

TU WIEN

MASCHINEN-UND-ANTRIEBE

VO-370.015

Prüfungen

Beispiele

Angaben

Wir können die Unterlagen von denen wir gelernt haben nicht ändern,
aber wir können der Nachwelt bessere hinterlassen.

Lizenz:

GNU GPLv3

1. April 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Formelübersicht	5
1.1	Gleichstrommaschine	5
1.1.1	Permanentmagneterregt	6
1.1.2	Fremderregt	7
1.2	Permanentmagneterregte Synchronmaschine	8
1.2.1	Wechselstrombetrieb	8
1.2.2	BLDC-Betrieb	10
2	Prüfungen	12
2.1	PM-Synchronmaschine	12
9.5.2011	1.	12
24.6.2013	2.	12
3.12.2013	3.	13
18.6.2014	4.	14
23.7.2014	5.	15
21.1.2015	6.	16
18.2.2015	7.	16
13.5.2015	8.	17
14.10.2015	9.	18
15.06.2016	10.	19
18.1.2017	11.	20
2.2	Gleichstrommaschine	21
9.5.2011	12.	21
24.7.2013	13.	22
3.12.2013	14.	23
14.5.2014	15.	23
18.6.2014	16.	24
23.7.2014	17.	25
21.1.2015	18.	26
18.2.2015	19.	27
13.5.2015	20.	28
14.10.2015	21.	29

15.06.2016 22.	31
20.07.2016 23.	32
18.1.2017 24.	34
21.2.2017 25.	35

Werter Student!

Diese Unterlagen werden dir **kostenlos** zur Verfügung gestellt, damit sie dir im Studium behilflich sind. Sie wurden von vielen Studierenden zusammengetragen, digitalisiert und aufgearbeitet. Ohne der Arbeit der Studierenden wären diese Unterlagen nicht entstanden und du müsstest dir jetzt alles selber zusammensuchen und von schlecht eingescannten oder abfotografierten Seiten lernen. Zu den Beispielen gibt es verschiedene Lösungen, welche du dir auch erst mühsamst raussuchen und überprüfen müsstest. Die Zeit die du in deine Suche und Recherche investierst wäre für nachfolgende Studenten verloren. Diese Unterlagen leben von der Gemeinschaft die sie betreuen. Hilf auch du mit und erweitere diese Unterlagen mit deinem Wissen, damit sie auch von nachfolgenden Studierenden genutzt werden können. Geh dazu bitte auf <https://github.com/Painkilla/VO-370.015-Maschinen-und-Antriebe/issues> und schau dir in der TODO Liste an was du beitragen möchtest. Selbst das Ausbessern von Tippfehlern oder Rechtschreibung ist ein wertvoller Beitrag für das Projekt. Nütze auch die Möglichkeit zur Einsichtnahme von Prüfungen zu gehen und die Angaben Anderen zur Verfügung zu stellen, damit die Qualität der Unterlagen stetig besser wird. \LaTeX und Git sind nicht schwer zu lernen und haben auch einen Mehrwert für das Studium und das spätere Berufsleben. Sämtliche Seminar oder Bachelorarbeiten sind mit \LaTeX zu schreiben. Git ist ideal um gemeinsam an einem Projekt zu arbeiten und es voran zu bringen. Als Student kann man auf GitHub übrigens kostenlos unbegrenzt private Projekte hosten.

Mit dem Befehl:

```
$ git clone --recursive https://github.com/Painkilla/VO-370.015-Maschinen-und-Antriebe
```

erstellst du eine lokale Kopie des Repositoriums. Du kannst dann die Dateien mit einem \LaTeX -Editor deiner Wahl bearbeiten und dir das Ergebnis ansehen. Bist du auf GitHub registriert, kannst du einen Fork (englisch für Ableger) erstellen und mit den Befehlen:

```
$ git commit -m "Dein Kommentar zu den Änderungen"
$ git push
```

werden deine Ergänzungen auf deinen Ableger am Server gesendet. Damit deine Ergänzungen auch in das zentrale Repository gelangen und allen

Studierenden zur Verfügung stehen, musst du nur noch einen Pull-Request erstellen.

1 Formelübersicht

1.1 Gleichstrommaschine

Symbol	Bezeichnung	Einheit
I_A	Ankerstrom	A
U_A	Ankerspannung	V
R_A	Ankerwiderstand	Ω
L_A	Ankerinduktivität	H
Ψ_A	Ankerfluss	Vs
I_F	Feldstrom	A
U_F	Feldspannung	V
R_F	Feldwiderstand	R
L_F	Feldinduktivität	H
Ψ_F	Feldfluss	Vs
U_i	Induzierte Spannung	V
Ψ_M	Permanentmagnetfluss	Vs
$k' \phi$	Spannungskonstante	Vs
Ω_m	Winkelgeschwindigkeit Motor	1/s
$\Omega_{m,0}$	Leerlauf Winkelgeschwindigkeit Motor	1/s
$\Omega_{m,N}$	Nennwinkelgeschwindigkeit Motor	1/s
Θ_m	Trägheitsmoment Motor	kgm ²
M_m	Moment Motor	Nm
M_L	Moment Last	Nm
A_M	Fläche Magnet	m ²
A_L	Fläche Luftspalt	m ²
l_M	Länge Magnet	m
l_L	Länge Luftspalt	m
B_M	Flussdichte Magnet	T
B_r	Remanenzflussdichte Magnet	T
B_L	Flussdichte Luftspalt	T
μ_0	magnetische Feldkonstante	Vs/Am

1.1.1 Permanentmagneterregt

Ankerfluss

$$\Psi_A = \Psi_M + L_A \cdot I_A \quad (1.1.1)$$

Induzierte Spannung

$$U_i = k' \phi \cdot \Omega_m \quad (1.1.2)$$

Permanentmagnet

$$\Psi_L = \Psi_M \quad (1.1.3)$$

$$B_L \cdot A_L = B_M \cdot A_M \quad (1.1.4)$$

$$B_L = \mu_0 \cdot H_L = B_M \frac{A_M}{A_L} \quad (1.1.5)$$

$$2 \cdot H_L \cdot l_L = 2 \cdot H_M \cdot l_M \quad (1.1.6)$$

$$H_M = H_L \cdot \frac{l_L}{l_M} \quad (1.1.7)$$

$$B_M = B_r + \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H_M \quad (1.1.8)$$

$$B_M = B_r + \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H_L \cdot \frac{l_L}{l_M} \quad (1.1.9)$$

$$B_M = B_r + \mu_r \cdot B_M \frac{A_M}{A_L} \cdot \frac{l_L}{l_M} \quad (1.1.10)$$

$$B_M = \frac{B_r}{1 - \mu_r \frac{A_M}{A_L} \cdot \frac{l_L}{l_M}} \quad (1.1.11)$$

Ankerspannungsgleichung

$$U_A = R_A I_A + \frac{\partial \Psi_A}{\partial t} \quad (1.1.12)$$

$$= R_A I_A + \frac{\partial \Psi_M + L_A I_A}{\partial t} \quad (1.1.13)$$

$$= R_A I_A + L_A \frac{\partial I_A}{\partial t} + k' \phi \cdot \Omega_m \quad (1.1.14)$$

Moment des Motors

$$M_m = k' \phi \cdot I_A \quad (1.1.15)$$

Mechanische Gleichung

$$\Theta_m \frac{\partial \Omega_m}{\partial t} = M_m - M_L \quad (1.1.16)$$

$$\Theta_m \frac{\partial \Omega_m}{\partial t} = k' \phi \cdot I_A - M_L \quad (1.1.17)$$

Mechanische Leistung

$$P_{mech} = M_m \cdot \Omega_m = k' \phi \cdot I_A \cdot \Omega_m \quad (1.1.18)$$

Wirkungsgrad

$$\eta_N = \frac{\Omega_N M_N}{U_N I_N} \quad (1.1.19)$$

Laplace Bereich

$$U_A(s) = R_A I_A(s) + L_A I_A(s)s + k' \phi \cdot \Omega_m(s) \quad (1.1.20)$$

$$\Theta_m \Omega_m(s)s = M_m - M_L = k' \phi \cdot I_A(s) - k_L \cdot \Omega_m(s) \quad (1.1.21)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{U_A(s)} = \frac{k' \phi}{s^2 L_A \Theta_m + s R_A \Theta_m + (k' \phi)^2} \quad (1.1.22)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{M_L(s)} = \frac{R_A + s L_A}{s^2 L_A \Theta_m + s R_A \Theta_m + (k' \phi)^2} \quad (1.1.23)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{I_A(s)} = \frac{k' \phi}{s \Theta_m + k_L} \quad (1.1.24)$$

Im Stationären Fall gilt folgendes:

$$\frac{\partial \Omega_m}{\partial t} = \frac{\partial I_A}{\partial t} = 0 \quad (1.1.25)$$

1.1.2 Fremderregt

$$U_F = I_F R_F + \frac{\partial \Psi_F}{\partial t} \quad (1.1.26)$$

$$\Psi_F = L_F(I_F) I_F \quad (1.1.27)$$

1.2 Permanentmagneterregte Synchronmaschine

\underline{i}_s	bezogener Statorstrom statorfest	[1]
\underline{i}_{sdq}	bezogener Statorstrom rotorfest	[1]
\underline{u}_s	bezogene Statorspannung statorfest	[1]
\underline{u}_{sdq}	bezogene Statorspannung rotorfest	[1]
r_s	bezogener Statorwiderstand	[1]
ω_K	bezogenes Rotierendes Koordinatensystem	[1]
ω_m	bezogene Winkelgeschwindigkeit Motor	[1]
l_s	bezogene Statorinduktivität	[1]
U_i	bezogene Induzierte Spannung	[1]
$\underline{\Psi}_M$	bezogener Permanentmagnetfluss	[1]
$\underline{\Psi}_s$	bezogene Statorflussverkettung	[1]
τ	bezogene Zeit	[1]
τ_m	bezogenes Trägheitsmoment Motor	[1]
m_R	bezogenes Moment Rotor	[1]
m_L	bezogenes Moment Last	[1]

1.2.1 Wechselstrombetrieb

Statorinduktivität

$$l_s = \frac{3}{2} \cdot l_{strang} \quad (1.2.1)$$

Statorflussverkettungsgleichung

$$\underline{\Psi}_s = l_s \cdot \underline{i}_s + \underline{\Psi}_M = l_s \cdot \underline{i}_s + |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau} \quad (1.2.2)$$

Rotorstrom

$$\arg(\underline{i}_{sdq}) = \arg(\underline{i}_s) - \arg(\underline{\Psi}_M) \quad (1.2.3)$$

$$\underline{i}_{sdq} = |\underline{i}_s| \cdot e^{j\arg(\underline{i}_{sdq})} \quad (1.2.4)$$

$$\underline{i}_{sd} = |\underline{i}_{sdq}| \cdot \cos(\arg(\underline{i}_{sdq})) \quad (1.2.5)$$

$$\underline{i}_{sq} = |\underline{i}_{sdq}| \cdot \sin(\arg(\underline{i}_{sdq})) \quad (1.2.6)$$

$$(1.2.7)$$

Statorstrom

$$\underline{i}_s = |\underline{i}_{sdq}| \cdot e^{j(\arg(\underline{i}_{sdq}) + \arg(\underline{\Psi}_M))} \quad (1.2.8)$$

Statorspannungsgleichung

$$\underline{u}_s(\tau) = \underline{i}_s \cdot r_s + \frac{\partial \underline{\Psi}_s}{\partial \tau} + j\omega_K \cdot \underline{\Psi}_s \quad (1.2.9)$$

Statorspannungsgleichung im rotorfesten Koordinatensystem

$$\underline{u}_{sdq}(\tau) = \underline{i}_{sdq} \cdot r_s + l_s \cdot \frac{\partial \underline{i}_{sdq}}{\partial \tau} + \frac{\partial |\underline{\Psi}_M|}{\partial \tau} + j\omega_K \cdot l_s \cdot \underline{i}_{sdq} + j\omega_K \cdot |\underline{\Psi}_M| \quad (1.2.10)$$

$$\frac{\partial |\underline{\Psi}_M|}{\partial \tau} = 0 \quad (1.2.11)$$

$$\omega_K = \omega_m \quad (1.2.12)$$

$$\underline{u}_{sdq}(\tau) = \underline{i}_{sdq} \cdot r_s + l_s \cdot \frac{\partial \underline{i}_{sdq}}{\partial \tau} + j\omega_m \cdot l_s \cdot \underline{i}_{sdq} + j\omega_m \cdot |\underline{\Psi}_M| \quad (1.2.13)$$

Stromzeiger im rotorfesten Koordinatensystem bei Kurzschluss im stationären Fall

$$0 = \underline{i}_{sdq} \cdot r_s + j\omega_m \cdot l_s \cdot \underline{i}_{sdq} + j\omega_m \cdot |\underline{\Psi}_M| \quad (1.2.14)$$

$$\underline{i}_{sdq} \cdot (r_s + j\omega_m \cdot l_s) = -j\omega_m \cdot |\underline{\Psi}_M| \quad (1.2.15)$$

$$\underline{i}_{sdq} = \frac{-j\omega_m \cdot |\underline{\Psi}_M|}{(r_s + j\omega_m \cdot l_s)} \quad (1.2.16)$$

$$\underline{i}_{sdq} = \frac{-j\omega_m \cdot |\underline{\Psi}_M|}{(r_s + j\omega_m \cdot l_s)} \cdot \frac{(r_s - j\omega_m \cdot l_s)}{(r_s - j\omega_m \cdot l_s)} \quad (1.2.17)$$

$$\underline{i}_{sdq} = \frac{-\omega^2 |\underline{\Psi}_M| l_s}{r_s^2 + (\omega l_s)^2} - j \frac{\omega |\underline{\Psi}_M| r_s}{r_s^2 + (\omega l_s)^2} \quad (1.2.18)$$

Im rotorfesten Koordinatensystem ist die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses vom Permanentmagneten null Glg.(1.2.11), weil sich der Magnet mit dem Koordinatensystem bewegt. Das Koordinatensystem bewegt sich mit der Geschwindigkeit des Motors. Glg.(1.2.12)

Statorspannungsgleichung im statorfesten Koordinatensystem

$$\arg(\underline{i}_s) = \arg(\underline{i}_{sdq}) + \arg(\underline{\Psi}_M) \quad (1.2.19)$$

$$\underline{i}_s = |\underline{i}_{sdq}| \cdot e^{j\arg(\underline{i}_s)} \quad (1.2.20)$$

$$\underline{u}_s(\tau) = \underline{i}_s \cdot r_s + l_s \cdot \frac{\partial \underline{i}_s}{\partial \tau} + \frac{\partial \underline{\Psi}_M}{\partial \tau} + j\omega_K \cdot l_s \cdot \underline{i}_s + j\omega_K \cdot \underline{\Psi}_M \quad (1.2.21)$$

$$\omega_K = 0 \quad (1.2.22)$$

$$\frac{\partial \underline{\Psi}_M}{\partial \tau} = \frac{\partial |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau}}{\partial \tau} = j\omega \cdot |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau} \quad (1.2.23)$$

$$\underline{u}_s(\tau) = \underline{i}_s \cdot r_s + l_s \cdot \frac{\partial \underline{i}_s}{\partial \tau} + j\omega \cdot |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau} \quad (1.2.24)$$

Statorstromzeigers im statorfesten Koordinatensystem bei Kurzschluss im stationären Fall

$$0 = \underline{i}_s \cdot r_s + j\omega \cdot |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau} \quad (1.2.25)$$

$$\underline{i}_s = \frac{j\omega \cdot |\underline{\Psi}_M| \cdot e^{j\gamma + j\omega\tau}}{r_s} \quad (1.2.26)$$

Drehmomentgleichung

$$m_R(\tau) = -Im(\underline{i}_s^* \cdot \underline{\Psi}_s) = i_{sq} \cdot |\underline{\Psi}_M| \quad (1.2.27)$$

Mechanische Gleichung

$$\tau_m \cdot \frac{\partial \omega_m}{\partial \tau} = m_R - m_L = i_{sq} \cdot |\underline{\Psi}_M| - m_L \quad (1.2.28)$$

Strangströme

$$i_1 = \Re\{\underline{i}_s \cdot e^{j0^\circ}\} = |\underline{i}_s| \cdot \cos(\arg(\underline{i}_s)) \quad (1.2.29)$$

$$i_2 = \Re\{\underline{i}_s \cdot e^{-j120^\circ}\} = |\underline{i}_s| \cdot \cos(\arg(\underline{i}_s) - 120) \quad (1.2.30)$$

$$i_3 = \Re\{\underline{i}_s \cdot e^{j120^\circ}\} = |\underline{i}_s| \cdot \cos(\arg(\underline{i}_s) + 120) \quad (1.2.31)$$

1.2.2 BLDC-Betrieb

Stromraumzeiger

Tabelle 1: Stromzeiger im BLDC Betrieb

Name	i_1	i_2	i_3	Winkel [°]
A	+	-	0	-30
B	+	0	-	30
C	0	+	-	90
D	-	+	0	150
E	-	0	+	210
F	0	-	+	270

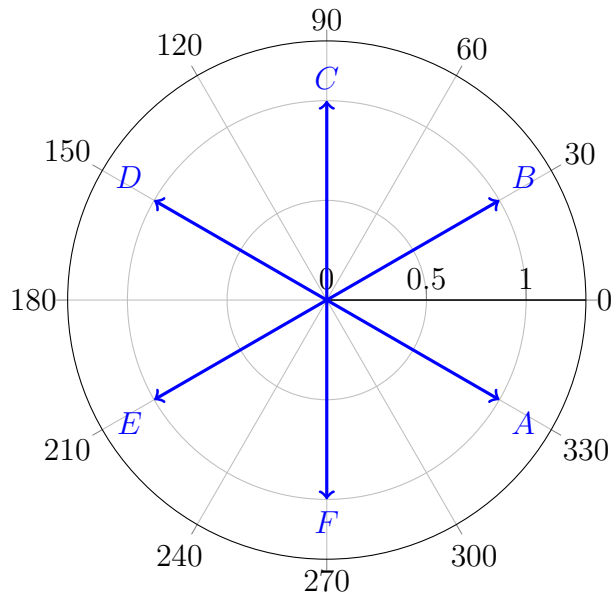


Abbildung 1: Stromzeiger graphisch dargestellt

$$\underline{i}_s = \frac{2}{3} \cdot [i_1 + i_2 \cdot e^{j \cdot 120^\circ} + i_3 \cdot e^{j \cdot 240^\circ}] \quad (1.2.32)$$

Für den Fall A, also wenn der Stromzeiger bei -30° steht, wird in die Glg.(1.2.32) für $i_1 = 1$, $i_2 = -1$ und $i_3 = 0$ eingesetzt.

2 Prüfungen

2.1 PM-Synchronmaschine

9.5.2011 1.

Eine kurzgeschlossene permanentmagneterregte Synchronmaschine wird schlagartig an eine sich mit konstanter Drehzahl drehende Welle gekuppelt $n_{m,t=0} = 0$, $n_{w,t=0} = \omega_w$. Die Maschine war vor dem Kuppelvorgang stromlos.

1. Geben Sie die Gleichungen für die Raumzeiger der Statorspannung und des Statorverkettungsflusses an. (2 P.)
2. Um den Verlauf des Statorstromzeigers Berechnen zu können, geben Sie zuerst die Übertragungsfunktion des Statorstromraumzeigers an (Statorfest). *Hinweis:* Als anregende Spannung wirkt die Induzierte Spannung, wobei Sie den Lagewinkel $e^{j\gamma}$ durch $e^{j\gamma} \cdot e^{j\omega t}$ ausdrücken können. (4 P.)
3. Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Statorstromraumzeigers im statorfesten Koordinatensystem. (2 P.)
4. Skizzieren Sie den Verlauf des Statorstromraumzeigers (statorfestes Koordinatensystem) in der Stromraumzeigerebene für eine elektrische Umdrehung, einmal unmittelbar nach dem Kurzschluss und einmal für den eingeschwungenen Zustand. (2 P.)

24.6.2013 2.

Eine dreisträngige symmetrische aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine habe zu dem betrachteten Zeitpunkt einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{-j15^\circ}$. Folgende Berechnungen sollen unter optimaler Drehmomentausbeute erfolgen.

1. Berechnen Sie für einen BLDC-Betrieb jenen normierten Stromzeiger, welcher das motorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme in den Motorzuleitungen an. (3 P.)

2. Skizzieren Sie $\underline{\Psi}_M$, \underline{i}_s und die Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
3. Berechnen Sie für einen Sinus-Betrieb jenen normierten Stromraumzeiger, welcher das motorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie $\underline{\Psi}_M$, \underline{i}_s und die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)

3.12.2013 3.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine läuft mit eingepprägter positiver Drehzahl von 10% der Bezugsdrehzahl. Zum Zeitpunkt τ_0 ist der normierte statorfeste Rotorverkettungsfluss $\Psi_M = 1 \cdot e^{j50^\circ}$.

1. Berechnen Sie für einen BLDC-Betrieb jenen günstigen normierten Stromraumzeiger zum Zeitpunkt τ_0 , welcher das halbe generatorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme in den Motorzuleitungen an. (2 P.)
2. Berechnen Sie für einen Sinus-Betrieb jenen normierten Stromraumzeiger, welcher das gleiche Drehmoment unter optimaler Drehmomentausnutzung bei positiver Drehrichtung ergibt. Wie groß ist das Verhältnis des Strombetrags zum BLDC Betrieb für diesen Zeitpunkt τ_0 ? (2 P.)
3. Skizzieren Sie $\underline{\Psi}_M, \underline{i}_s$ und die dem Drehmoment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse „U“ liegt in der reellen Achse) für beide obigen Betriebspunkte. (2 P.)
4. Berechnen Sie für den stationären Sinus-Betrieb den bezogenen Statorspannungsraumzeiger im rotorfesten Koordinatensystem zum Zeitpunkt τ_0 mit den Maschinendaten $r_s = 0,05$ und $l_s = 0,25$. (1 P.)

5. Ausgehend vom Sinusbetrieb wird zum Zeitpunkt τ_0 bei eingprägter Drehzahl vom Spannungszwischenkreisumrichter ein Klemmenkurzschluss angelegt. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 die bezogene Stromänderung $\partial \underline{i}_s / \partial \tau$ sowie die Momentenänderung $\partial m / \partial \tau$. (2 P.)
6. Berechnen Sie den stationären Stromraumzeiger $\tau \rightarrow \infty$ im rotorfesten Koordinatensystem für die kurzgeschlossene Maschine bei konstanter Drehzahl, sowie das stationäre Drehmoment. (3 P.)

18.6.2014 4.

Eine dreisträngige symmetrische aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine habe zu dem betrachteten Zeitpunkt einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{-j15^\circ}$. Folgende Berechnungen sollen unter optimaler Drehmomentausbeute erfolgen.

1. Berechnen Sie für einen BLDC-Betrieb jenen normierten Stromanzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das motorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
2. Skizzieren Sie $\underline{\Psi}_M$, \underline{i}_s und die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse “U” liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
3. Berechnen Sie für einen Sinus-Betrieb jenen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das motorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie $\underline{\Psi}_M$, \underline{i}_s und die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse “U” liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)

23.7.2014 5.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung mit $I_N = 12 \text{ A}$ (Effektivwert) habe zu dem betrachteten Zeitpunkt τ_0 einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j40^\circ}$. Zu diesem Zeitpunkt τ_0 die Strangströme $I_1 = -3,088 \text{ A}$, $I_2 = 8,891 \text{ A}$ und $I_3 = -5,803 \text{ A}$.

1. Berechnen Sie für diesen Zeitpunkt τ_0 den normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem und das bezogene Drehmoment der Maschine. Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 an. (3 P.)
2. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
3. Berechnen Sie für einen BLDC-Betrieb zu diesem Zeitpunkt jenen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das **halbe motorische** Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. (Die Berechnung soll unter optimaler Drehmomentenausbeute erfolgen). Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 und die nicht bezogenen Ströme I_1 , I_2 und I_3 in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
5. Berechnen Sie den bezogenen rotorfesten Spannungsraumzeiger für den Sinus-Betrieb (entsprechend dem Punkt 1.) zum Zeitpunkt τ_0 , wenn die Maschine gerade mit 20% der Bezugsdrehzahl rotiert. Verwenden Sie dazu die Maschinenparameter $r_s = 0,05$ und $l_s = 0,3$. (2 P.)

21.1.2015 6.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung mit $I_N = 12 \text{ A}$ (Effektivwert) habe zu dem betrachteten Zeitpunkt τ_0 einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j40^\circ}$. Zu diesem Zeitpunkt τ_0 ist der normierte statorfeste Stromraumzeiger $\underline{i}_s = 0,5 \cdot e^{j110^\circ}$.

1. Berechnen Sie für diesen Zeitpunkt τ_0 die bezogenen Strangströme i_1 , i_2 und i_3 sowie die nicht bezogenen Ströme I_1 , I_2 und I_3 . (2 P.)
2. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 den normierten Stromraumzeiger im rotorfesten Koordinatensystem und das bezogene Drehmoment der Maschine. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (2 P.)
3. Berechnen Sie alternativ für den BLDC-Betrieb zum Zeitpunkt τ_0 jenen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das **halbe motorische** Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. (Die Berechnung soll unter optimaler Drehmomentenausbeute erfolgen). Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
5. Berechnen Sie den bezogenen rotorfesten Spannungsraumzeiger für den Sinus-Betrieb (entsprechend dem Punkt 1.) zum Zeitpunkt τ_0 , wenn die Maschine gerade mit 20% der der Bezugsdrehzahl rotiert. Verwenden Sie dazu die Maschinenparameter $r_s = 0,07$ und $l_s = 0,25$. (2 P.)

18.2.2015 7.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung mit $I_N = 4 \text{ A}$ (Effektivwert) habe zu dem betrachteten Zeitpunkt τ_0 einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j20^\circ}$.

Die Maschine wird im BLDC-Modus betrieben und hat zu diesem Zeitpunkt τ_0 die Strangströme $I_1 = 0 \text{ A}$, $I_2 = 1,9 \text{ A}$ und $I_3 = -1,9 \text{ A}$.

1. Berechnen Sie für diesen Zeitpunkt τ_0 die bezogenen Strangströme i_1 , i_2 und i_3 sowie den normierten statorfesten Stromraumzeiger \underline{i}_s . (2 P.)
2. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 den normierten Stromraumzeiger im rotorfesten Koordinatensystem und das bezogene Drehmoment der Maschine. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (2 P.)
3. Berechnen Sie alternativ für einen Sinus-Betrieb zum Zeitpunkt τ_0 jenen optimalen normierten Stromraumzeiger im rotorfesten und statorfesten Koordinatensystem, welcher das halbe motorische Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. (Die Berechnung soll unter optimaler Drehmomentenausbeute erfolgen). Geben Sie ebenfalls die bezogenen Ströme i_1 , i_2 und i_3 sowie die nicht bezogenen Ströme I_1 , I_2 und I_3 in den Motorzuleitungen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (1 P.)
5. Berechnen Sie den bezogenen rotorfesten Spannungsraumzeiger für den Sinus-Betrieb (entsprechend dem Punkt 3.) und Punkt 4.)) zum Zeitpunkt τ_0 , wenn die Maschine gerade stationär mit konstantem Moment bei 50% der Bezugsdrehzahl rotiert. Verwenden Sie dazu die Maschinenparameter $r_s = 0,07$ und $l_s = 0,4$. (2 P.)

13.5.2015 8.

Eine dreisträngige symmetrische aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Sternschaltung ohne Mittelpunktleiter ($I_N = 10 \text{ A}$, $U_N = 230 \text{ V}$) läuft mit eingepprägter positiver Drehzahl von **30% der Bezugsdrehzahl**. Zum Zeitpunkt τ_0 ist der normierte statorfeste Rotorverkettungsfluss $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j \cdot 80^\circ}$.

1. Berechnen Sie für einen BLDC-Betrieb jenen günstigen normierten Stromraumzeiger, welche das **halbe generatorische** Bezugsmoment bei positiver Drehzahl ergibt. Geben Sie ebenfalls die bezogenen und nicht bezogenen Ströme in den Motorzuleitungen an. (2 P.)
2. Berechnen Sie für einen Sinus-Betrieb jenen normierten Stromraumzeiger, welcher das gleiche (**halbe generatorische**) Drehmoment unter optimaler Drehmomentausnutzung bei positiver Drehrichtung ergibt. Wie groß ist das Verhältnis der Strombetrags zum BLDC-Betrieb für diesen Zeitpunkt? (2 P.)
3. Skizzieren Sie jeweils die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M, \underline{i}_s$ und die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) für beide obigen Betriebspunkte. (1 P. +1 P. Skizze)
4. Berechnen Sie für den stationären Sinus-Betrieb (siehe Punkt 2.) den bezogenen Statorspannungsraumzeiger im rotorfesten und statorfesten Koordinatensystem zum Zeitpunkt τ_0 mit den Maschinendaten $r_s = 0,08$ und $l_s = 0,3$. (2 P.)
5. Berechnen Sie für die Maschinendaten $r_s = 0,08$ und $l_s = 0,3$ den Verlauf des stationären Kurzschlussmoments $m(\omega_m)$ in Abhängigkeit der Drehzahl ω_m für einen kurzgeschlossenen Stator und skizzieren Sie den Verlauf. (2 P.)

14.10.2015 9.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung mit $I_N = 25 \text{ A}$ (Effektivwert) habe zu dem betrachteten Zeitpunkt τ_0 einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j275^\circ}$. Zu diesem Zeitpunkt τ_0 ist der normierte statorfeste Stromraumzeiger $\underline{i}_s = 0,6 \cdot e^{j350^\circ}$.

1. Berechnen Sie für diesen Zeitpunkt τ_0 die bezogenen Strangströme i_1 , i_2 und i_3 sowie die nicht bezogenen Ströme I_1 , I_2 und I_3 . (2 P.)

2. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 den normierten Stromraumzeiger im rotorfesten Koordinatensystem und das bezogene Drehmoment der Maschine. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (2 P.)
3. Berechnen Sie alternativ für den BLDC-Betrieb zum Zeitpunkt τ_0 jenen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das **halbe motorische** Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. (Die Berechnung soll unter optimaler Drehmomentenausbeute erfolgen). Geben Sie ebenfalls die d- und q- Stromkomponenten für diesen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen BLDC-Betriebspunktes. (1 P.)
5. Berechnen Sie für die Maschinendaten $r_S = 0,07$ und $l_S = 0,35$ den Verlauf des stationären Kurzschlussmoments $m(\omega_m)$ in Abhängigkeit der Drehzahl ω_m für einen kurzgeschlossenen Stator ($\underline{u}_s = 0$) und skizzieren Sie den Verlauf im Bereich $\omega_m = [0 \dots 1]$. (2 P.)

15.06.2016 10.

Eine dreisträngige symmetrisch aufgebaute 4-polige ($p=2$) permanentmagnetterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung mit $I_N = 15 \text{ A}$ (Effektivwert) und $n_N = 1500 \text{ U/min}$ habe zu dem betrachteten Zeitpunkt τ_0 einen normierten Rotorverkettungsfluss von $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{-j20^\circ}$. Zu diesem Zeitpunkt τ_0 ist der normierte statorfeste Stromraumzeiger $\underline{i}_s = -0,15 - j0,9$.

1. Berechnen Sie für diesen Zeitpunkt τ_0 die bezogenen Strangströme i_1 , i_2 und i_3 sowie die nicht bezogenen Ströme I_1 , I_2 und I_3 . (2 P.)
2. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 den normierten Stromraumzeiger im rotorfesten Koordinatensystem und das bezogene Drehmoment der Maschine. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen Betriebspunktes. (2 P.)

3. Berechnen Sie alternativ für den BLDC-Betrieb zum Zeitpunkt τ_0 jenen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, welcher das **generatorische** Bezugsmoment bei positiver Drehrichtung ergibt. (Die Berechnung soll unter optimaler Drehmomentenausbeute erfolgen). Geben Sie ebenfalls die d- und q- Stromkomponenten für diesen an. (3 P.)
4. Skizzieren Sie die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene (Strangachse "U" liegt in der reellen Achse) des obigen BLDC-Betriebpunktes. (1 P.)
5. Skizzieren Sie den Zeitverlauf des nicht bezogenen Strangstroms $I_1(t)$ [A] in Abhängigkeit der Zeit t [ms] ab dem Zeitpunkt t_0 entsprechend Frage 3.) für den BLDC-Betrieb, wenn die PSM mit einer positiven Drehzahl von $\omega_m = 0,1$ bei **konstantem generatorischem Bezugsmoment** läuft. (2 P.)

18.1.2017 11.

Eine dreisträngige, vierpolige ($2p=4$) symmetrische aufgebaute permanentmagneterregte Synchronmaschine in Y-Schaltung hat die Nennwerte (Effektivwerte):

$$\begin{array}{ll} I_N & \dots\dots\dots 8 \text{ A} \\ U_N & \dots\dots\dots 400 \text{ V} \\ n_N & \dots\dots\dots 2250 \frac{\text{U}}{\text{min}} \end{array}$$

1. Berechnen Sie den Bezugsstrom I_{Bez} , die Bezugsspannung U_{Bez} , den Bezugswiderstand R_{Bez} , die Bezugskreiszfrequenz Ω_{Bez} , die Bezugszeit T_{Bez} und die Bezugsinduktivität L_{Bez} . (2 P.)
2. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 , den optimalen statorfesten und rotorfesten Stromraumzeiger im **BLDC-Betrieb** für ein Drehmoment $m = 2/3$, wenn zum Zeitpunkt τ_0 der normierte statorfeste Rotorverkettungsfluß $\underline{\Psi}_M = 1 \cdot e^{j40^\circ}$ beträgt. Skizzieren Sie maßstäblich die Raumzeiger $\underline{\Psi}_M$ und \underline{i}_s sowie die dem Moment entsprechende Fläche in der komplexen Raumzeigerebene, wenn die Strangachse \vec{U} in der reellen Achse liegt. (2 P. + 1 P. für die Skizze)

3. Berechnen Sie für den Zeitpunkt τ_0 (statorfeste Rotorverkettungsfluß $\underline{\Psi}_{M,(\tau_0)} = 1 \cdot e^{j40^\circ}$) im **Sinusbetrieb** jeweils den optimalen normierten Stromraumzeiger im statorfesten Koordinatensystem, um halbes motorisches und generatorisches Drehmoment zu erzeugen. Geben Sie für beide Fälle die nichtbezogenen Ströme I_1, I_2, I_3 an. (2 P.)
4. Berechnen Sie für den Stator Kurzschluss $\underline{u}_s = 0$ allgemein den Verlauf des stationären Kurzschlussmoments $m(\omega_m)$ in Abhängigkeit der Drehzahl ω_m , des Statorwiderstandes r_s und der Statorinduktivität l_s . Berechnen Sie daraus die Statorinduktivität l_s , wenn das Maximum des Kurzschlussmoments bei einer Drehzahl $\omega_m = 0,15$ liegt und der Statorwiderstand $r_s = 0,045$ beträgt. Wie groß ist das max. Kurzschlussmoment $m(\omega_m = 0,15)$? Skizzieren Sie den Verlauf $m(\omega_m)$ im Bereich $\omega_m = -1 \dots +1$. (3 P.)

2.2 Gleichstrommaschine

9.5.2011 12.

Eine Maschine ist über ein Getriebe an die Seiltrommel eines Krans gekuppelt. Das Übersetzungsverhältnis beträgt 100:1, die Seiltrommel hat einen Radius von 75 cm. Die maximale Last des Krans beträgt 5 t. Die Fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

I_N	.....	200 A
$k\phi_N$	.....	15 Vs
n_N	.....	1960 $\frac{U}{min}$
n_0	.....	2000 $\frac{U}{min}$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand der Gleichstrommaschine. (2 P.)
2. Der Motor wird mit einer konstanten Spannung von 500 V versorgt. Wie groß ist ein Vorwiderstand R_V zu wählen, damit die vorerst ruhende Last mit der Mindestbeschleunigung 1 m/s^2 gehoben wird? (3 P.)
3. Welche maximale Geschwindigkeit der Last ist mit diesem Vorwiderstand erreichbar? (3 P.)

4. Zeichnen Sie schematisch den zeitlichen Verlauf des Ankerstromes sowie der Geschwindigkeit der Last über die Zeit. (2 P.)

24.7.2013 13.

Eine fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

$$I_N \dots\dots 200 \text{ A}$$

$$k_1 \phi_N \dots\dots 15 \text{ Vs}$$

$$n_N \dots\dots 1960 \frac{\text{U}}{\text{min}}$$

$$n_0 \dots\dots 2000 \frac{\text{U}}{\text{min}}$$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand der Gleichstrommaschine. (2 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment der Gleichstrommaschine. (1 P.)
3. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300 \text{ V}$ versorgt, es liegt Nennerregung an. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (3 P.)
4. Skizzieren Sie für den gegebenen Motor diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (1 P.)
5. Das Feld wird nun auf die Hälfte der Nennerregung eingestellt. Wie groß ist nun das mit Nennstrom maximal erreichbare Drehmoment. (1 P.)
6. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300 \text{ V}$ versorgt, jedoch mit halber Nennerregung. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (2 P.)
7. Skizzieren Sie diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (1 P.)
8. Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine. (1 P.)

3.12.2013 14.

Eine fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

I_N	.....	200 A
$k_1 \phi_N$	.....	15 Vs
n_N	.....	1960 $\frac{U}{min}$
n_0	.....	2000 $\frac{U}{min}$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand der Gleichstrommaschine. (2 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment der Gleichstrommaschine. (1 P.)
3. Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine. (1 P.)
4. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 500 \text{ V}$ versorgt, es liegt Nennerregung an. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (2 P.)
5. Skizzieren Sie für den gegebenen Motor diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (1 P.)
6. Das Feld wird nun auf die Hälfte der Nennerregung eingestellt. Wie groß ist nun das mit Nennstrom maximal erreichbare Drehmoment. (1 P.)
7. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300 \text{ V}$ versorgt, jedoch mit halber Nennerregung. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (2 P.)

14.5.2014 15.

Eine permanentmagneterregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

$I_{A,N}$	.....	10 A
$U_{A,N}$	.....	48 V
n_0	.....	4000 $\frac{U}{min}$

1. Wie groß ist die Spannungskonstante $k_1 \cdot \phi$ und das Nennmoment M_N der Gleichstrommaschine? (2 P.)

2. Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A der Gleichstrommaschine, wenn durch eine Messung bei $U_A = 12 \text{ V}$ unter Belastung mit Nennstrom $I_{A,N}$ eine Drehzahl $n = 750 \text{ U/min}$ ermittelt wurde. Berechnen Sie weiters die Nenndrehzahl n_N und den Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine im Nennpunkt (M_N, n_N). (2 P.)
3. Die Gleichstrommaschine (Ankerspannung U_A) wird mittels eines idealen Tiefsetzstellers von einer Batterie $U_B = 48 \text{ V}$ versorgt. Wie groß ist das Tastverhältnis $\delta = U_A/U_B$ zu wählen, damit bei halber Leerlaufdrehzahl eine mechanische Leistung von $P_{mech} = 200 \text{ W}$ abgegeben wird? (2 P.)
4. Aufgrund einer Erwärmung der Gleichstrommaschine um 50°C kommt es zur Veränderung des Erregerflusses sowie des Ankerwiderstandes ausgehend von den angegebenen Nenndaten. Die Temperaturabhängigkeit des Ankerwiderstands wird mit $R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$ und einem Temperaturkoeffizient $\alpha = 0,00393 \text{ K}^{-1}$ berücksichtigt. Im Datenblatt des eingebauten Permanentmagneten wird der Temperaturkoeffizient der Remanenzflussdichte B_r mit $-0,2\%/K$ angegeben welche gleichermaßen für die Beschreibung der Temperaturabhängigkeit des Erregerflusses $\phi(T)$ verwendet werden soll. Berechnen Sie für die erhöhte Temperatur die Spannungskonstante, den Ankerwiderstand, sowie die Nenndrehzahl und Nennleistung bei unverändertem Nennstrom und einer Ankerspannung $U_A = 48 \text{ V}$. (2 P.)

18.6.2014 16.

Eine fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

I_N	.....	200 A
$k\phi_N$	.....	15 Vs
n_N	.....	1960 $\frac{\text{U}}{\text{min}}$
n_0	.....	2000 $\frac{\text{U}}{\text{min}}$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand der Gleichstrommaschine. (2 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment der Gleichstrommaschine. (1 P.)

3. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300V$ versorgt, es liegt Nennerregung an. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (3 P.)
4. Skizzieren Sie für den gegebenen Motor diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (1 P.)
5. Das Feld wird nun auf die Hälfte der Nennerregung eingestellt. Wie groß ist nun das mit Nennstrom maximal erreichbare Drehmoment. (1 P.)
6. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300V$ versorgt, jedoch mit halber Nennerregung. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$. (2 P.)
7. Skizzieren Sie diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (1 P.)
8. Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine. (1 P.)

23.7.2014 17.

Eine fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten. Generatorkennlinie ist gegeben (siehe Abb.2)

I_N	.....	100 A
$U_{A,N}$	.....	400 V
n_N$	.....	2940 \frac{U}{min}$
n_0$	.....	3000 \frac{U}{min}$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A der Gleichstrommaschine und die Spannungskonstante $k_1\phi_N$ im Nennpunkt der Maschine. (2 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment M_N der Gleichstrommaschine. (1 P.)
3. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 400V$ versorgt, es liegt halbe Nennerregung an. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$ und skizzieren Sie diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N/2$. (3 P.)

4. Die Maschine wird nun als Nebenschlussgenerator betrieben. Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild des Generators. Der Gesamtwiderstand im Erregerkreis ist konstant und beträgt $R_E = 45 \, \Omega$ (Summe aus Spulen und Vorwiderstand). Aus dem Leerlaufversuch konnte folgende Kennlinie des Erregerflusses ermittelt werden. Ermitteln Sie bei konstanter Drehzahl $n = 3000 \, U/min$ die Ankerspannung U_A sowie den Erregerstrom I_E für den leerlaufenden Generator. (4 P.)

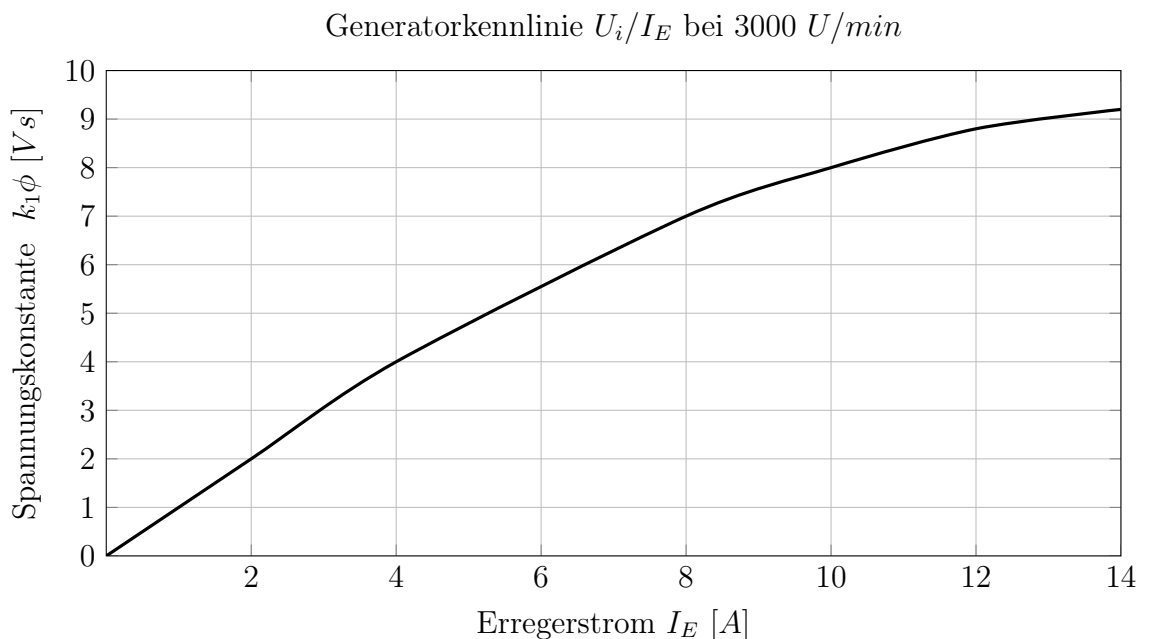


Abbildung 2: Generatorkennlinie

21.1.2015 18.

Eine Permanentmagnet erregte Gleichstrommaschine wird an einem Stromrichter (Tiefsetzsteller) betrieben. Die Drehzahl wird durch einen Drehzahlregler auf halbe Nenndrehzahl geregelt. Der Umrichter besitzt eine konstante Zwischenkreisspannung von $12 \, V$ und hat eine Schaltfrequenz von $8 \, kHz$. Die Gleichstrommaschine hat folgende Daten:

$I_{A,N}$	.....	15 A
$U_{A,N}$	.....	10 V
n_N	.....	1000 $\frac{U}{min}$
L_A	.....	180 μH
Θ_m	.....	0,002 kg m ²
R_A	.....	0 Ω

1. Zeichnen Sie das Blockschaltbild des 1Q-Stellers inkl.Motor ab dem Zwischenkreiskondensator. (1 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment des Motors? (1 P.)
3. Berechnen Sie unter der Annahme einer konstanten Drehzahl des Motors den Mittelwert der nötigen Ankerspannung und das daraus resultierende Tastverhältnis $\alpha = T_{on}/T_{PWM}$ des Tiefsetzsteller im eingeschwungenen Zustand für halbes Nennmoment des Motors sowie halber Nenndrehzahl. (2 P.)
4. Berechnen und skizzieren Sie die Amplitude des Stromrippels zufolge des Schaltens des Umrichters. *Hinweis:* Die Differenz von Umrichter-spannung und innerer Spannung wirkt als anregende Spannung, wenn der Schalter des Tiefsetzsteller geschlossen ist. (2 P. +1 P. Skizze)
5. Wie groß ist die Amplitude des daraus resultierenden Momentenrippels? (1 P.)
6. Berechnen Sie die Auslaufzeit des Antriebs nach Abschalten des Ankerstroms von halber Nenndrehzahl bis auf Stillstand, wenn kein äußeres Lastmoment anliegt aber ein konstantes Reibmoment von 5% des Nennmoments angenommen wird. (2 P.)

18.2.2015 19.

Eine fremderregte Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

I_N	.....	200 A
$k_1 \phi_N$	.....	15 Vs
n_N	.....	1940 $\frac{U}{min}$
n_0	.....	2000 $\frac{U}{min}$

1. Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A der Gleichstrommaschine und die Ankernennspannung. (2 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment M_N der Gleichstrommaschine. (1 P.)
3. Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine im Nennpunkt. (1 P.)
4. Die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300 \text{ V}$ versorgt, es liegt Nennerregung an. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$ und Skizzieren Sie diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. (3 P.)
5. Das Feld wird nun auf die Hälfte der Nennerregung eingestellt und die Gleichstrommaschine wird mit konstanter Ankerspannung $U_A = 300 \text{ V}$ versorgt, jedoch nun mit halber Nennerregung. Berechnen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Moments $n = f(M_i)$ und skizzieren Sie diesen Verlauf im Bereich $\pm M_N$. Wie groß ist der benötigte Ankerstrom I_A damit Nennmoment M_N bei halber Nennerregung erzeugt wird? (3 P.)

13.5.2015 20.

Eine kompensierte Reihenschluss-Gleichstrommaschine hat folgende Daten.

Eine Leerlaufkennlinie $\frac{U_i}{I_E}$ bei $n = 800 \frac{U}{\text{min}}$ ist gegeben (siehe Abb.3).

$I_{A,N}$	.....	280 A
$U_{A,N}$	.....	300 V
n_N	.....	1200 $\frac{U}{\text{min}}$

1. Wie groß ist die Spannungskonstante $k_1 \phi_N$ im Nennpunkt, das Nennmoment M_N und die Nennleistung P_N der Gleichstrommaschine? (2 P.)
2. Berechnen Sie den Innenwiderstand R_i (= Ankerwiderstand R_A + Erregerwiderstand R_E) und den Wirkungsgrad η_N im Nennpunkt. (2 P.)
3. Bestimmen Sie die Drehzahl n und das Drehmoment M für eine Ankerspannung $U_A = 200 \text{ V}$ und $I_A = 140 \text{ A}$. (1 P.)

4. Skizzieren Sie die Drehzahl-Drehmoment Kennlinie (M/n) bei Nennspannung $U_{A,N} = 300 \text{ V}$ im Bereich ca. $0,2M_N$ bis M_N . (2 P.)
5. Die Maschine wird bei $n = 500 \text{ U/min}$ auf einen Widerstand R_L gebremst. Dimensionieren Sie den Bremswiderstand R_L so, dass ein anfänglicher Bremsstrom von 200 A fließt und geben Sie die Ankerspannung U_A an den Maschinenklemmen und das Bremsmoment zu Beginn der Bremsung an. (3 P.)

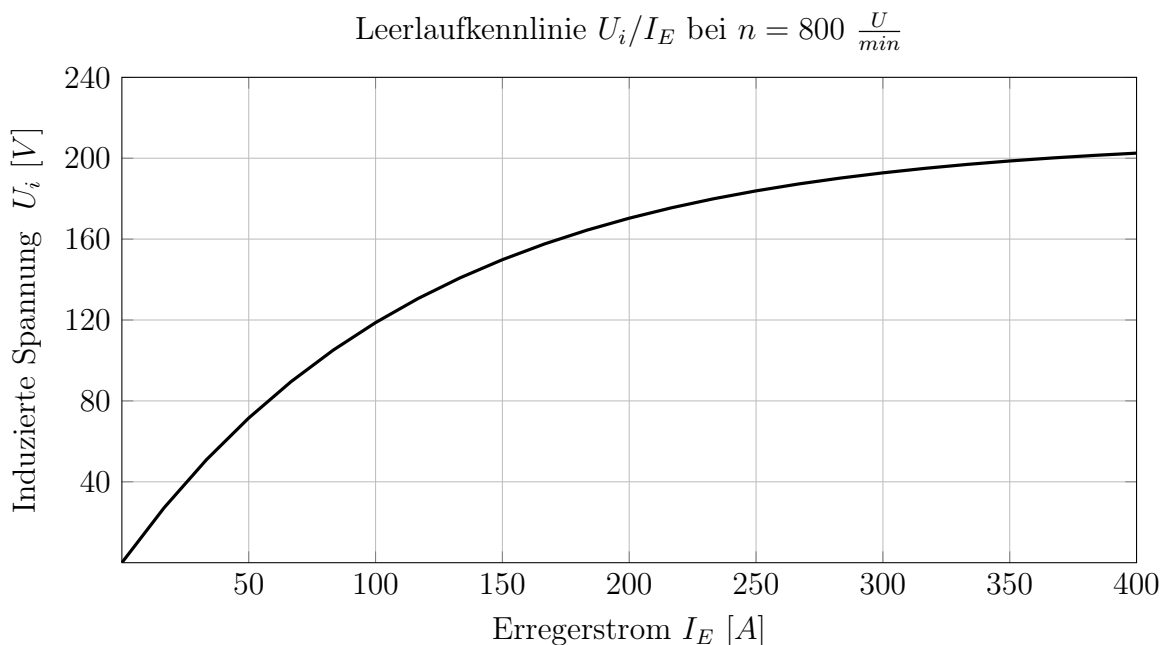


Abbildung 3: Leerlaufkennlinie

14.10.2015 21.

Hinweis: In der Original Angabe ist die x-Achse des Diagramms nicht sichtbar, die Skalen auf der x-Achse sind somit geschätzt und es können unerwartete Ergebnisse auftreten.

Eine kompensierte **Nebenschluss-Gleichstrommaschine** hat folgende Daten. Eine Leerlaufkennlinie $U_i = f(I_E)$ bei $n = 800 \text{ U/min}$ ist gegeben (siehe Abb.4).

$$\begin{array}{ll}
I_{A,N} & \dots\dots 300 \text{ A} \\
U_{A,N} & \dots\dots 250 \text{ V} \\
n_N & \dots\dots 1000 \frac{U}{min}
\end{array}$$

1. Skizzieren Sie die Schaltung der Nebenschlussmaschine am Gleichspannungsnetz. (1 P.)
2. Wie groß ist die Spannungskonstante $k_1\phi_N$ im Nennpunkt, das Nennmoment M_N und die mechanische Nennleistung P_N der Gleichstrommaschine, wenn ein Erregerwiderstand $R_E = 15,6 \Omega$ verwendet wird? (3 P.)
3. Wie groß ist dabei die Leerlaufdrehzahl n_0 und der Ankerwiderstand R_A (2 P.)
4. Berechnen Sie den Wirkungsgrad η_N im Nennpunkt der Maschine unter Berücksichtigung des Ankerwiderstand R_A und des Erregerwiderstands $R_E = 15,6 \Omega$. Die mechanischen Verluste, Bürstenverluste und Eisenverluste werden vernachlässigt. (1 P.)
5. Die Maschine wird bei einer konstanten Drehzahl $n = 800 \text{ U/min}$ als Generator mit $R_E = 15,6 \Omega$ eingesetzt und mit einem umschaltbaren Lastwiderstand $R_L = 0,1 / 0,5 / 1 \Omega$ belastet. Berechnen und Skizzieren Sie die (äussere) Generatorkennlinie $U_A = f(I_L)$ für die unterschiedlichen Belastungen inklusive Leerlauf des Generators mit $I_L = 0 \text{ A}$. (3 P.)

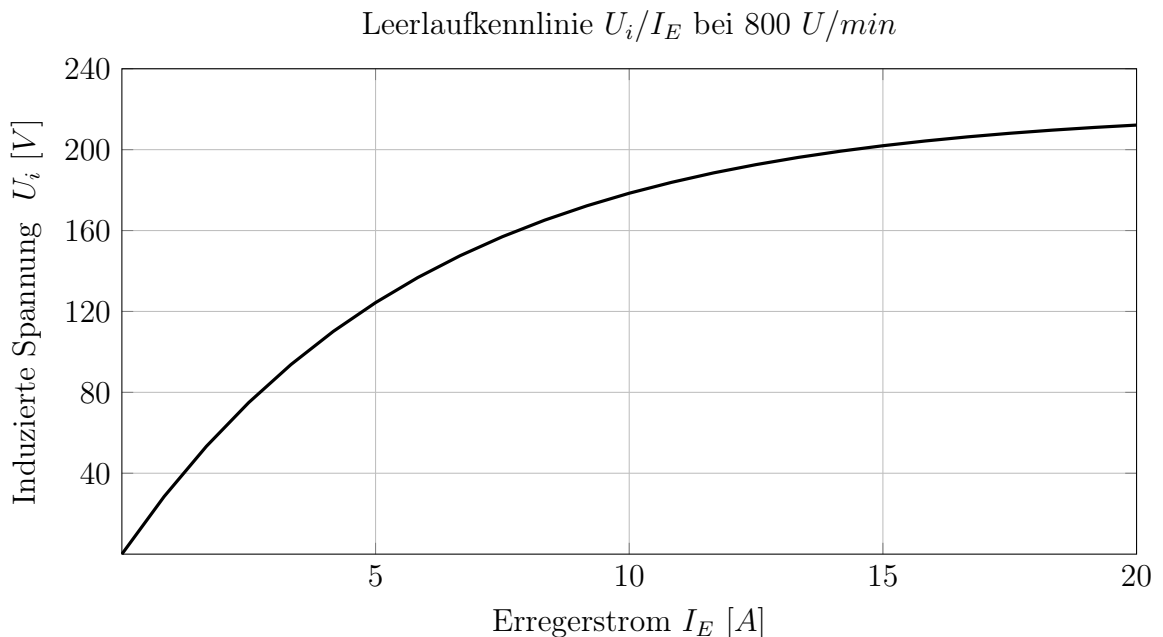


Abbildung 4: Leerlaufkennlinie

15.06.2016 22.

Eine kompensierte **Nebenschluss-Gleichstrommaschine** hat folgende Daten. Eine Leerlaufkennlinie $U_i = f(I_E)$ **bei** $n = 1000 \text{ U/min}$ ist gegeben (siehe Abb.5).

$I_{A,N}$	.....	200 A
$U_{A,N}$	.....	40 V
n_N	.....	2000 $\frac{U}{min}$

1. Skizzieren Sie die Schaltung der Nebenschlussmaschine am Gleichspannungsnetz. (1 P.)
2. Wie groß ist bei Nennspannung $U_{A,N}$ im motorischen Betrieb die Spanungskonstante $k_1\phi_N$ im Nennpunkt, das Nennmoment M_N und die mechanische Nennleistung P_N der Gleichstrommaschine, wenn ein Erregerwiderstand $R_E = 2,5 \Omega$ verwendet wird? (3 P.)
3. Wie groß ist dabei die Leerlaufdrehzahl n_0 bei Nennspannung $U_{A,N}$ und wie groß ist der Ankerwiderstand R_A (2 P.)

4. Berechnen Sie den Wirkungsgrad η_N im Nennpunkt der Maschine unter Berücksichtigung des Ankerwiderstand R_A und des Erregerwiderstands $R_E = 2,5 \, \Omega$. Die mechanischen Verluste, Bürstenverluste und Eisenverluste werden vernachlässigt. (1 P.)
5. Die Maschine wird bei einer konstanten Drehzahl $n = 2000 \, U/min$ als Generator mit $R_E = 2,5 \, \Omega$ eingesetzt und mit einem umschaltbaren Lastwiderstand $R_L = 0,01 / 0,02 / 0,05 \, \Omega$ belastet. Berechnen Sie jeweils den Laststrom und den Erregerstrom und skizzieren Sie die (äussere) Generatorkennlinie $U_A = f(I_L)$ für die unterschiedlichen Belastungen inklusive Leerlauf des Generators mit $I_L = 0$. (3 P.)

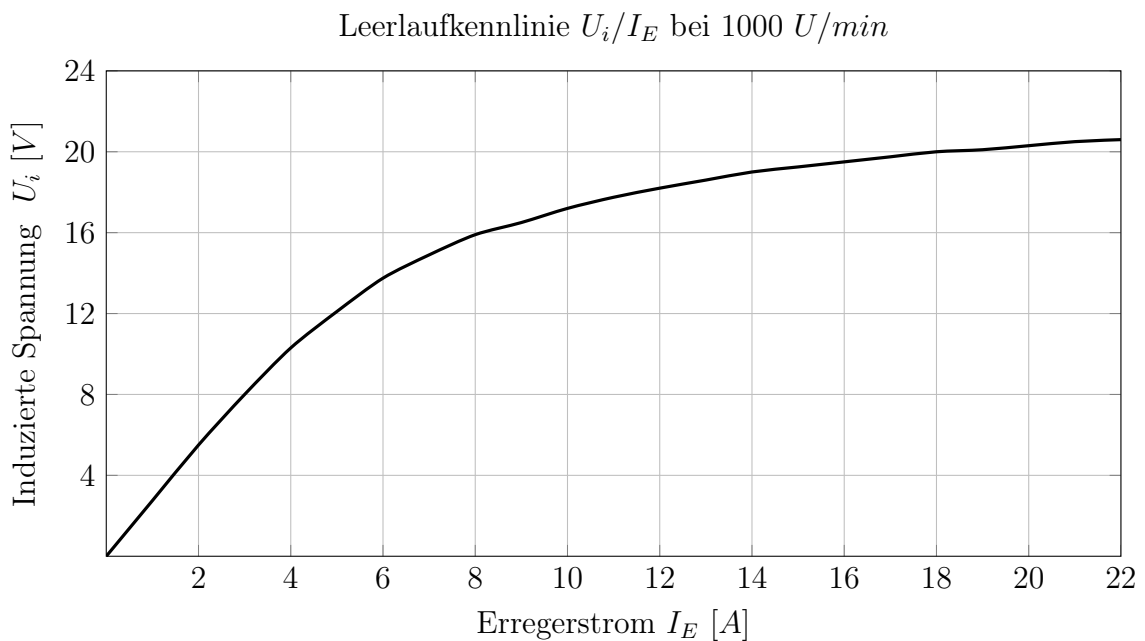


Abbildung 5: Leerlaufkennlinie

20.07.2016 23.

Eine kompensierte **Reihenschluss-Gleichstrommaschine** hat folgende Daten. Die Maschine ist im Nennpunkt nicht gesättigt ($\Phi \sim I_A$). Die Maschine hat nur ohmsche Verluste, Reibungsverluste und Eisenverluste sind vernach-

	$I_{A,N}$	.....	225 A
	$P_{N,mech}$	..	81 kW
lässigbar.	n_N	.....	2000 $\frac{U}{min}$
	η_N	.....	90%

1. Skizzieren Sie die Schaltung der Reihenschlussmaschine am Gleichspannungsnetz inkl. aller Widerstände und Induktivitäten der Maschine. (1 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment M_N und die Spannungskonstante $k_1 \cdot \phi_N$ im Nennpunkt im motorischen Betrieb? Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_0 ? (2 P.)
3. Wie groß ist die Nennspannung U_N und wie groß ist der Ankerwiderstand R_A und der Erregerwiderstand R_E , wenn sich der Erregerwiderstand R_E zum Ankerwiderstand $R_A : R_E = 2 : 5$ verhält? (2 P.)
4. Skizzieren Sie maßstäblich die Drehzahl-Drehmoment Kennlinie (M/n) bei Nennspannung im Bereich ca. $0,2 \cdot M_N$ bis $1,5 \cdot M_N$. (2 P.)
5. Berechnen Sie den benötigten Vorwiderstand R_V wenn die Maschine bei Nennspannung U_N mit $M = 1,5 \cdot M_N$ aus dem Stillstand angefahren werden soll. (1 P.)
6. Die Gleichstrommaschine wird von einem Stromrichter mit konstantem, halben Nennstrom bei $n = 2000 \text{ U/min}$ als Motor betrieben. Berechnen und Skizzieren Sie den Drehzahlverlauf $n(t)$, wenn die Last schlagartig abgekuppelt wird. Der Stromrichter liefert dabei weiterhin den konstanten Strom und schaltet die Gleichstrommaschine erst bei Erreichen einer Spannung von $U = 460 \text{ V}$ ab. Wie lange dauert es bis zum Abschalten und welche Enddrehzahl wird erreicht? Das Trägheitsmoment der Gleichstrommaschine ist $\Theta_{GM} = 12 \text{ kg m}^2$ und das Reibungsmoment beträgt konstant 1% des Nennmoments. (2 P.)

18.1.2017 24.

Eine kompensierte **Reihenschluss-Gleichstrommaschine** hat folgende Daten. Eine Leerlaufkennlinie U_i/I_E bei $n = 500 \text{ U/min}$ ist gegeben.

$I_{A,N}$	.....	160 A
U_N	.....	200 V
n_N	.....	1000 $\frac{\text{U}}{\text{min}}$

1. Wie groß ist die Spannungskonstante $k_1 \cdot \phi_N$ im Nennpunkt, das Nennmoment M_N und die Nennleistung P_N der Gleichstrommaschine? (2 P.)
2. Berechnen Sie den Innenwiderstand R_i (=Ankerwiderstand R_A + Erregerwiderstand R_E) und den Wirkungsgrad η_N im Nennpunkt. (2 P.)
3. Bestimmen Sie die Drehzahl n und das Drehmoment M der Maschine für eine Ankerspannung $U_A = 150 \text{ V}$ und $I_A = 160 \text{ A}$ (1 P.)
4. Skizzieren Sie die Drehzahl-Drehmoment Kennlinie (M/n) bei Nennspannung $U_{A,N} = 200 \text{ V}$ im Bereich ca. $0,2M_N$ bis M_N . (2 P.)
5. Die Maschine wird bei $n = 500 \text{ U/min}$ auf einen Widerstand R_L gebremst. Dimensionieren Sie den Bremswiderstand R_L so, dass ein anfänglicher Bremsstrom von 200 A fließt und geben Sie die Ankerspannung U_A an den Maschinenklemmen und das Bremsmoment zu Beginn der Bremsung an. (3 P.)

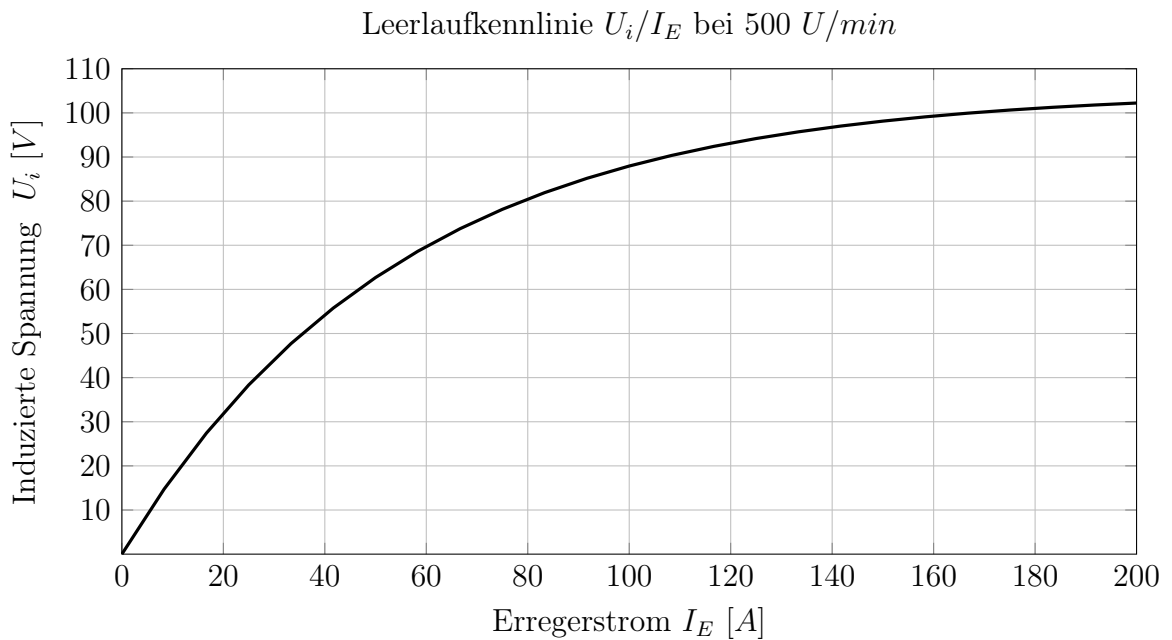


Abbildung 6: Leerlaufkennlinie

21.2.2017 25.

Eine kompensierte **Reihenschluss-Gleichstrommaschine** hat folgende Da-

	$I_{A,N}$	.....	225 A
	$P_{N,mech}$	..	81 kW
ten .	n_N	.....	2000 $\frac{U}{min}$
	μ_N	.....	90 %

Die Maschine ist im Nennpunkt nicht gesättigt ($\Phi \approx I_A$). Die Maschine hat nur ohmsche Verluste, Reibungsverluste und Eisenverluste sind vernachlässigbar.

1. Skizzieren Sie die Schaltung der Reihenschlussmaschine am Gleichspannungsnetz inkl. aller Widerstände und Induktivitäten der Maschine. (1 P.)
2. Wie groß ist das Nennmoment M_N und die Spannungskonstante $k_1\phi_N$ im Nennpunkt im motorischen Betrieb? Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_0 ? (2 P.)

3. Wie groß ist die Nennspannung U_N und wie groß ist der Ankerwiderstand R_A und der Erregerwiderstand R_E , wenn sich der Erregerwiderstand R_E zum Ankerwiderstand $R_A : R_E = 2 : 5$ verhält? (2 P.)
4. Skizzieren Sie maßstäblich die Drehzahl-Drehmoment Kennlinie (M/n) bei Nennspannung im Bereich ca. $0,2M_N$ bis $1,5M_N$. (2 P.)
5. Berechnen Sie den benötigten Vorwiderstand R_V , wenn die Maschine bei Nennspannung U_N mit $M = 1,5 \cdot M_N$ aus dem Stillstand angefahren werden soll. (1 P.)
6. Die Gleichstrommaschine wird von einem Stromrichter mit konstantem, halben Nennstrom bei $n = 2000 \text{ U/min}$ als Motor betrieben. Berechnen und Skizzieren Sie den Drehzahlverlauf $n(t)$, wenn die Last schlagartig abgekuppelt wird. Der Stromrichter liefert dabei weiterhin den konstanten Strom und schaltet die Gleichstrommaschine erst bei Erreichen einer Spannung von $U = 460 \text{ V}$ ab. Wie lange dauert es bis zum Abschalten und welche Enddrehzahl wird erreicht? Das Trägheitsmoment der Gleichstrommaschine ist $\Theta_{GM} = 12 \text{ kgm}^2$ und das Reibmoment beträgt konstant 1% des Nennmoments. (2 P.)