



Titel des Projektes
GLEICHSTROMMASCHINE ALS MOTOR

Mitglieder:
LABENBACHER MICHAEL
KIENINGER DOMINIK
IBRAHIM IBRAGIMOV

Projektort: HTBLuVA in St. Pölten

Projektdatum: 13. April 2015

Projektnummer: 13

Projektgruppe: 3

Unterrichtsgegenstand: Laboratorium

Jahrgang/Klasse: 2014/15 4AHET

Lehrer: Dipl.-Ing. Dr. Manfred Berger

<i>Protokollführer</i>	<i>Unterschriften</i>	<i>Note</i>
<i>Labenbacher</i>		

Inhaltsverzeichnis

1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
2	Gleichstrommaschine als Motor	8
2.1	Allgemeines	8
2.2	Wicklungswiderstandsbestimmung	9
2.2.1	Aufgabenstellungen	9
2.2.2	Schaltungsentwicklung	9
2.2.3	Messvorgang & Auswertung	10
2.3	Leerlaufversuch	11
2.3.1	Aufgabenstellungen	11
2.3.2	Schaltungsentwicklung	12
2.3.3	Messvorgang & Auswertung	14
2.4	Belastungsversuch	16
2.4.1	Aufgabenstellungen	16
2.4.2	Messvorgang & Auswertung	16

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
2	Messtabelle zur Berechnung der Wicklungswiderstände	10
3	Messtabelle beim Leerlaufversuch für $n = f(I_{\text{EN}}) = f(U_{\text{EN}})$	14
4	Messtabelle beim Leerlaufversuch für $n = f(I_{\text{A}}) = f(U_{\text{A}})$	15
5	Arbeitspunkt der Gleichstrommaschine GM1	16

Abbildungsverzeichnis

1	Typenschild der GM1	5
2	Gleichstrommaschine GM1	5
3	Maschinenprüfsystem P6	6
4	Steuergerät	6
5	Schaltung zur Ermittlung der Wicklungswiderstände	9
6	Messschaltung zum Leerlaufversuch einer Gleichstrommaschine als Motor	12
7	Leerlaufkennlinie von $n = f(I_{\text{EN}}) = f(U_{\text{EN}})$	14
8	Leerlaufkennlinie von $n = f(I_{\text{A}}) = f(U_{\text{A}})$	15

1 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bezeichnung/Nr.	Gerät/Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
P1	Amperemeter	Ganzuniv 1	E-03.1/05
P2	Amperemeter	Ganzuniv 1	E-03.1/06
P3	Digitalmultimeter	Extech True RMS Multimeter 420	E-01.1/02
P4	Digitalmultimeter	Extech True RMS Multimeter 420	E-01.1/03
P5	Digitalmultimeter	Mastech MY-68	G-11.1/05
$R_{\text{Leist } 1}$	Leistungswiderstand	Benedikt & Jäger Typ sw 60/5 Nr. 033 440 $\Omega \pm 10\%$ 1, 1 A	—
$R_{\text{Leist } 2}$	Leistungswiderstand	Benedikt & Jäger Typ sw 60/5 Nr. 033 440 $\Omega \pm 10\%$ 1, 1 A	—
$R_{\text{Leist } 3}$	Leistungswiderstand	Benedikt & Jäger Typ DW80 Nr. 931904 31 Ω 5, 3 A	—
T1	DC-Netzgerät	GW Model: GPC-3030D	EA-02/02
T2	DC-Netzgerät	EMI Electronic Measurement INC. DC Power Supply 300V 5A	AA-7/21
GM1	Gleichstrommaschine	* ¹⁾	—
P6	Maschinenprüfsystem	* ²⁾	—

Tabelle 1: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

*¹) Gleichstrommaschine:

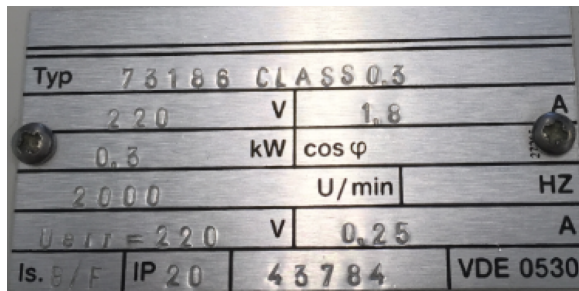


Abbildung 1: Typenschild der GM1

Typ 73186 CLASS 0.3
 Ankernennspannung 220 V
 Ankernennstrom 1,8 A
 Nennleistung 0,3 kW
 Nenndrehzahl 2000 min⁻¹
 Erregernennspannung 220 V
 Erregernennstrom 0,25 A
 Schutzart IP 20

Die verwendete Verbundmaschine 0,3 von LEYBOLD[®] 731 86 weist folgendes Bild auf,

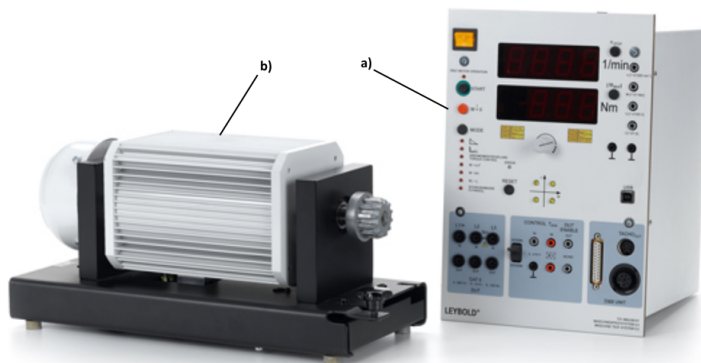


Abbildung 2: Gleichstrommaschine GM1

und sie ist als Neben-, Reihen- oder Doppelschlussmaschine einsetzbar. Des Weiteren ist eine Kompoundierung möglich und Klemmen (rot) für die Temperaturüberwachung mit Hilfe des Maschinenprüfsystemes sind angebracht.

*²) Maschinenprüfsystem:

Das verwendete Maschinenprüfsystem 0,3 von LEYBOLD[®] 731 939USB weist folgendes Bild auf:



a) Steuergerät 731 989USB 01

b) Antriebs- & Bremseinheit 731 989USB 02

Abbildung 3: Maschinenprüfsystem P6

Die Antriebswelle des Gleichstrommotors GM1 ist nun über eine passende Kupplung mit der Antriebs- & Bremseinheit des Maschinenprüfsystemes zu verbinden. Diese Einheit wiederum ist über eine 25-polige Datenleitung mit D-Sub-Stecker mit dem Steuergerät zu verbinden, um die Daten des integrierten inkrementalen Tachogenerators, der Drehmomenten-Messelektronik und der Sicherheitschaltkreise innerhalb der Antriebs- & Bremseinheit auswerten zu können. Die Versorgung dieser Einheit erfolgt durch das Steuergerät über ein festes Anschlusskabel mit 7-poligem Rundsteckverbinder

Nun noch kurz die wichtigsten Informationen zur Übung über das Steuergerät:

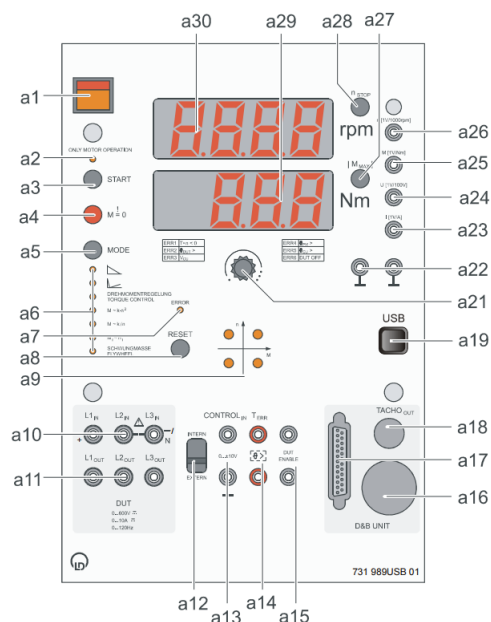


Abbildung 4: Steuergerät

Die bei dieser Übung verwendeten Elemente des Steuergerätes:

- a1) Ein-/ Ausschalter für die Steuerelektronik und die Versorgungsspannungen der Antriebs- & Bremseinheit.
- a3) Taster zum START der Kennlinienaufnahme.
- a4) Der Taster $M = 0$ dient zum Unterbrechen beliebiger Betriebszustände. Gleichzeitig steht in der Drehmomentanzeige OFF. Die Antriebs- und Bremseinheit entwickelt kein Drehmoment mehr, bleibt stehen. Eine Betätigung des Tasters $M = 0$ bewirkt also zu jeder Zeit eine Entlastung des Maschinensatzes. Durch erneutes Drücken des Tasters $M = 0$ wird das Steuergerät wieder aktiviert.
- a5) Betriebsartenumschalter (MODE)
Bei jeder Betätigung wird zyklisch auf die nächste Betriebsart umgeschaltet. Die aktuelle Betriebsart wird durch eine der Leuchtdioden für die Betriebsarten (a6) angezeigt.
- a9) Vierquadranten-Anzeige
Anzeige der Momentanen Belastungsart des Prüflings.

Quadrant	Belastungsart	Drehrichtung
1.Quadrant	Motorbetrieb	rechts
2.Quadrant	Generatorbetrieb	links
3.Quadrant	Motorbetrieb	links
4.Quadrant	Generatorbetrieb	rechts

- a14) Temperaturüberwachung der Maschine T_{ERR}
Dieser Eingang ist mit dem Thermokontakt der Maschine zu verbinden. Diese Verbindung ist immer herzustellen, da sonst kein Überlastschutz für die Maschine besteht.
- a16) Anschlussbuchse für die Energieversorgung der Antriebs- & Bremseinheit
- a17) Anschlussbuchse für die Steuerleitung zur Antriebs- & Bremseinheit
- a21) Inkrementaldrehgeber zur Änderung des Sollwertes und/oder der Limits (Grenzwerte) der Drehzahl bzw. des Drehmoments.
- a29) Dreistellige 7-Segmentanzeige zur Darstellung des Drehmomentes.
- a30) Vierstellige 7-Segmentanzeige zur Darstellung der Drehzahl.

2 Gleichstrommaschine als Motor

2.1 Allgemeines

Am Beginn ist einmal anzumerken, dass uns nur weniger als zwei Unterrichtsstunden (anstatt vier) zur Verfügung standen und wir deshalb einige Übungen nicht durchführen konnten.

Das Ziel dieses Projektes ist es, das Verhalten einer Gleichstrommaschine besser verstehen und die Auswirkungen von den einzelnen Parameter auch praktisch kennen zu lernen.

Als Übungsprojekt dient eine Doppelschlussmaschine (Compoundmaschine), dessen Sinn darin liegt, dass das Verhalten von Reihen- & Nebenschlussmaschinen vereint wird. Diese Maschinen sind bis ca. zum Nennmoment stabil und es tritt bis zum Bemessungsmoment keine wesentliche Feldverzerrung auf. (Nach M_N instabil)

Die Übung setzt sich im Allgemeinen folgendermaßen zusammen, wobei die eingeklammerten Punkte nicht, bzw. nur „teilweise“ durchgeführt werden konnten:

1. Daten vom Typenschild ablesen
2. Wicklungswiderstände messen
3. Leerlaufkennlinien aufnehmen
- (4.) Belastungsversuch durchführen
- (5.) Hochlaufvorgang als Lastanlauf analysieren
- (6.) Generatorbetrieb (Belastungskennlinien aufnehmen)

2.2 Wicklungswiderstandsbestimmung

2.2.1 Aufgabenstellungen

Die erste Aufgabe besteht darin, die einzelnen Wicklungswiderstände der Wicklungen der Gleichstrommaschine GM1 zu erfassen, damit diese für weitere Berechnungen zur Verfügung stehen. Dafür ist eine geeignete Messschaltung zu entwickeln und im Anschluss darauf können die Messungen ausgewertet werden.

2.2.2 Schaltungsentwicklung

Nun wurde folgende, spannungsrichtige Messschaltung zur Erfassung von den einzelnen Wicklungswiderständen entwickelt. Dabei wurde nur der Teil der jeweiligen Wicklung dargestellt, der für diese Messung mit Gleichspannung eine „wichtige“ Rolle spielt:

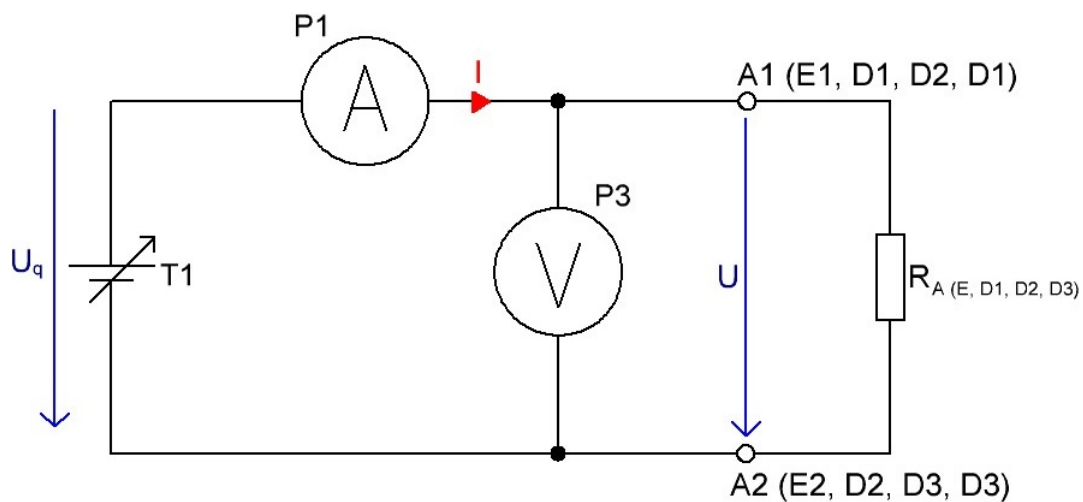


Abbildung 5: Schaltung zur Ermittlung der Wicklungswiderstände

In der Schaltung Abb. 5 nicht eingezeichnet, aber wie immer vorhanden, ist die PE-Verbindung zwischen der Gleichstrommaschine GM1 und dem Netzgerät T1.

U_q	Quellspannung vom Netzgerät T1
U_B	Bürstenspannungsabfall bei der Ankerwicklung
U	Spannung am Wicklungswiderstand
I	Strom über den Wicklungswiderstand
R_A	Ankerwiderstand
R_{EN}	Nebenschluss-Erregerwicklungswiderstand
$R_{D1,2}$	Reihenschluss-Erregerwicklungswiderstand zwischen D1-D2
$R_{D1,3}$	Reihenschluss-Erregerwicklungswiderstand zwischen D1-D3
$R_{D2,3}$	Reihenschluss-Erregerwicklungswiderstand zwischen D2-D3

2.2.3 Messvorgang & Auswertung

Am Netzgerät T1 konnte nach dem erfolgreichem Aufbau und Inbetriebnahme im Prinzip eine beliebige Spannung U_q eingestellt werden. Aufgrund des nichtbekannten Wicklungswiderstandes sollte die Messung mit einer niedrigen Spannung begonnen und langsam erhöht werden, bis vernünftige Messwerte zustanden kommen, was bei uns bei $U_q = 20\text{ V}$ der Fall war.

Durch einfaches Umstecken der Strippen konnten folgende Messungen durchgeführt und mit dem ohmschen Gesetz kann der dazugehörige Widerstand berechnet werden:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Es ergaben sich folgende Messwerte, wobei bei der Berechnung des Ankerwicklungswiderstandes R_A noch der Bürstenspannungsabfall von $2 \cdot U_B \approx 2 \cdot 1\text{ V} = 2\text{ V}$ dementsprechend zu berücksichtigen ist.

	U [V]	I [A]	R [Ω]
A1-A2	19,81	1,720	$R_A = 10,4$
E1-E2	19,98	0,035	$R_{EN} = 571$
D1-D2	19,84	1,720	$R_{D1,2} = 10,7$
D2-D3	18,50	2,100	$R_{D2,3} = 8,8$
D1-D3	4,02	2,100	$R_{D1,3} = 1,9$

Tabelle 2: Messtabelle zur Berechnung der Wicklungswiderstände

2.3 Leerlaufversuch

2.3.1 Aufgabenstellungen

Die Hauptaufgabe dieses Kapitels besteht darin, folgende Leerlaufkennlinien des Gleichstrommotors (Kompoundmotor) aufzunehmen:

1. $n = f(I_A) = f(U_A)$, Parameter: I_{E_N} bzw. U_{E_N}
2. $n = f(I_{E_N}) = f(U_{E_N})$, Parameter: I_A bzw. U_A

Dafür ist am Beginn eine geeignete Messschaltung zu entwerfen und nach erfolgreichem Aufbau soll diese auf Funktionalität hin überprüft werden.

2.3.2 Schaltungsentwicklung

Für diesen Versuch wurde folgende Schaltung entworfen:

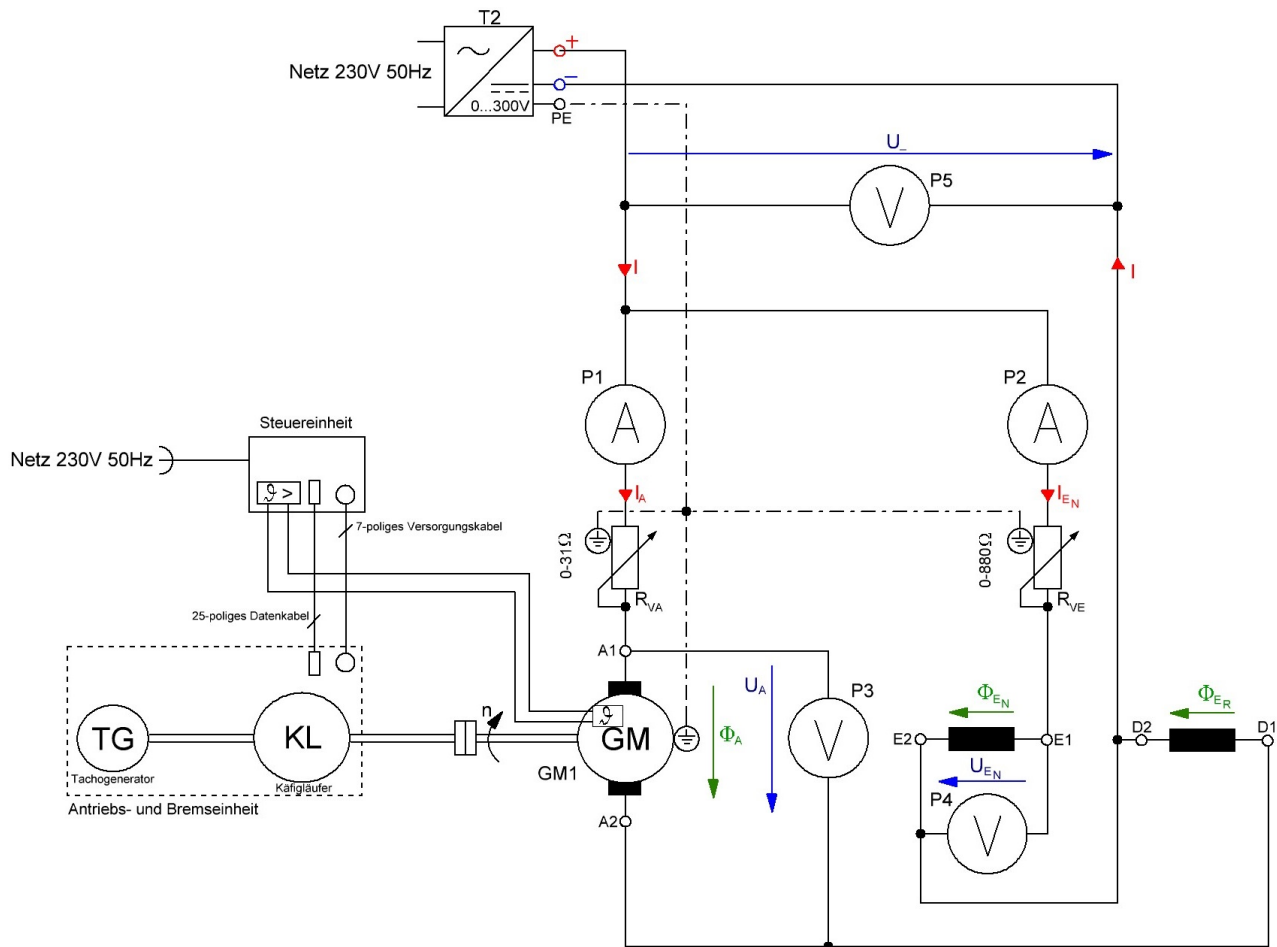


Abbildung 6: Messschaltung zum Leerlaufversuch einer Gleichstrommaschine als Motor

Der Ankervorwiderstand R_{VA} entspricht dem Leistungswiderstand R_{Leist3} und der Vorwiderstand R_{VE} , welcher zum Einstellen der Nebenschluss-Erregung diente, setzt sich aus einer Reihenschaltung zweier Leistungswiderständen R_{Leist1} & R_{Leist2} zusammen.

Der Ankervorwiderstand wurde während der ganzen Versuche nicht verändert und betrug:
 $R_{VA} = 15 \Omega$

Nun kurz noch die verwendeten Bezeichnungen erklärt:

U_-	<i>Gleichspannung zur Versorgung der GM1</i>
U_A	<i>Ankerspannung</i>
U_{EN}	<i>Erregerspannung der Nebenschluss-Erregerwicklung</i>
I	<i>Gesamtstrom</i>
I_A	<i>Ankerstrom</i>
I_{EN}	<i>Erregerstrom über die Nebenschluss-Erregerwicklung</i>
R_{VA}	<i>Vorwiderstand im Ankerkreis</i>
R_{VE}	<i>Vorwiderstand zum Verstellen der Nebenschluss-Erregung</i>
n	<i>Drehzahl</i>
ϕ_A	<i>magnetischer Fluss des Ankerquersfeldes</i>
ϕ_{EN}	<i>magnetischer Fluss des Nebenschluss-Erregerfeldes</i>
ϕ_{ER}	<i>magnetischer Fluss des Reihenschluss-Erregerfeldes</i>

Die erste Aufgabe bestand nun darin, die Ankerspannung bzw. den Ankerstrom konstant zu halten und die Nebenschluss-Erregung zu verändern. (Leerlauf)

2.3.3 Messvorgang & Auswertung

Nach der Schaltungsentwicklung und dem erfolgreichen Aufbau der Messschaltung Abb.6 konnte diese in Betrieb genommen werden. Es wurde bei der ersten Aufnahme versucht die Ankerspannung konstant auf ca. 200 V zu halten und durch Verändern des Nebenschluss- Erregungsvorwiderstandes R_{VE} konnten nun folgende Messwerte erfasst werden:

U_- [V]	U_A [V]	I_A [A]	U_{EN} [V]	I_{EN} [mA]	R_{VE} [Ω]	n [min ⁻¹]
200	195,9	160	250	157,0	170	2053
200	195,9	160	240	150,2	210	2076
200	195,9	160	230	144,2	245	2095
200	195,9	160	200	125,7	370	2180
200	196,0	160	175	108,7	520	2256
200	196,0	160	150	92,2	720	2348
200	196,0	160	140	87,3	800	2388

Tabelle 3: Messtabelle beim Leerlaufversuch für $n = f(I_{EN}) = f(U_{EN})$

Die graphische Darstellung von den Messdaten liefert folgendes Bild:

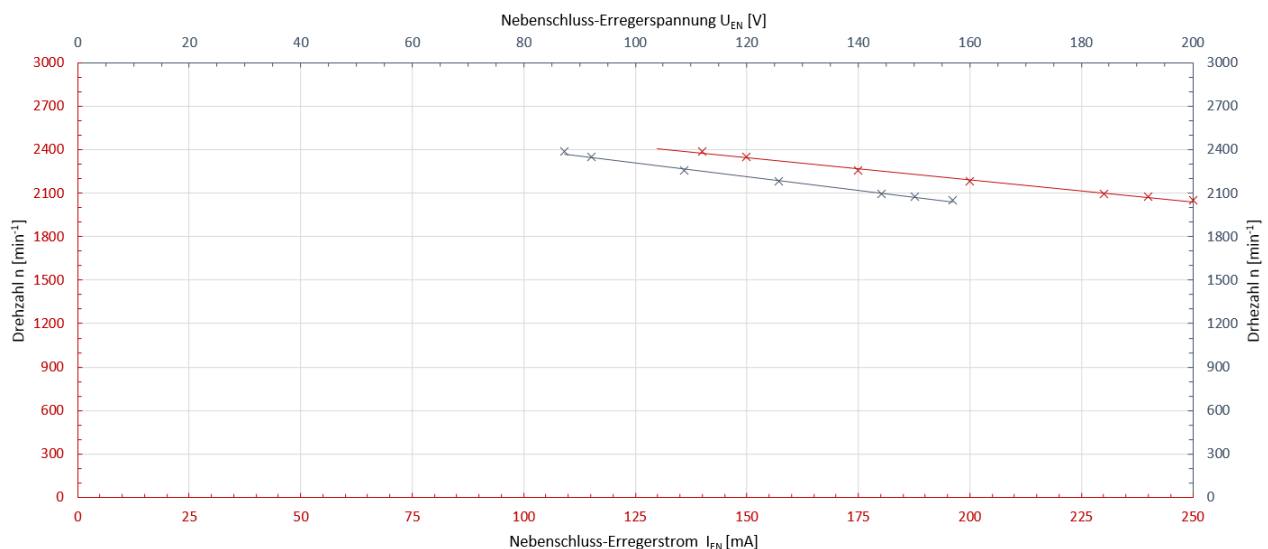


Abbildung 7: Leerlaufkennlinie von $n = f(I_{EN}) = f(U_{EN})$

Es ist deutlich erkennbar, dass bei einer steigenden Erregung (unter Konstanthaltung des Ankerstromes) die Drehzahl n sinkt ($\rightarrow U_q = k_E \cdot \phi_E \cdot n$). Würde man den Widerstand R_{VE} noch weiter erhöhen, so würde das Reihenschluss- gegenüber dem Nebenschlussverhalten immer mehr dominieren und die Drehzahl stark ansteigen.

Die zweite Aufgabe besteht darin, die Nebenschluss-Erregerspannung bzw. -strom konstant zu halten und im Gegensatz dazu die Ankerspannung bzw. -strom zu verändern. Dabei wurde die Gleichspannung vom DC-Netzgerät T2 im Bereich von 220 – 50 V verändert und jeweils mit Hilfe des R_{VE} der Nebenschluss-Erregerstrom I_{EN} angepasst, so dass sich dieser konstant auf $\approx 200\text{ mA}$ befand.

Es konnten somit folgende Messwerte aufgenommen werden:

U_{EN} [V]	I_{EN} [mA]	U_- [V]	U_A [V]	I_A [mA]	n [min ⁻¹]
125,9	200	220,0	215,7	163	2367
125,0	200	200,0	195,8	157	2164
125,4	200	180,0	175,8	150	1943
124,8	200	160,0	156,0	142	1718
125,0	200	150,0	146,0	140	1607
125,5	200	130,0	126,1	135	1383
126,0	200	115,0	110,6	130	1145
125,8	200	75,0	70,8	120	838
126,0	200	55,0	50,4	110	562

Tabelle 4: Messtabelle beim Leerlaufversuch für $n = f(I_A) = f(U_A)$

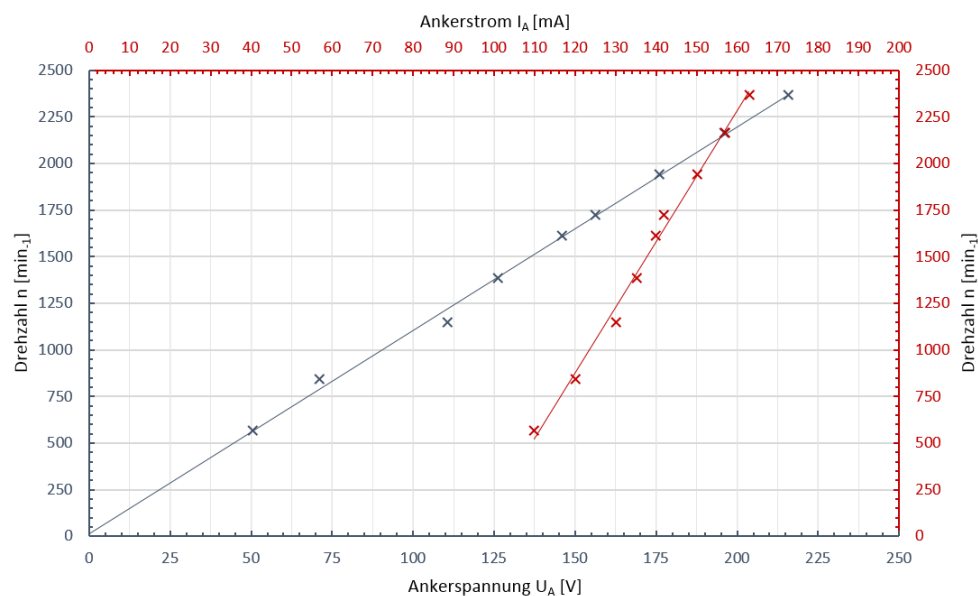


Abbildung 8: Leerlaufkennlinie von $n = f(I_A) = f(U_A)$

Durch sinkende Ankerspannung U_A nimmt wie erwartet die Drehzahl n der Gleichstrommaschine ab. (Hier sinkt natürlich auch die Erregung (Reihenschluss!))

2.4 Belastungsversuch

2.4.1 Aufgabenstellungen

Die letzte Aufgabe war es, einen Betriebspunkt der Gleichstrommaschine zu erfassen. Die Schaltung Abb.6 bleibt im Wesentlichen gleich und die Antriebs- & Bremseinheit stellt die Belastung der Gleichstrommaschine GM1 dar.

Das Drehmoment, welches maximal eingestellt werden soll, lässt sich mit folgender Beziehung aus den Daten des Typenschildes berechnen:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi \cdot n} \quad (2)$$

$$\Rightarrow M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} = \frac{300 \text{ W}}{2\pi \cdot \frac{2000}{60} \text{ s}^{-1}} = 1,43 \text{ Nm} \dots \text{Nennmoment der Maschine}$$

2.4.2 Messvorgang & Auswertung

Nun wird auf der Steuereinheit ein Drehmoment, mit dem die Gleichstrommaschine belastet wird, eingestellt. Hierfür wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Einschalten der Gleichspannung und Hochfahren der Maschine auf *ca.* 220 V
2. Danach wird die Taste M=0 auf der Steuereinheit gedrückt und mit Hilfe der Drehmomentenregelung kann M auf *ca.* 1,2 Nm erhöht werden.
3. AP der Maschine aufnehmen.

U_- [V]	I_{EN} [mA]	U_{EN} [V]	I_A [A]	U_A [V]	n [min ⁻¹]	M [Nm]	ω [s ⁻¹]	P_{AP} [W]
219,6	250	159,7	1,5	174	1403	1,2	147	176

Tabelle 5: Arbeitspunkt der Gleichstrommaschine GM1