



HTBLuVA St. Pölten
Höhere Abteilung Elektrotechnik
3100 St. Pölten, Waldstrasse 3 Tel: 02742-75051-300
Homepage: <http://et.htlstp.ac.at> E-Mail: et@htlstp.ac.at



Projekt-Titel:

GLEICHSTROMMOTOR

Mitglieder:

LABENBACHER MICHAEL
NEULINGER DAVID
AUGUST LOIBL
EDER DANIEL

Projektort: HTBL u. VA in St. Pölten

Projektdatum: 9.12.2015

Projektnummer: 06

Projektgruppe: 1

Fach: Laboratorium

Jahrgang/Klasse: 2015/16 5AHET

Lehrer: OStR Dipl.-Ing. Johann Noitz

Protokollführer: <i>Labenbacher Michael</i>	Unterschriften:	Note:
---	------------------------	--------------

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung & Aufgabenstellung	1
2	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	8
3	Messungen der Wicklungswiderstände	9
4	Leerlaufversuch einer fremderregten GM	12
4.1	Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$	12
4.1.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	12
4.1.2	Versuchsdurchführung & Messungen	14
4.1.3	Auswertung	15
4.2	Leerlaufkennlinien $n = f(I_E)$	16
4.2.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	16
4.2.2	Versuchsdurchführung & Messungen	16
4.2.3	Auswertung	17
4.3	Wirkungsgradbestimmung	18
4.3.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	18
4.3.2	Versuchsdurchführung & Messungen	18
4.3.3	Extrapolation zur Erfassung der Reibungsverluste und Berechnungen	19
4.3.4	Auswertung	20
5	Lastversuch einer GM	21
5.1	Unkompoundierte GM	21
5.1.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	21
5.1.2	Versuchsdurchführung und Auswertung	22
5.2	Mitkompoundierte GM	24
5.2.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	24
5.2.2	Versuchsdurchführung und Auswertung	25
5.3	Gegenkompoundierte GM	27
5.3.1	Aufgabenstellungen & Messschaltung	27
5.4	Auswertung	28

Abbildungsverzeichnis	29
Tabellenverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	31
Abkürzungsverzeichnis	32

1 Einleitung & Aufgabenstellung

Dieses Projekt dient einerseits zur Untersuchung des Verhaltens einer Gleichstrommaschine (GM) und andererseits sollen Messschaltungen und -methoden für die Aufnahme wichtiger Kennlinien einer GM aufgezeigt werden. Die nachfolgenden Abbildungen 1.1 & 1.2 zeigen die Typenschilder der verwendeten Maschinen:

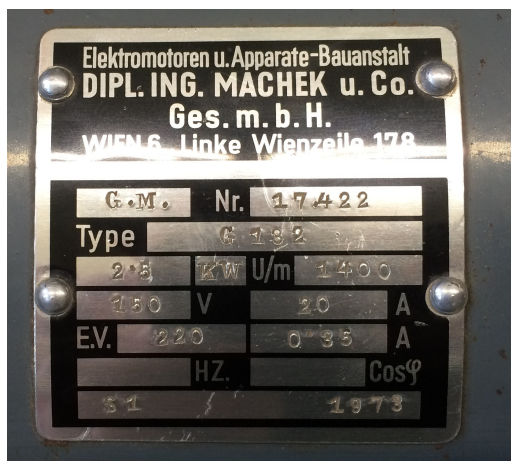


Abbildung 1.1: Typenschild der Gleichstrommaschine

Typ G 132
 Nennleistung P_N 2,5 kW
 Nenndrehzahl n_N 1400 U/min
 Ankernennspannung U_{AN} 150 V
 Ankernennstrom I_{AN} 20 A
 Erregernennspannung U_{EN} 220 V
 Erregernennstrom I_{EN} 0,35 A

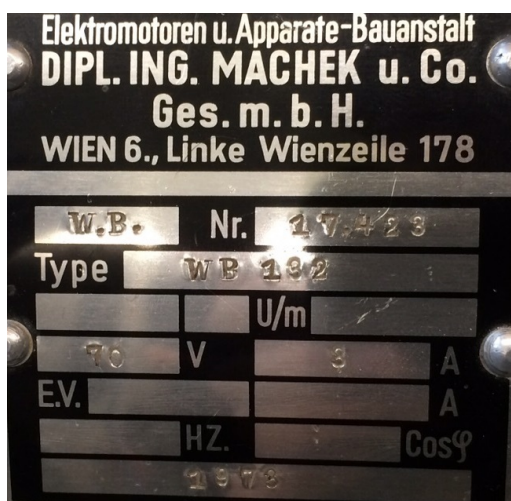


Abbildung 1.2: Typenschild der Wirbelstrombremse

Typ WB 132
 Nennspannung U_{WB_N} 70 V
 Nennstrom I_{WB_N} 3 A

Die Maschine weist eine Anker- (A1 & A2), Reihenschlusserreger- (D1 & D2), Nebenschlusserreger- (bzw. Fremderreger-) (E1 & E2) und Wendepolwicklung (B1 & B2) auf und als Belastung befindet sich an der Welle der GM eine Wirbelstrombremse mit den Klemmen F1 & F2 und den Daten: $U_{\text{WB}_N} = 70 \text{ V}$ und $I_{\text{WB}_N} = 3 \text{ A}$. Die Wirbelstrombremse nutzt dabei die Wirbelströme von Magnetfeldern zur Bremsung und zählt zu den verschleißfreien Bremsen.

Des Weiteren wurde zur Erfassung der Drehzahl der Gleichstrommaschine ein Handdrehzahlmessgerät verwendet.

Die erste Aufgabe in diesem Projekt besteht darin, die einzelnen Wicklungswiderstände mit Hilfe geeigneter Messschaltungen zu erfassen und im Anschluss darauf soll gezeigt werden, welcher Unterschied sich bei der Verwendung eines Digitalmultimeters ergibt. Als Schaltungen zur Messung stehen folgende zwei zur Verfügung:

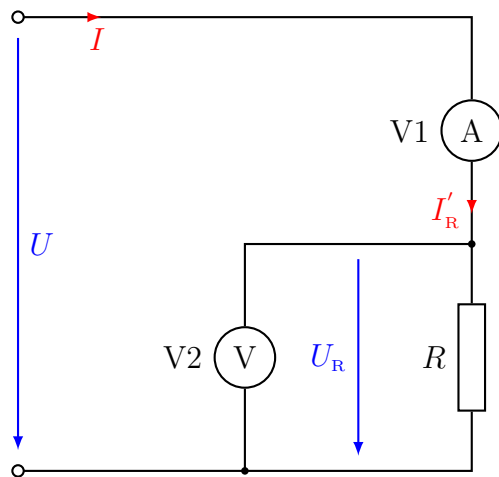


Abbildung 1.3: Spannungsrichtige Messschaltung

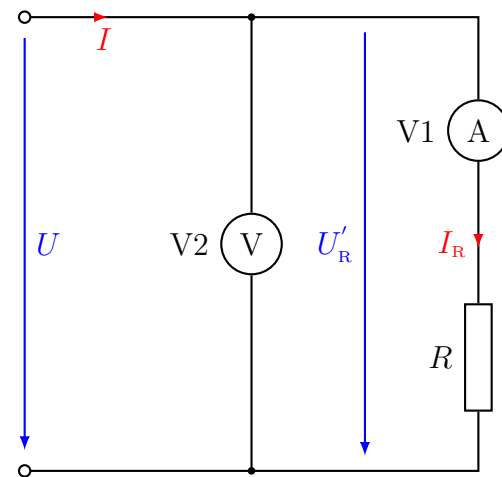


Abbildung 1.4: Stromrichtige Messschaltung

, wobei die spannungsrichtige bei kleinen zu erwartenden Wicklungswiderständen anzuwenden ist, um den sich ergebenden Messfehler möglichst gering zu halten, und die stromrichtige bei großen. Des Weiteren können, z. B. Ablesefehler, durch mehrmaliges Messen bei unterschiedlichen Strömen (bzw. Spannungen) vermieden bzw. vermindert werden.

Der Widerstand R in den Schaltungen 1.3 & 1.4 stellt dabei den jeweiligen Wicklungswiderstand dar und die „Strichwerte“ sind dabei immer die Größen, welche nur, wenn man den Messfehler abzieht, der exakten Größe entsprechen, jedoch vernachlässigbar klein sind, wenn man die richtige Messschaltung verwendet.

R	Wicklungswiderstand
I	Quellenstrom
U	Quellenspannung
U_R	Spannung am Wicklungswiderstand
I_R	Strom über den Wicklungswiderstand

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.1)$$

Im Anschluss auf die Messungen sind die „kalten“ Widerstandswerte zu Mitteln und auf Betriebstemperatur umzurechnen, was mittels folgenden Formeln durchzuführen ist:

$$R_M = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n R_i \quad (1.2)$$

$$R_W = R_K \cdot (1 + \alpha (\vartheta_W - \vartheta_K)) \quad (1.3)$$

R_M	Mittelwert der gemessenen Widerstände
n	Anzahl der Messungen
R_W	Wicklungswiderstand bei Betriebstemperatur
R_K	Wicklungswiderstand bei der Messung
α	Temperaturkoeffizient (bei Kupfer $3,93 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$)
ϑ_W	Betriebstemperatur (75°C)
ϑ_K	Temperatur bei der Messung (25°C)

Nach der erfolgreichen Bestimmung der Wicklungswiderstände sind Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$ bei unterschiedlichen Erregerströmen ($I_E = \text{konstant}$) einer fremderregten Gleichstrommaschine, sowohl im Linkslauf (LL), als auch im Rechtslauf (RL) aufzunehmen. Des Weiteren sind die Kennlinien $n = f(I_E)$ im Leerlauf bei konstant gehaltener Ankerspannung zu erfassen.

Die nächste Aufgabe besteht in der indirekten Wirkungsgradbestimmung nach dem Einzelverlustverfahren. Dafür sind folgende Verluste zu bestimmen:

1. Leerlaufverluste P_0

Dies sind jene Verluste, welche im Leerlauf zu messen sind und setzen sich aus folgenden zusammen:

$$P_0 = U_A \cdot I_{A0} \quad (1.4)$$

a) Eisenverluste P_{FE}

$$P_{FE} = P_H + P_W = P_0 - (P_R + P_{Cu0}) \quad (1.5)$$

$$P_H \sim f_A \quad (1.6)$$

$$\text{mit } B^2 \Rightarrow \sim I_E^2$$

$$P_W \sim f_A^2 \quad (1.7)$$

b) Reibungsverluste P_R

Bei der GM setzen sich diese aus Luft-, Lager- und Bürstenreibung, etc. (belastungsunabhängig) zusammen. Die Ermittlung kann mit dem Leerlaufversuch und einer Verlustauftrennung (Extrapolation) erfolgen.

c) Leerlauf-Kupfer-Verluste P_{Cu0}

Die Kupferverluste im Leerlauf lassen sich dabei folgendermaßen ermitteln:

$$P_{Cu0} = I_{A0}^2 \cdot R_A \quad (1.8)$$

, wobei R_A den Ankerwiderstand darstellt und im „leerlaufwarmen“ (kalten) Zustand zu verwenden ist.

2. Erregerverluste P_E

Dies sind jene Verluste, welche im Betrieb in der Erregerwicklung durch den Erregerstrom verursacht werden.

$$P_E = I_E^2 \cdot R_E \quad (1.9)$$

, wobei der Erregerwicklungswiderstand im warmen Zustand zu verwenden ist.

3. Lastverluste P_L

a) Kupfer-Verluste des Ankerkreises P_{Cu}

$$P_{Cu} = I_A^2 \cdot R_{iA} \quad (1.10)$$

, wobei R_{iA} im warmen Zustand zu verwenden ist.

b) Übergangsverluste am Kollektor $P_{\bar{U}}$

Auch an den Bürsten tritt ein Spannungsabfall, welcher näherungsweise

$$U_B = 1 \text{ V} \dots \dots \text{ Kohle- \& Graphitbürsten}$$

$$U_B = 0,3 \text{ V} \dots \text{ Metallbürsten}$$

beträgt, auf. Aus diesem Grund lassen sich die Bürstenverluste folgendermaßen berechnen:

$$P_{\bar{U}} = 2 \cdot I_A \cdot U_B \quad (1.11)$$

c) Zusatzverluste P_{ZUS}

Nach Vorschriften der Maschinenprüfung können zusätzliche Verluste, verursacht durch Wirbelströme, Zahnsättigung, Verschiebung der Feldverteilung bei Belastung, etc., folgendermaßen bestimmt werden:

$$P_{ZUS} = 0,01 \cdot P_{ZU} \cdot \left(\frac{I_A}{I_{AN}} \right)^2 \quad (1.12)$$

Somit lässt sich der Gesamtwirkungsgrad der Maschine folgendermaßen ermitteln:

$$\eta_{\text{indirekt}} = \frac{P_{ZU} - \sum P_V}{P_{ZU}} \cdot 100 \% \quad (1.13)$$

$$\sum P_V = P_0 + P_E + P_L \quad (1.14)$$

Zum Vergleich wird für die Berechnung des direkten Wirkungsgrades folgende Formel verwendet

$$\eta_{\text{direkt}} = \frac{P_{\text{AB}}}{P_{\text{ZU}}} \cdot 100 \% \quad (1.15)$$

, wobei die Messungenauigkeiten hierbei, vorallem bei guten Wirkungsgraden, relativ groß sind.

Zur Ermittlung der zu- & abgeführten Leistung können folgende Formeln verwendet werden:

$$P_{\text{ZU}} = U_{\text{A}} \cdot I_{\text{A}} + U_{\text{E}} \cdot I_{\text{E}} \quad (1.16)$$

$$P_{\text{AB}} \approx U_{\text{q}} \cdot I_{\text{A}} = M_{\text{i}} \cdot \omega \quad (1.17)$$

$$M = M_{\text{i}} - M_{\text{V}} \quad (1.18)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (1.19)$$

$$U_{\text{q}} = U_{\text{A}} - I_{\text{A}} \cdot R_{\text{iA}} - 2 \cdot U_{\text{B}} \quad (1.20)$$

P_{ZU}	zugeführte Leistung
P_{AB}	abgegebene Leistung
U_{q}	induzierte Ankerspannung
U_{B}	Bürstenspannung
M_{i}	innere Drehmoment
M_{V}	Verlustmoment (zur Überwindung der Eisen- und Reibungsverluste des Ankers)
M	abgegebenes Drehmoment an der Welle
ω	Winkelgeschwindigkeit
n	Drehzahl

Die nächste Aufgabe besteht in der Aufnahme von Lastkennlinien $n = f(I_A)$ für Rechtslauf, wobei die Ankerspannung und der Erregerstrom konstant zu halten sind. Die Lastregelung erfolgt somit ausschließlich durch die Erregungsänderung der Wirbelstrombremse.

Es ist somit die Drehzahl bei unterschiedlichen Ankerströmen zu erfassen, wobei die Maschine zuerst als fremderregter Motor und danach als Doppelschlussmotor (Kompoundmotor) zu betreiben ist. Es sind also die Kennlinien von einer

1. unkompoundierten (fremderregte Gleichstrommaschine),
2. mitkompoundierten ($\phi_{Eges} > \dots n <$) und
3. gegenkompoundierten ($\phi_{Eges} < \dots n >!$)

GM zu erfassen.

Der Sinn eines Doppelschlussmotors liegt darin, dass ein Reihen- & Nebenschlussverhalten vereint wird. Bei einer normalen Kompoundierung erfolgt dabei die Auslegung so, dass ein leichter Drehzahlabfall, durch den Spannungsabfall an den Wicklungswiderständen, bei Belastung erreicht wird. Die Hilfsreihenschlusswicklung setzt somit den Einfluss der Ankerrückwirkung (AR) herab und somit sollen Instabilitäten verhindert werden.

2 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bez.	Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
V1	Analoges Multimeter	GANZUNIV 1	A-03.2/01
V2	Analoges Multimeter	GANZUNIV 1	A-03.2/04
V3	Digitales Multimeter	ESCORT 97	A-06.1/03
V4	Analoges Multimeter	GANZUNIV 1	—
V5	Analoges Multimeter	GANZUNIV 1	—
V6	Analoges Messgerät	Messgerät zur Messung des Erregerstromes, eingebaut in einem Steckbrett	A-03.2/05
GM	Gleichstrommaschine	siehe Typenschild	—
WB	Wirbelstrombremse	siehe Kap. 1	—
SP1	Steuerpult	variable Gleichspannung 0 – 250 V, 30 A	—
SP2	Steuerpult	variable Gleichspannung 0 – 250 V, 30 A	—
V7	Drehzahlmessgerät	testo 470, $n = 1 - 99999 \text{ U/min}$	—

Tabelle 2.1: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

3 Messungen der Wicklungswiderstände

Die Wicklungswiderstände wurden auf zwei Arten erfasst, wobei aufgezeigt wird, dass mit Hilfe eines Digitalmultimeters keine kleinen Wicklungswiderstände erfasst werden sollten. ☺

Zur Erfassung des Wicklungswiderstandes der Ankerwicklung R_A wurde die spannungsrichtige Messschaltung Abb. 1.3 verwendet, wobei drei Messungen bei unterschiedlichen Ankerströmen durchgeführt wurden und im Anschluss darauf wurde mit der Formel 1.1 der kalte Widerstandswert der Messung ermittelt. Danach erfolgt die Mittlung mit 1.2 und mit 1.3 kann der Wert bei Betriebstemperatur berechnet werden.

I	U	R_{AKi}	R_{AK}	R_{AW}
[A]	[V]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
6,00	4,80	0,80	0,75	0,90
7,00	5,20	0,74		
8,00	5,70	0,71		

Tabelle 3.1: Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Ankerwicklung

Die Messung mit dem digitalen Widerstandsmessgerät V3 führte zu einem kalten Widerstandswert von $2,3\Omega$, was weit entfernt von dem der Strom-Spannungs-Messung liegt und somit keine Bedeutung hat.

Des Weiteren wurden mit der spannungsrichtigen Messmethode der Reihenschluss-, Wendepol- und der Wicklungswiderstand der Wirbelstrombremse gemessen, was folgende Werte ergab:

I	U	$R_{E_{RK}}$	$R_{E_{RW}}$
[A]	[V]	[Ω]	[Ω]
8,00	3,25	0,41	0,49

Tabelle 3.2: Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Reihenschlusswicklung

I	U	R_{WK}	R_{WW}
[A]	[V]	[Ω]	[Ω]
8,00	16,55	2,07	2,48

Tabelle 3.3: Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Wendepolwicklung

I	U	R_{WBK}	R_{WBW}
[A]	[V]	[Ω]	[Ω]
3,00	63,00	21,00	25,13

Tabelle 3.4: Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Wirbelstrombremse

Die Messungen mit dem Widerstandsmessgerät V3 ergaben hierbei jeweils Widerstandswerte, welche sehr stark von denen der Strom-Spannungs-Messmethode abweichen, weshalb diese natürlich keine Relevanz für uns haben.

Für die Messung des Wicklungswiderstandes der Nebenschlusserregerwicklung wurde die stromrichtige Schaltung 1.4 verwendet, was folgenden Wert ergab:

I	U	$R_{\text{EN}_{\text{Ki}}}$	$R_{\text{EN}_{\text{K}}}$	$R_{\text{EN}_{\text{W}}}$
[A]	[V]	$[\Omega]$	$[\Omega]$	$[\Omega]$
0,10	44,50	445,00	445,56	533,11
0,20	89,00	445,00		
0,30	134,00	446,67		

Tabelle 3.5: Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Nebenschlusswicklung

Die Messung des Widerstandsmessgerätes V3 ergab einen kalten Wicklungswiderstand von 449Ω , welchen man als akzeptabel ansehen kann, da er nur 0,77% abweicht.

4 Leerlaufversuch einer fremderregten GM

4.1 Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$

4.1.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

Die nachfolgende Messschaltung Abb. 4.1 dient zur Aufnahme von Leerlaufkennlinien einer Gleichstrommaschine, wobei die Schaltung den Rechtslauf (RL) der Maschine aufzeigt und beispielsweise die Erregerspannung für den Linkslauf (LL) umgepolt werden muss.

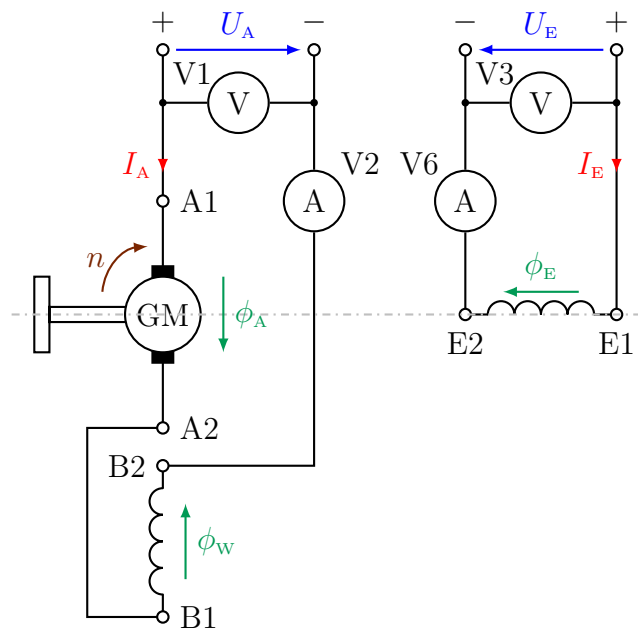


Abbildung 4.1: Messschaltung zum Leerlaufversuch

Dabei wurde die Erregerwicklung an, die am Arbeitsplatz vorhandene variable Spannung gelegt und die Ankerwicklung wurde am Steuerpult SP1 angeschlossen.

4.1.2 Versuchsdurchführung & Messungen

Zu Beginn wird nun die Erregerspannung eingeschaltet und soweit erhöht, bis ein gewisser Erregerstrom erreicht wird, was bei uns entweder 200 mA oder 350 mA entsprachen. Im Anschluss darauf wurde der Ankerkreis erfolgreich zugeschaltet und langsam erhöht, wobei in regelmäßigen Abständen die Drehzahl n , mit dem Handdrehzahlmessgerät V7, und die Ankerspannung U_A erfasst wurden. Dies wurde in beiden Drehrichtungen durchgeführt, was folgende Messtabelle ergab:

Rechtslauf (RL)				Linkslauf (LL)			
$I_E = 350 \text{ mA}$		$I_E = 200 \text{ mA}$		$I_E = 350 \text{ mA}$		$I_E = 200 \text{ mA}$	
U_A	n	U_A	n	U_A	n	U_A	n
[V]	[min ⁻¹]	[V]	[min ⁻¹]	[V]	[min ⁻¹]	[V]	[min ⁻¹]
42,50	400	32,00	397	42,00	404	32,50	400
62,80	600	48,50	601	63,00	602	48,00	606
83,50	803	64,25	804	82,90	803	63,00	802
104,00	1006	79,50	1000	102,10	996	78,50	1000
123,00	1194	95,00	1204	124,00	1205	96,00	1200
139,00	1403	110,75	1400	142,00	1402	109,50	1405

Tabelle 4.1: Messtabelle für die Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$

Diese Messwerte der Tabelle 4.1 lassen sich auch graphisch mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel darstellen. Dabei wurde eine lineare Regression durch den Nullpunkt, da es für die induzierte Spannung gilt:

$$U_q = k_E \cdot \phi \cdot n \quad (4.1)$$

, durchgeführt.

- U_q induzierte Spannung
 k_E Maschinenkonstante, abhängig von der Leiteranzahl der Ankerwicklung, der Polpaarzahl und der parallel geschalteten Zweige.
 ϕ magnetischer Fluss

Die nachfolgende Abbildung zeigt die graphische Auswertung dieses Versuches, wobei zwischen Links- und Rechtslauf „fast“ keine Unterschiede vorliegen.

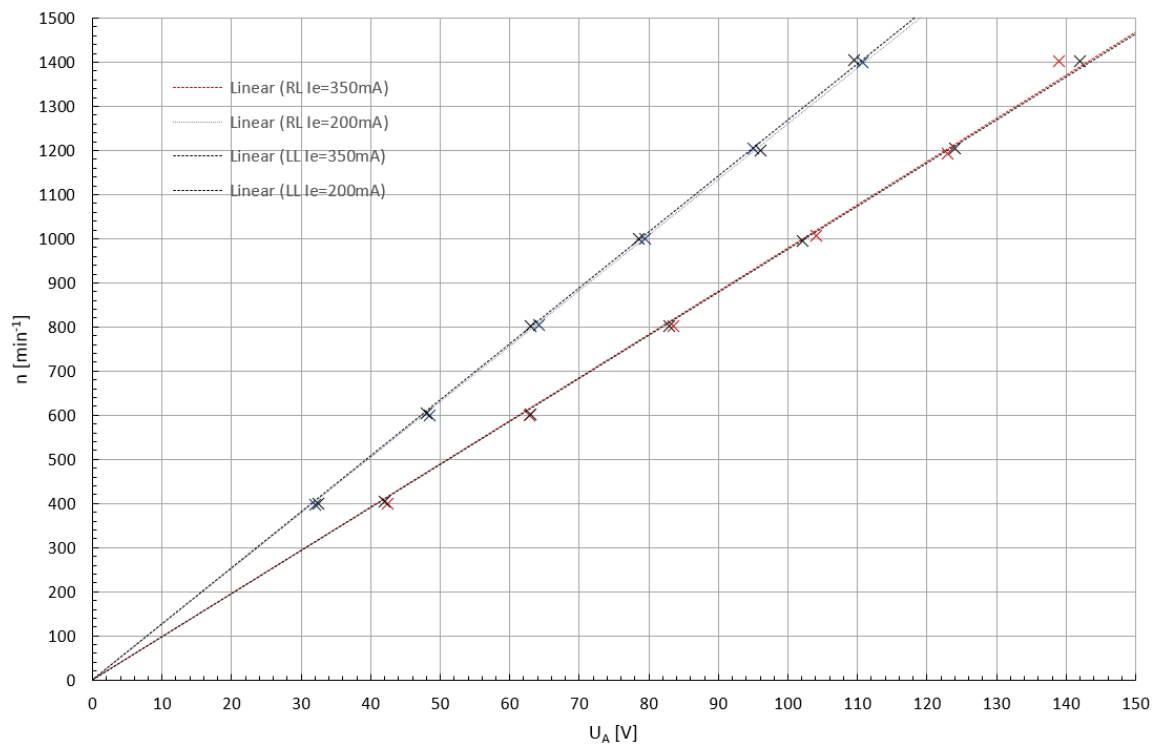


Abbildung 4.2: Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$

Die Linearität dieser Kennlinie lässt sich dadurch begründen, dass für die Drehzahl (Bürstenspannungen vernachlässigt) gilt:

$$n = \frac{U - I_A R_{i_A}}{k_E \cdot \phi} \quad (4.2)$$

U Klemmenspannung

4.1.3 Auswertung

Dieser Versuch zeigte, dass bei einer fremderregten Gleichstrommaschine die Drehzahl mit Erhöhung der Ankerspannung steigt und je kleiner der Erregerstrom ist, desto steiler ist die Kennlinie

4.2 Leerlaufkennlinien $n = f(I_E)$

4.2.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

Die Messschaltung ist dem Kapitel 4.1.1 zu entnehmen und es ist im Rechtslauf die Leerlaufkennlinie $n = f(I_E)$ bei einer konstantgehaltenen Ankerspannung von $U_A = 55 \text{ V}$ aufzunehmen.

4.2.2 Versuchsdurchführung & Messungen

Zu Beginn dieses Versuches wird nun der Erregernennstrom eingestellt und dann wird die Ankerspannung auf den festgelegten Wert erhöht. Nun kann bei unterschiedlichen Erregerströmen, unter der Berücksichtigung, dass die Ankerspannung konstant gehalten wird, die Drehzahl n erfasst werden. Der kleinste Erregerstrom wurde ungefähr bei der Nenndrehzahl der Maschine festgelegt und die Messtabelle hat folgende Form:

Rechtslauf (RL)	
$U_A = 55, \text{ V}$	
I_E	n
[mA]	[min ⁻¹]
100	1400
150	919
200	737
250	640
300	577
350	536

Tabelle 4.2: Messtabelle für die Leerlaufkennlinie $n = f(I_E)$

Die graphische Auswertung zeigt folgende Leerlaufkennlinie einer fremderregten GM bei konstantgehaltener Ankerspannung:

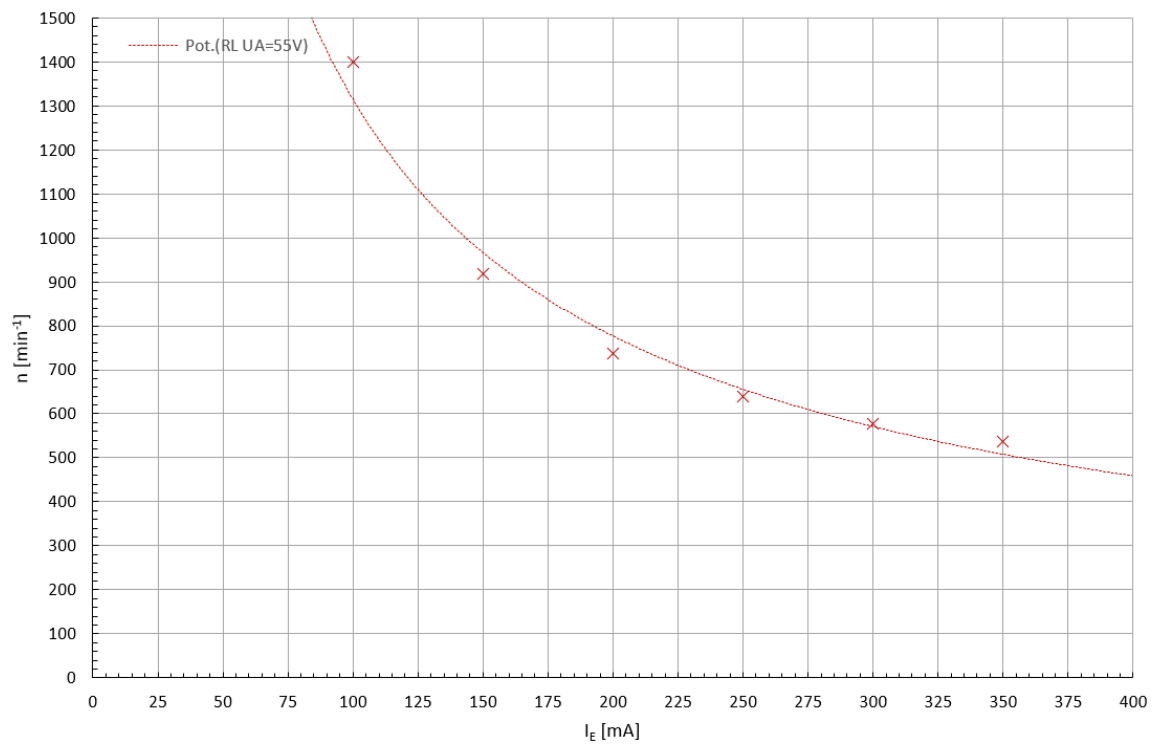


Abbildung 4.3: Leerlaufkennlinie $n = f(I_E)$

4.2.3 Auswertung

Es zeigte sich in diesem Kapitel, dass die Drehzahl von dem Erregerstrom umgekehrt proportional abhängig ist, was sich auch durch die Formel 4.2 erklären lässt.

4.3 Wirkungsgradbestimmung

4.3.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

Die, für diesen Versuch notwendige Messschaltung ist erneut dem Kap. 4.1.1 zu entnehmen und es ist bei unterschiedlichen Erregerströmen und konstant gehaltener Drehzahl die Ankerspannung und -strom im Leerlauf zu messen, um daraus die Leerlaufverluste ermitteln zu können.

4.3.2 Versuchsdurchführung & Messungen

Es ist erneut zuerst die Erregung auf Erregerennennstrom einzuschalten und danach die Ankerspannung, durch zuschalten des Steuerpults SP1. Nun können bei unterschiedlichen Erregerströmen die Ankerspannung und der Ankerstrom erfasst werden, was folgende Messtabelle ergab, wobei mit den Formeln 1.4 & 1.8 die Leerlaufverluste und Leerlauf-Kupfer-Verluste ermittelt wurden, und die Drehzahl immer konstant auf n_N gehalten wurde:

Rechtslauf (RL)				
I_E [mA]	U_A [V]	I_{A0} [A]	P_o [W]	P_{Cu0} [W]
150	84,5	1,30	109,85	5,70
250	120,0	1,05	126,00	3,72
350	145,0	1,00	145,00	3,37

Tabelle 4.3: Mess- und Rechentabelle für die Wirkungsgradbestimmung

4.3.3 Extrapolation zur Erfassung der Reibungsverluste und Berechnungen

Durch eine Auftrennung der Verlust konnten Reibungsverluste von

$$P_R = 102,83 \text{ W}$$

aus dem nachfolgendem Diagramm, wobei mit Excel eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt wurde, entnommen werden.

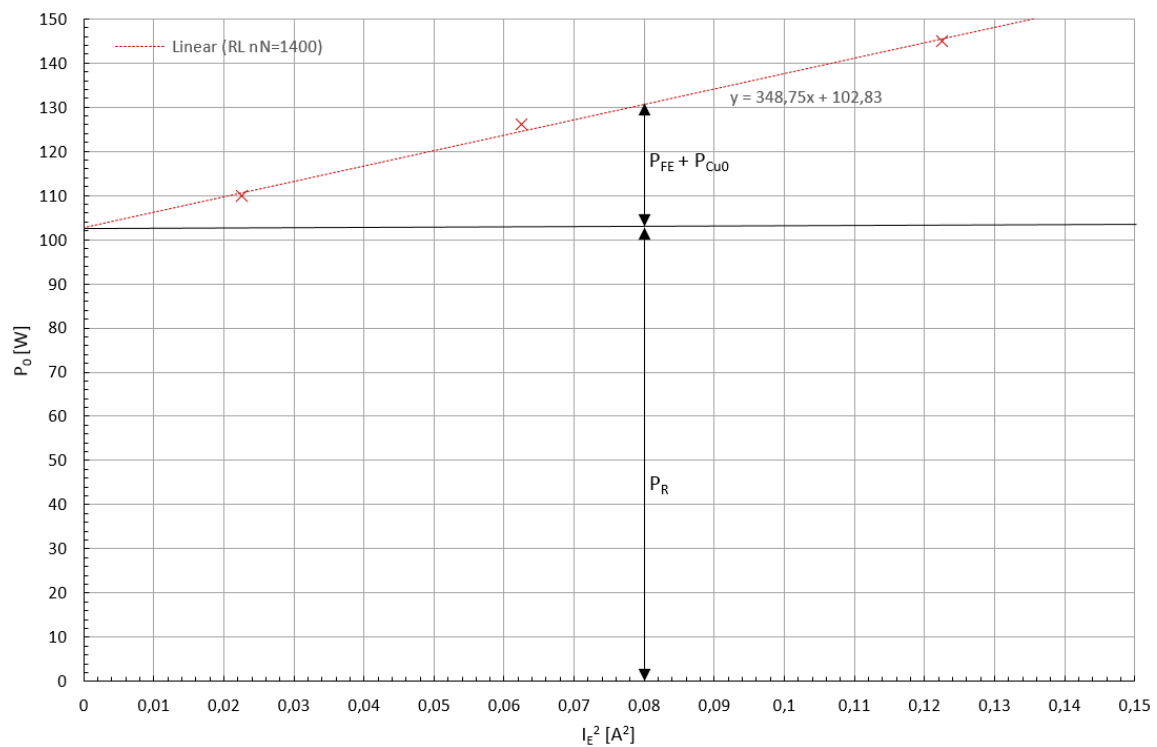


Abbildung 4.4: Extrapolation zur Erfassung der Reibungsverluste

Nun können die Eisenverluste mit der Formel 1.5 ermittelt werden, was

$$P_{FE} = 38,80 \text{ W}$$

ergibt.

Für die Berechnung des Wirkungsgrades eines fremderregten Gleichstrommotors werden nun noch die fehlenden Verluste mit den Formeln im Kapitel *Einleitung* berechnet:

$$P_E = I_{E_N}^2 \cdot R_{E_{NW}} = (0,35 \text{ A})^2 \cdot 533,11 \Omega = 65,31 \text{ W}$$

$$P_{Cu} = I_{A_N}^2 \cdot R_A = (20 \text{ A})^2 \cdot R_{AW} = (20 \text{ A})^2 \cdot 0,90 \Omega = 360 \text{ W}$$

$$P_{\dot{U}} = 2 \cdot I_{A_N} \cdot U_B = 2 \cdot 20 \text{ A} \cdot 1 \text{ V} = 40 \text{ W}$$

$$P_{ZU} = U_{A_N} \cdot I_{A_N} + U_{E_N} \cdot I_{E_N} = 150 \text{ V} \cdot 20 \text{ A} + 220 \text{ V} \cdot 0,35 \text{ A} = 3077 \text{ W}$$

$$P_{ZUS} = 0,01 \cdot P_{ZU} \cdot \left(\frac{I_A}{I_{A_N}} \right)^2 = 0,01 \cdot 3000 \text{ W} = 30,77 \text{ W}$$

$$\sum P_v = P_0 + P_E + P_L = (P_0) + (P_E) + (P_{Cu} + P_{\dot{U}} + P_{ZUS}) = 641 \text{ W}$$

Somit ergibt sich folgender indirekter Wirkungsgrad:

$$\eta_{\text{indirekt}} = \frac{P_{ZU} - \sum P_v}{P_{ZU}} \cdot 100 \% = \frac{3077 \text{ W} - 641 \text{ W}}{3077 \text{ W}} \cdot 100 \% = 79,17 \%$$

Als Vergleich wird noch der Direkte berechnet:

$$\eta_{\text{direkt}} = \frac{P_{AB}}{P_{ZU}} \cdot 100 \% = \frac{2500 \text{ W}}{3077 \text{ W}} \cdot 100 \% = 81,25 \%$$

4.3.4 Auswertung

Wir konnten durch diesen Versuch feststellen, dass diese Gleichstrommaschine einen Wirkungsgrad von rund 80 % aufweist und es eine Abweichung zwischen direkten und indirekten η gibt, was einerseits daran liegt, dass wir die abgegebene Leistung nicht exakt berechnet (bzw. gemessen) haben. Für uns relevant ist, auch dadurch, der indirekte Wirkungsgrad von 79 %.

5 Lastversuch einer GM

5.1 Unkompoundierte GM

5.1.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

In diesem Versuch handelt es sich um eine unkompoundierte, fremderregte Gleichstrommaschine, wie sie auch im Kap. 4 ersichtlich ist, jedoch unter Belastung. Die Belastung stellt eine Wirbelstrombremse dar, welche mit dem Steuerpult SP2 mit Leistung versorgt wird.

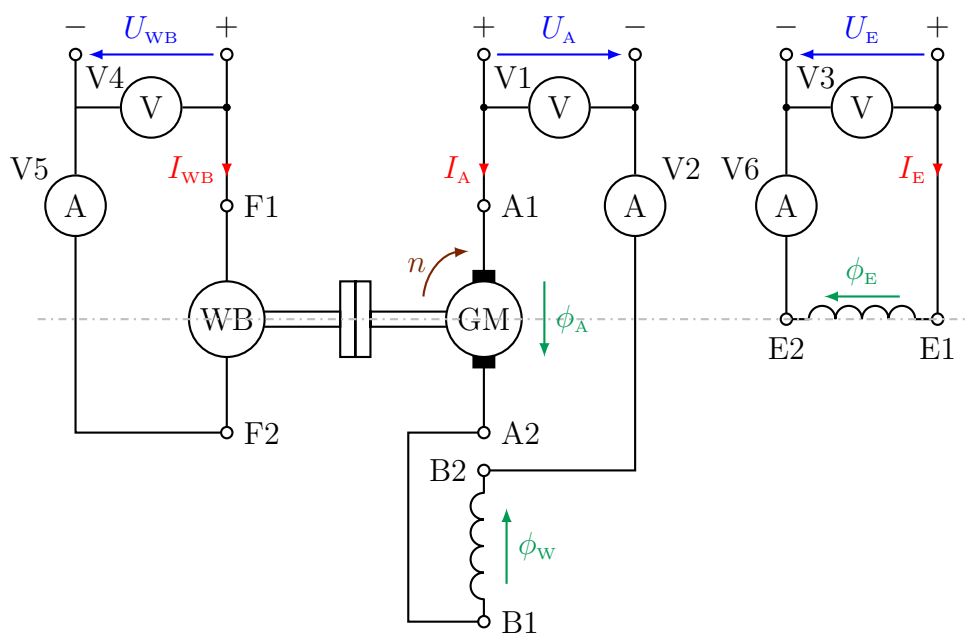


Abbildung 5.1: Messschaltung zum Lastversuch (unkompoundiert)

5.1.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Bei diesem Versuch ist die Gleichstrommaschine in Leerlauf hochzufahren und im Anschluss darauf wird die Wirbelstrombremse dazugeschaltet. Durch langsames erhöhen der Spannung U_{WB} kann die Lastkennlinie $n = f(I_{\text{A}})$ aufgenommen werden, indem jeweils der Ankerstrom und die Drehzahl schrittweise gemessen wird.

Rechtslauf (RL)	
$I_{\text{E}} = 350, \text{ mA}$	
I_{A}	n
[A]	[min ⁻¹]
1	1400
5	1340
10	1264
15	1204
20	1140

Tabelle 5.1: Messtabelle für die Lastkennlinie $n = f(I_{\text{A}})$ (unkompoundiert)

Die graphische Darstellung zeigt, dass mit der Erhöhung der Belastung die Drehzahl absinkt, was typisch für fremderregte Gleichstrommotoren ist.

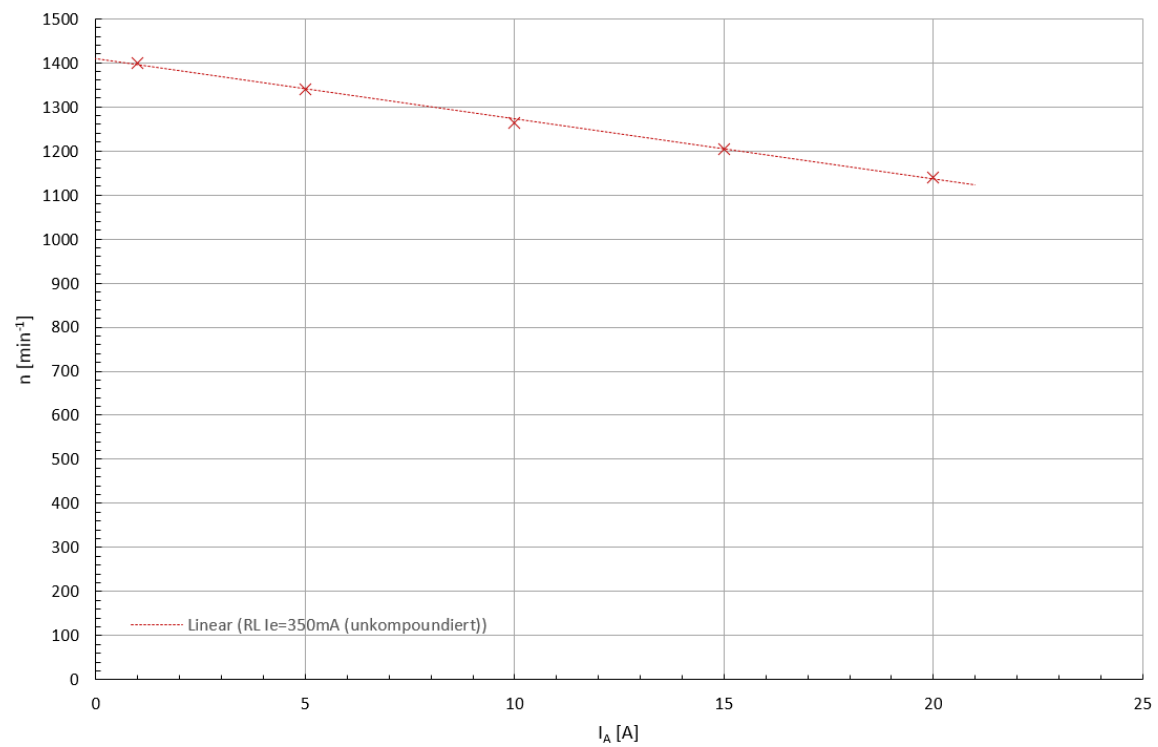


Abbildung 5.2: Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (unkompoundiert)

5.2 Mitkompoundierte GM

5.2.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

Die nachfolgende Schaltung zeigt nun einen Doppelschlussmotor und die Aufgabe besteht wieder in der Aufnahme der Lastkennlinie bei Rechtslauf (RL).

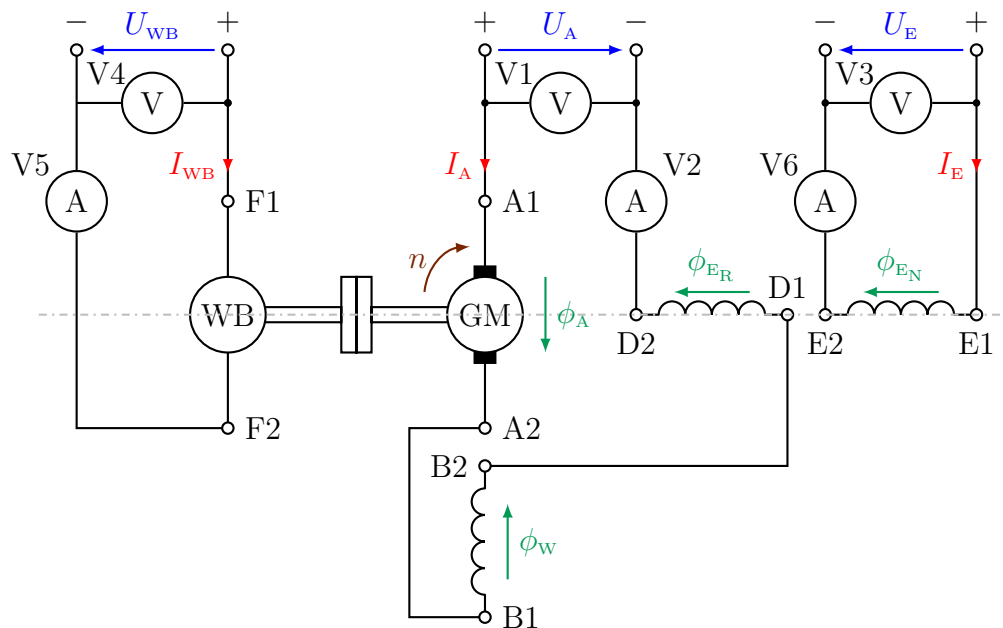


Abbildung 5.3: Messschaltung zum Lastversuch (mitkompoundiert)

Das Erregerfeld wird nun durch den Anstieg des Ankerstromes miterhöht, weshalb diese Wicklung auch Hilfsreihenschlusswicklung genannt wird und Instabilitäten verhindern soll.

5.2.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Erneut wird nun zuerst die GM ohne Belastung hochgefahren und danach wird die Wirbelstrombremse WB zugeschaltet und schrittweise wird nun die Lastkennlinie wieder aufgenommen, was folgende Tabelle ergab:

Rechtslauf (RL)	
$I_E = 350, \text{mA}$	
I_A	n
[A]	[min ⁻¹]
1	1400
5	1330
10	1234
15	1164
20	1065

Tabelle 5.2: Messtabelle für die Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (unkompoundiert)

Die nachfolgende Abbildung zeigt nun die Lastkennlinie eines mitkompoundierten Gleichstrommotors.

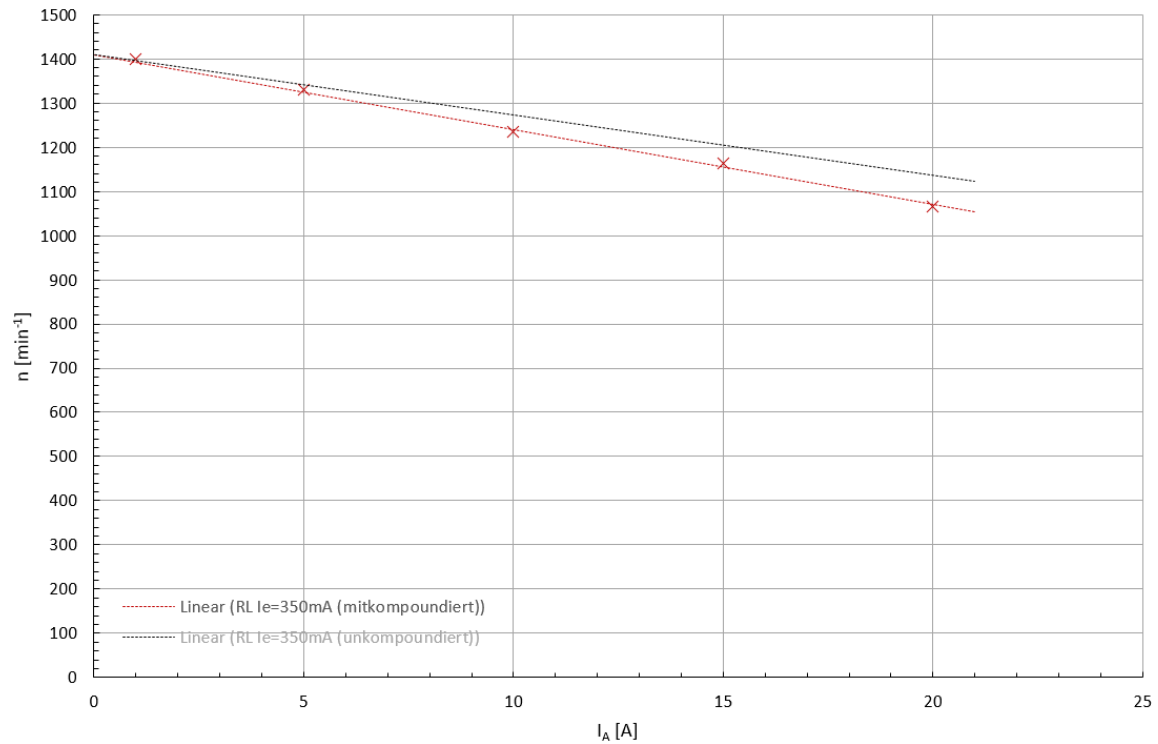


Abbildung 5.4: Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (mitkompoundiert)

Der Einfluss der Reihenschlusserregerwicklung kommt erst bei Belastung der Maschine zum Tragen und es zeigt sich in der obigen Abbildung, dass eine Schaltung mit Feldverstärkung drehzahlensenkend wirkt.

5.3 Gegenkompoundierte GM

5.3.1 Aufgabenstellungen & Messschaltung

Die Messschaltung für diesen Versuch hat folgende Form, wobei nur die Anschlüsse D1 & D2 gegenüber der im Kap. 5.2 vertauscht sind:

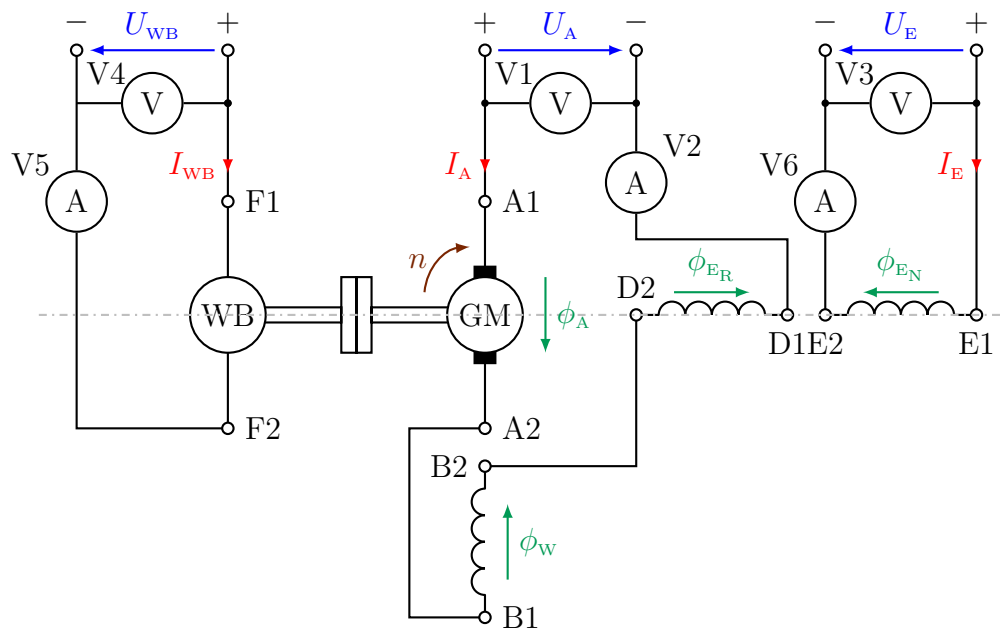


Abbildung 5.5: Messschaltung zum Lastversuch (gegenkompoundiert)

Die Durchführung ist gleich der im vorherigen Kapitel, jedoch wurde unterlief ein Fehler beim Anschluss der Klemmen und die Zeit genügte nicht mehr diesen Versuch zu vollenden und wir mussten nun dieses Projekt beenden.

Als Hinweis zur Durchführung dieses Versuches: Es ist bei der Erhöhung der Belastung darauf Acht zu geben, dass dies nicht zu schnell gemacht wird, da die Lastkennlinie ca. folgenden Verlauf zeigen wird:

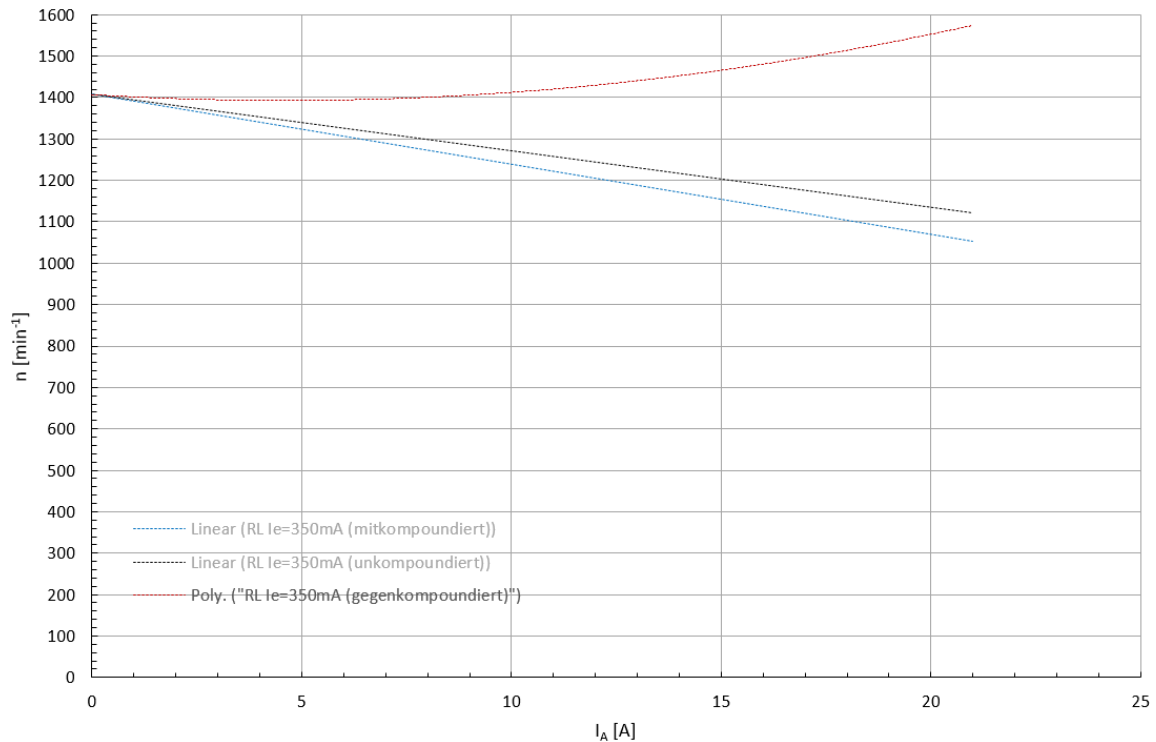


Abbildung 5.6: „Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (gegenkompoundiert) “

, sprich eine feldschwächende Schaltung wirkt drehzahlsteigernd und zwar umso stärker je stärker die Maschine belastet wird!

5.4 Auswertung

Durch diesen Versuch konnten wir die unterschiedlichen Wirkungsweisen von der Kompoundwicklung erkennen, wobei es Schade ist, dass uns ein Fehler beim letzten (spannendsten ☺) Versuch unterlaufen ist.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Typenschild der Gleichstrommaschine	1
1.2	Typenschild der Wirbelstrombremse	1
1.3	Spannungsrichtige Messschaltung	2
1.4	Stromrichtige Messschaltung	2
4.1	Messschaltung zum Leerlaufversuch	12
4.2	Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$	15
4.3	Leerlaufkennlinie $n = f(I_E)$	17
4.4	Extrapolation zur Erfassung der Reibungsverluste	19
5.1	Messschaltung zum Lastversuch (unkompoundiert)	21
5.2	Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (unkompoundiert)	23
5.3	Messschaltung zum Lastversuch (mitkompoundiert)	24
5.4	Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (mitkompoundiert)	26
5.5	Messschaltung zum Lastversuch (gegenkompoundiert)	27
5.6	„Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (gegenkompoundiert) “	28

Tabellenverzeichnis

2.1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	8
3.1	Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Ankerwicklung	9
3.2	Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Reihenschlusswicklung	10
3.3	Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Wendepolwicklung	10
3.4	Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Wirbelstrombremse	10
3.5	Mess- & Rechentabelle zur Bestimmung des Wicklungswiderstandes der Nebenschlusswicklung	11
4.1	Messtabelle für die Leerlaufkennlinien $n = f(U_A)$	14
4.2	Messtabelle für die Leerlaufkennlinie $n = f(I_E)$	16
4.3	Mess- und Rechentabelle für die Wirkungsgradbestimmung	18
5.1	Messtabelle für die Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (unkompoundiert)	22
5.2	Messtabelle für die Lastkennlinie $n = f(I_A)$ (unkompoundiert)	25

Literaturverzeichnis

- [1] **Rolf Fischer:** Elektrische Maschinen. München 2011,
15., aktualisierte Auflage, Carl-Hanser Verlag, ISBN: 978-3-446-42554-5

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AR	Ankerrückwirkung
Bez.	Bezeichnung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
etc.	et cetera
GM	Gleichstrommaschine
HTBL u. VA	höhere technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt
Kap.	Kapitel
Nr.	Nummer
OStR	Oberstudienrat
z. B.	zum Beispiel