb. 3.3 und 3.4 auf Ihrem Lösungsblatt) mit dem Netz ausgetauscht wird. (3 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 3

3 a) Die Schaltung kann in den Quadranten I und IV betrieben werden.



3 b)

3 c) Für $\alpha_1 = 30^\circ$ liegt eine positive Spannung $u_{S,1} = 468 \text{ V}$ über der Speicherinduktivität an, was zu einer positiven Stromänderung $\frac{di_S}{dt} > 0$ führt. Da für den Strom folglich $i_S > 0$ gilt, wird gemäß $P = u_S i_S > 0$ Energie aus dem Netz entnommen und in der Speicherinduktivität gespeichert.

Für $\alpha_2 = 120^\circ$ liegt eine negative Spannung $u_{S,2} = -270 \text{ V}$ über der Speicherinduktivität an, was zu einer negativen Stromänderung $\frac{di_S}{dt} < 0$ führt. Durch das Spannungsverhältnis $|u_{S,1}| > |u_{S,2}|$ gilt in der gesamten zweiten $360^\circ \leq \omega t \leq 720^\circ$ dennoch $i_S > 0$. Folglich wird gemäß $P = u_S i_S < 0$ Energie aus der Speicherinduktivität entnommen und in das Netz eingespeist.

3 d) Der Mittelwert der Gleichspannung u_d beträgt:

$$U_{di\alpha} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} U_L}{\pi} \cdot \cos \alpha$$

Daraus ergibt sich:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{U_{di\alpha} \pi}{3 \cdot \sqrt{2} U_L} \right). \quad (32)$$

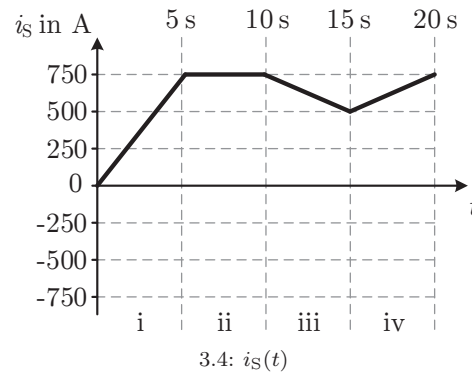
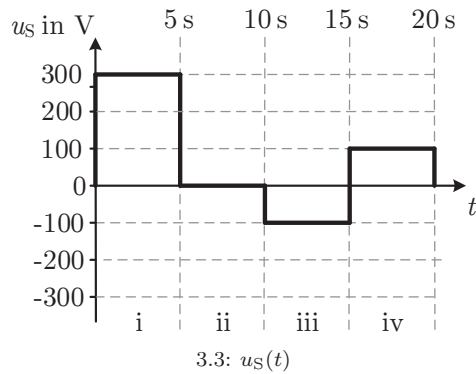
- i: $\alpha_i = 56,3^\circ$
- iii: $\alpha_{iii} = 100,7^\circ$
- iv: $\alpha_{iv} = 79,3^\circ$

3 e) Für die ideale Speicherinduktivität gilt die Differentialgleichung

$$u_S = L_S \frac{di_S}{dt}. \quad (33)$$

Da die Lastspannung u_S in den betrachteten Intervallen konstant ist, erhält man durch unbestimmte Integration und Berücksichtigung des Anfangsstroms $i_S(t_0)$ den Spulenstrom

$$i_S(t) = \int_{t_0}^t \frac{u_S}{L_S} dt + i_S(t_0) = \frac{u_S}{L_S} (t - t_0) + i_S(t_0) \quad \text{für } t \geq t_0. \quad (34)$$



3 f) Aufgrund der idealen Leistungshalbleiter gilt für die Netz- und Lastleistung

$$P_{\text{Netz}} = P_S \quad . \quad (35)$$

Für die mittlere Wirkleistung gilt

$$P_S = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u_S i_S dt \quad . \quad (36)$$

Gemäß Abb. 3.3 gilt für die Lastspannung in Intervall i

$$u_S = 300 \text{ V} = \text{const.} \quad (37)$$

Der Spulenstrom i_S steigt gemäß Aufgabe e) (siehe Abb. 3.4) linear von 0 A auf 750 A an. Zur Berechnung der mittleren Wirkleistung ist zunächst die zugehörige Geradengleichung aufzustellen:

$$i_{S,i}(t) = 150 \frac{\text{A}}{\text{s}} t \quad (38)$$

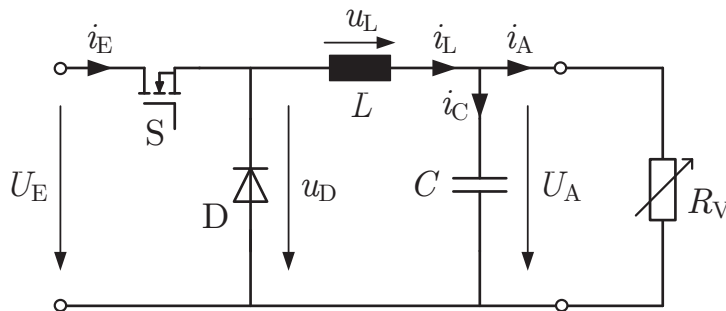
Einsetzen in Gleichung (36) liefert die mittlere Wirkleistung

$$P_S = u_S \underbrace{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_S dt}_{\bar{i}_S} = 300 \text{ V} \frac{1}{5 \text{ s}} \int_{0 \text{ s}}^{5 \text{ s}} \frac{150 \text{ A}}{\text{s}} t dt = 300 \text{ V} \frac{150 \text{ A}}{5 \text{ s}^2} \frac{25 \text{ s}^2}{2} = 300 \text{ V} \cdot 375 \text{ A} \quad (39)$$

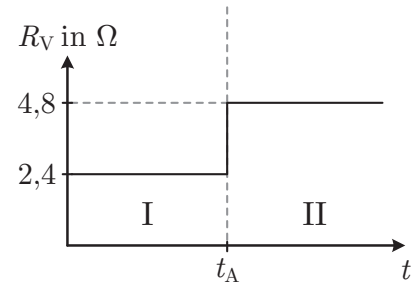
$$= 112,5 \text{ kW} \quad . \quad (40)$$

4 Gleichspannungswandler

Der Gleichspannungswandler in Abbildung (a) speist eine variable 12 V-Last, die durch ein Potentiometer mit dem Lastprofil aus Abbildung (b) nachgebildet wird.



(a) Gleichspannungswandler



(b) Lastprofil

Vereinfachende Annahmen

- Die Leistungshalbleiter sind ideale Schalter.
- Die Eingangsspannung U_E und die Ausgangsspannung U_A seien ideal geglättete Gleichspannungen.

Folgende Daten sind gegeben

U_E	=	60 V	Eingangsspannung des Gleichspannungswandlers
U_A	=	12 V	Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers
L	=	0,1 mH	Induktivität des Gleichspannungswandlers
f_S	=	10 kHz	Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers

Aufgaben

- a) Wie heißt der verwendete Gleichspannungswandler? (1 Punkt)

Der Gleichspannungswandler ist gemäß Abb. (b) zunächst in Bereich I mit $R_V = 2,4 \Omega$ belastet ($t \leq t_A$).

- b) Berechnen Sie das erforderliche Tastverhältnis des Gleichspannungswandlers, die Taktperiodendauer sowie die Ein- und Ausschaltzeit des Transistors S innerhalb einer Taktperiode. (4 Punkte)
- c) Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert des Induktivitätsstroms $\bar{i}_L$ und die Stromwelligkeit $|\Delta i_L|$. (4 Punkte)
- d) Nennen Sie alle möglichen Spannungen u_D . (2 Punkte)

Im Folgenden ist der Gleichspannungswandler gemäß Abb. (b) in Bereich II mit $R_V = 4,8 \Omega$ belastet ($t > t_A$). Der sich dabei einstellende Stromverlauf $i_L(t)$ ist auf Ihrem Lösungsblatt in Abb. 4.1 dargestellt.

- e) Wie nennt man diesen Betrieb? (1 Punkt)
- f) Zeichnen Sie auf Ihrem Lösungsblatt in Abb. 4.2 den Verlauf der Diodenspannung $u_D(t)$ ein. Erklären Sie den Unterschied zur anfänglichen Belastung mit $R_V = 2,4 \Omega$ und die Auswirkung auf die Ausgangsspannung U_A . (6 Punkte)
- g) Wie kann dieser Betrieb auch bei einer Belastung mit $R_V = 4,8 \Omega$ vermieden werden? Nennen Sie zwei mögliche Maßnahmen. (2 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 4

4 a) Der Gleichspannungswandler ist als Tiefsetzsteller ausgeführt.

4 b) Das erforderliche Tastverhältnis berechnet sich mit der gegebenen Ein- und Ausgangsspannung gemäß

$$a = \frac{U_A}{U_E} = 0,2 \quad . \quad (41)$$

Die Taktperiodendauer ergibt sich aus dem Kehrwert der Taktfrequenz:

$$T_S = \frac{1}{f_S} = 0,1 \text{ ms} \quad (42)$$

Mit dem berechneten Tastverhältnis berechnen sich die Ein- und Ausschaltzeit zu

$$T_{\text{ein}} = aT = 0,02 \text{ ms} \quad (43)$$

und

$$T_{\text{aus}} = (1 - a)T = 0,08 \text{ ms} \quad . \quad (44)$$

4 c) Der mittlere Induktivitätsstrom $\bar{i}_L$ entspricht dem Ausgangsstrom i_A . Mit

$$i_A = \frac{12 \text{ V}}{2,4 \Omega} = 5 \text{ A} \quad (45)$$

berechnet sich der mittlere Induktivitätsstrom zu

$$\bar{i}_L = i_A = 5 \text{ A} \quad . \quad (46)$$

Während der Zeitdauer t_{ein} liegt über der Induktivität die Spannung

$$u_L = U_E - U_A \quad (47)$$

an. Umstellen der Induktivitätsgleichung und anschließende Integration liefert

$$\Delta i_L(T_{\text{ein}}) = \frac{U_E - U_A}{L} T_{\text{ein}} \quad . \quad (48)$$

Während T_{aus} folgt mit

$$u_L = -U_A \quad (49)$$

die Stromänderung

$$\Delta i_L(T_{\text{aus}}) = -\frac{U_A}{L} T_{\text{aus}} \quad . \quad (50)$$

Mit den berechneten Ein- und Ausschaltzeiten ergibt sich

$$|\Delta i_L(T_{\text{ein}})| = \left| \frac{U_E - U_A}{L} T_{\text{ein}} \right| = 9,6 \text{ A} \quad (51)$$

$$|\Delta i_L(T_{\text{aus}})| = \left| -\frac{U_A}{L} T_{\text{aus}} \right| = 9,6 \text{ A} \quad (52)$$

Der minimale Strom entspricht somit

$$i_{L,\text{min}} = \bar{i}_L - \frac{\Delta i_L}{2} = 0,2 \text{ A} > 0 \quad (53)$$

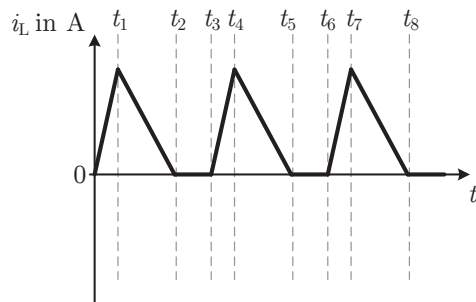
und es liegt kein lückender Betrieb vor.

4 d) Da der Tiefsetzsteller für $R_V = 2,4 \Omega$ nicht im Lückbetrieb arbeitet, sind folgende Spannungen über der Diode möglich:

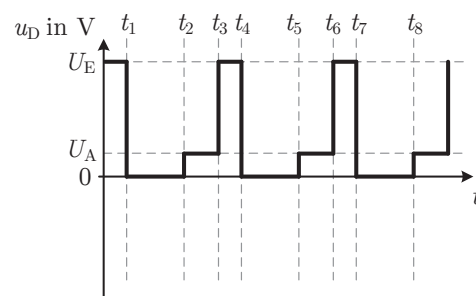
$$u_D = U_E = 60 \text{ V} \quad \text{für S ein} \quad (54)$$

$$u_D = 0 \text{ V} \quad \text{für S aus} \quad (55)$$

4 e) Diese Betriebsart heißt Lückbetrieb.



4.1: $i_L(t)$



4.2: $u_D(t)$

4 f) Während der Ausschaltzeit des Transistors wird der Strom i_L bereits vor Taktende zu null. In der verbleibenden Zeit bis zum Taktende liegt statt $u_D = 0 \text{ V}$ folglich die Ausgangsspannung U_A über der Diode an, was zunächst zu $\bar{u}_D \neq U_A$ führt. Nach einigen Taktperioden wird sich die Ausgangsspannung der mittleren Diodenspannung angeglichen haben, sodass $U_A > 12 \text{ V}$ und folglich $U_A \neq a U_E$ gilt. Daraus resultieren die Nachteile, dass die Ausgangsspannung des Tiefsetzstellers im Lückbetrieb nicht mehr dem linearen Steuergesetz folgt und es zu ungewollten Ausgangsspannungserhöhungen kommen kann.

4 g)

- Vergrößerung der Induktivität L
- Vergrößerung der Taktfrequenz f_S

5 Drehzahlsteuerung der Asynchronmaschine

Aufgaben

- a) Folgende drei Anordnungen von Schaltern und Asynchronmaschinen sind gegeben:

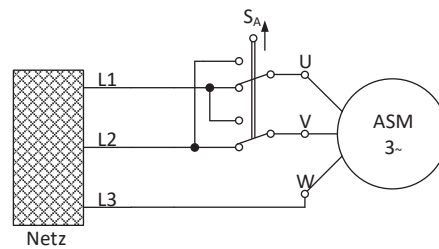


Abbildung 4: Anordnung A

- Welche technische Aufgabe erfüllt der Schalter S_A in Anordnung A? (2 Punkte)

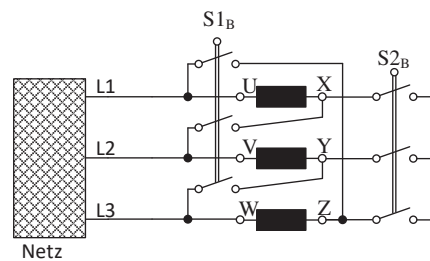


Abbildung 5: Anordnung B

- Welche technische Aufgabe erfüllen die Schalter $S1_B$ und $S2_B$ in Anordnung B? (2 Punkte)

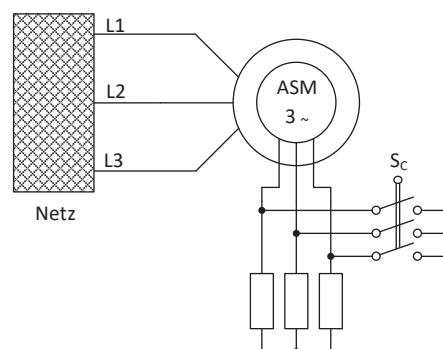


Abbildung 6: Anordnung C

- Welche technische Aufgabe erfüllt der Schalter S_C in Anordnung C? (2 Punkte)

- b) In den Abbildungen 5.1 und 5.2 auf Ihrem Lösungsblatt ist die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Asynchronmotors bei Speisung aus dem Drehstromnetz mit Nennfrequenz und Nennspannung dargestellt.
- Zeichnen Sie in Abbildung 5.1 die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ein, die sich bei Einfügen eines Drehstromstellers in die Motorzuleitung und Betrieb des Motors bei 50 % der Nennspannung ergibt. (2 Punkte)
 - Zeichnen Sie in Abbildung 5.2 die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ein, die sich bei Einfügen eines Frequenzumrichters in die Motorzuleitungen und Betrieb mit Spannungs-Frequenz-Steuerung ($\frac{U}{f} = \text{konstant}$) bei 50 % der Nennfrequenz des Motors ergibt. (2 Punkte)
- c) Zur Einspeisung von Solarenergie in das einphasige 230 V–Netz wird gemäß Abb. 7 der Stromrichter SR eingesetzt. Die Eingangsspannung u_S des Stromrichters entspricht der Spannung der Solarzelle.

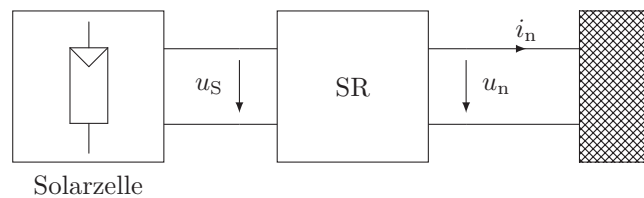
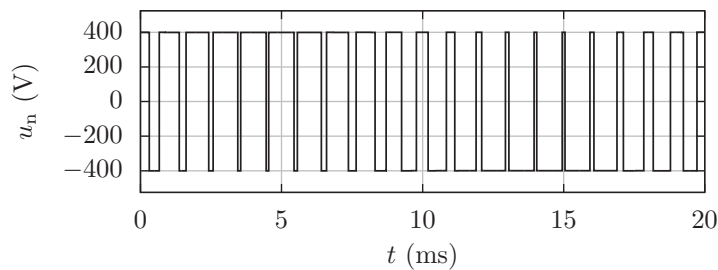
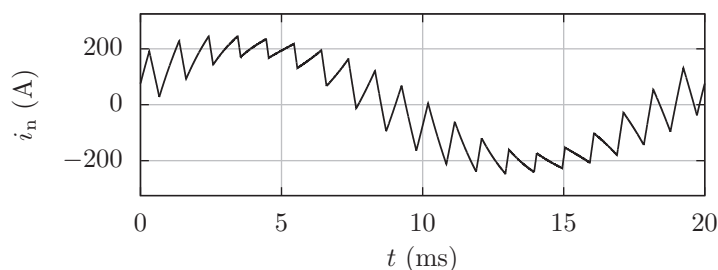


Abbildung 7: Schaltung zu 5c)

Am Ausgang des Stromrichters SR wird der Zeitverlauf der Ausgangsspannung u_n in Abb. 8(a) und des Ausgangsstroms i_n in Abb. 8(b) gemessen.



(a) Ausgangsspannung u_n



(b) Ausgangsstrom i_n

Abbildung 8: Ausgangsspannung u_n und Ausgangsstrom i_n des Stromrichters SR

Skizzieren Sie das Schaltbild des Stromrichters SR und geben Sie den Namen der Schaltung an. Geben Sie außerdem den Wert der Solarzellenspannung u_S sowie die Anzahl der Quadranten an, in denen die Schaltung betrieben wird. (7 Punkte)

Lösungsvorschlag Aufgabe 5

- a)
- Anordnung A: Beim Betätigen des Schalters S_A ändert sich die Drehrichtung der Asynchronmaschine.
 - Anordnung B: Beim Betätigen der Schalter S_{2B} sowie S_{3B} erfolgt eine Umschaltung der Statorwicklung von einer Dreiecks- in eine Sternschaltung.
 - Anordnung C: Beim Betätigen des Schalters S_C werden die Rotorvorwiderstände kurzgeschlossen.
- b)
- Bei einer Verringerung der Nennspannung auf 50 % verringert sich das Drehmoment um den Faktor 4. Der synchrone Punkt der Maschine bleibt dabei unverändert.

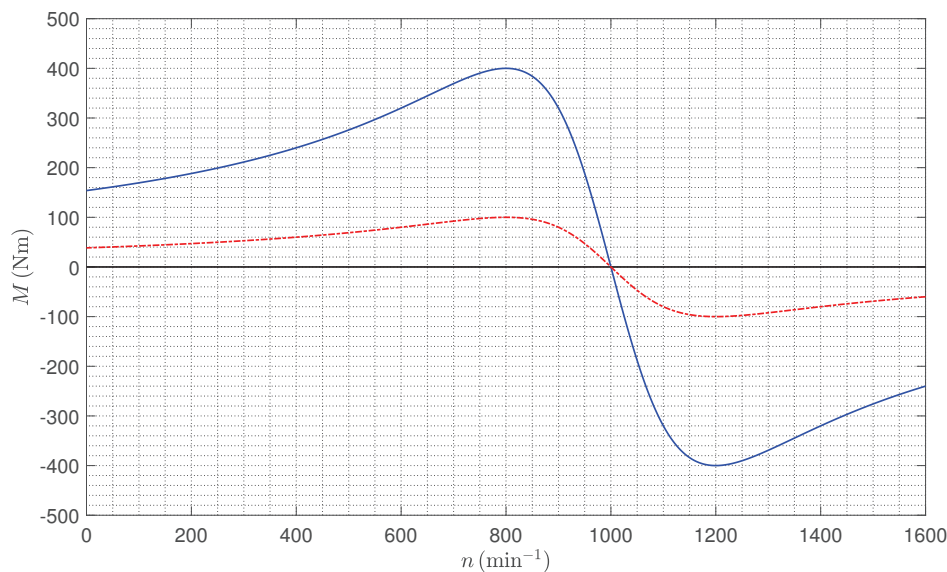


Abbildung 9: Betrieb bei halber Nennspannung

- Bei einer Verringerung der Speisefrequenz auf 50 % der Motornennfrequenz verschiebt sich der synchrone Punkt auf die Hälfte der ursprünglichen Drehzahl. Die Amplitude des Kippmoments bleibt dabei unverändert,

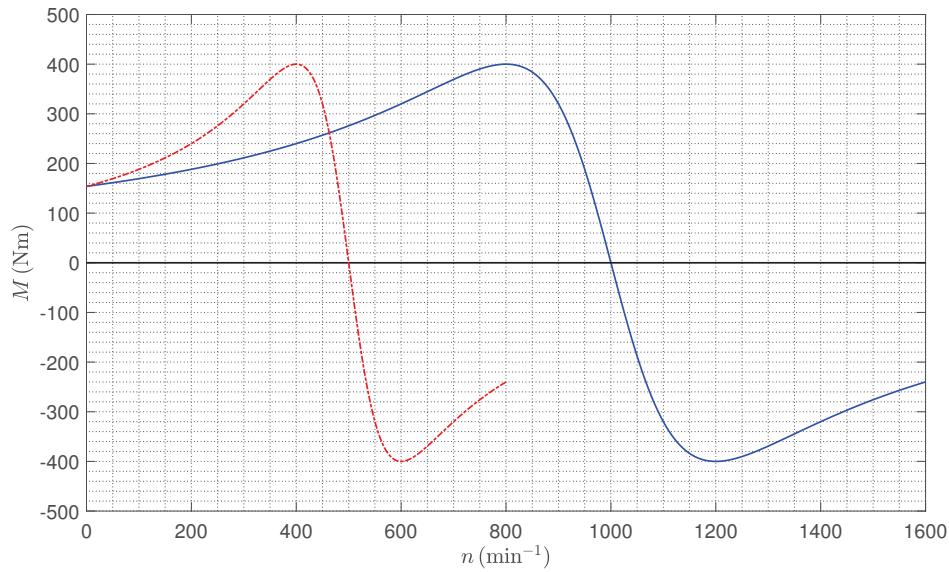


Abbildung 10: Betrieb bei halber Motornennfrequenz

- c) Da die Schaltung entsprechend der Strom- und Spannungsverläufe in Abb. 8 in allen 4 Quadranten betrieben wird, ist für die einphasige Einspeisung von Solarenergie ein Vierquadrantensteller einzusetzen:

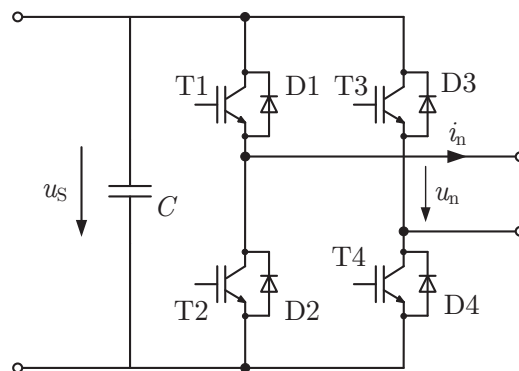


Abbildung 11: Vierquadrantensteller

Dem Zeitverlauf der Ausgangsspannung in Abb. 8(a) ist eine Solarzellenspannung von $u_S = 400 \text{ V}$ zu entnehmen.