



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



Titel des Projektes

WECHSELSTROMSTELLER

Mitglieder:

KIENINGER DOMINIK

LABENBACHER MICHAEL

IBRAHIM IBRAGIMOV

Projektort: HTBLuVA in St. Pölten

Projektdatum: 20. April 2015

Projektnummer: 14

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>Kieninger</i>		

Inhaltsverzeichnis

1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
2	Wechselstromsteller	6
2.1	Allgemeines	6
2.2	DIAC ₁ -Funktionsüberprüfung	7
2.2.1	Aufgabenstellungen	7
2.2.2	Schaltungsentwicklung	7
2.2.3	Messvorgang & Auswertung	8
2.3	Ohmscher Belastungsversuch	10
2.3.1	Aufgabenstellungen	10
2.3.2	Schaltungsentwicklung	10
2.3.3	Messvorgang & Auswertung	11
2.4	Ohmsch-Induktiver Belastungsversuch	14
2.4.1	Aufgabenstellungen	14
2.4.2	Schaltungsentwicklung	14
2.4.3	Messvorgang & Auswertung	15
2.5	Leistungsaufnahmeerfassung	17
2.5.1	Aufgabenstellungen	17
2.5.2	Schaltungsentwicklung	17
2.5.3	Messvorgang & Auswertung	18

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	4
2	Messtabelle zur Darstellung der Steuerkennlinie eines Wechselstromstellers mit ohmscher Last	12
3	Messtabelle zur Darstellung der Steuerkennlinie eines Wechselstromstellers mit ohmsch-induktiver Last	15
4	Messtabelle zur Leistungsaufnahmeerfassung eines Wechselstromstellers mit ohmscher Last	18

Abbildungsverzeichnis

1	Messschaltung zur Funktionsprüfung des $DIAC_1$	7
2	Zündimpulse des $DIAC_1$ bei $R_{POTI} = 100\%$	8
3	Zündimpulse des $DIAC_1$ bei $R_{POTI} = 50\%$	8
4	Zündimpulse des $DIAC_1$ bei $R_{POTI} = 10\%$	8
5	Nahaufnahme des Zündimpulses des $DIAC_1$ bei $R_{POTI} = 100\%$	9
6	Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmscher Belastung	10
7	Oszilloskopeaufnahme des Maximalansteuerungswinkels bei $R_{POTI} = 92\%$ (ohmsch)	11
8	Oszilloskopeaufnahme des Minimalansteuerungswinkels bei $R_{POTI} = 0\%$ (ohmsch)	11
9	Steuerkennlinie des Wechselstromstellers bei ohmscher Last	13
10	Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmsch-induktiver Belastung	14
11	Oszilloskopeaufnahme des Wechselstromstellers bei $R_{POTI} = 0\%$ (ohmsch-induktiv)	15
12	Steuerkennlinie des Wechselstromstellers bei ohmsch-induktiver Last	16
13	Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmscher Belastung zur Leistungsaufnahmeerfassung	17

1 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bezeichnung/Nr.	Gerät/Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
T1	Trenntransformator	Metrel Variable transofrmer MA 4804 0 – 245 V, 50 Hz, 3,1 A	GA - 06/01
TRV ₁	Trennverstärker	vierkanal Trennverstärker 735 261	GA - 01/05
DIAC ₁	Zweirichtungs-Diode	* ¹)	—
TRIAC ₁	Zweirichtungs-Thyristortriode	* ²)	—
R _V	Vorwiderstand	2,7 kΩ, 2 W	—
R _{POT1}	Potentiometer	0 – 100 kΩ, 0,5 W hps	—
R _{POT2}	Potentiometer	0 – 47 kΩ, 0,5 W hps	—
R _{LEIST1}	Leistungswiderstand	0 – 100 Ω, Schiebewiderstand	—
R _{LEIST2}	Leistungswiderstand	0 – 350 Ω, Schiebewiderstand	—
L	Luftspaltspule	Ind. einstellbar ($R_L = 10,8 \Omega$) 220 V, 50 Hz, 1 A	—
C	Kondensator	100 nF, 160 V bipolar	—
O1	Oszilloskope	Tektronix TDS 2004B	RA - 2/4
P1	Digitalmultimeter	Extech True RMS 430	—
P2	Digitalmultimeter	Extech True RMS 430	—
P3	Wattmeter	Tektronix TDS 2004B	G-03. 1/4

Tabelle 1: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

***¹) DIAC₁:**

Die verwendete Zweirichtungs-Diode (**D**iode for **A**lternating **C**urrent) hps 9114.4 weist folgende Kenngrößen auf:

$U_{BR} = 33 V \dots\dots$ Durchbruchspannung (Break-Down-Voltage) ($32 V \pm 4 V$ -symmetrisch)

$I_{BR} = 1 mA \dots\dots$ Durchbruchstrom (Break-Down-Current)

$I_{max} = 1 A \dots\dots$ Maximalstrom (Peak-Current) at $t = 20 \mu s$

$\Delta U = 5 V$ (typ.) . Rücklaufspannung (Backward-Voltage) symmetrisch

***²) TRIAC₁:**

Die verwendete Zweirichtungs-Thyristordiode (**T**riode for **A**lternating **C**urrent) hps 9117.2 weist folgende Kenngrößen auf:

$U_{DRM} = 400 V \dots$ Spitzensperrspannung (Inverse peak voltage)

$I_{GT} = 10 mA \dots\dots$ oberer Zündstrom (Ignition current)

$I_{TRMS} = 4 A \dots\dots$ Dauereffektivstrom (Continuous effective current)

2 Wechselstromsteller

2.1 Allgemeines

Ein Wechselstromsteller findet man in der heutigen Zeit beispielsweise als Dimmer und zur Phasenanschnittsteuerung.

Die Hauptelemente einer solchen Schaltung sind:

1. DIAC (**D**iode for **A**lternating **C**urrent)
2. TRIAC (**T**riode for **A**lternating **C**urrent)
3. Kondensator
4. Widerstand

Das Pendant zur Phasenanschnittsteuerung bildet die Phasenabschnittsteuerung, welche zB. mit einem PWM-Signal und Mosfet als Hauptelemente realisiert werden kann.

Beide Schaltungsvarianten beziehen eine hohe Blindleistung (abhängig vom Steuerwinkel) und in diesem Projekt wird versucht eine Phasenabschnittsteuerung zu realisieren.

Die Einstellungen für den Trennverstärker und das Oszilloskope werden im Projekt nicht dargestellt, da die Kenntnisse über diese Geräte und die Folgen vorausgesetzt werden.

2.2 DIAC₁-Funktionsüberprüfung

2.2.1 Aufgabenstellungen

Die erste Hauptaufgabe besteht darin den zu verwendenden Diac auf Funktionalität hin zu überprüfen. Die zu entwerfende Messschaltung besteht aus einem RC-Glied, wobei die Spannung am Kondensator über den Diac abgegriffen wird. Am Ausgang der Zweirichtungs-Diode befindet sich ein ohmscher Widerstand, welcher als Last für die einzelnen Impulse dienen soll.

Am Oszilloskope ist dabei die Eingangsspannung, sowie die Spannung am Lastwiderstand R_L (Impulse) zur Anzeige zu bringen. Mit Hilfe eines Potentiometers beim RC-Glied soll es möglich sein, die Zeitkonstante, sprich das Auf- & Entladen des Kondensators bzw. die Anzahl an Impulsen, ... zu verändern.

2.2.2 Schaltungsentwicklung

Folgende Messschaltung wurde für diesen Teil des Projektes entworfen:

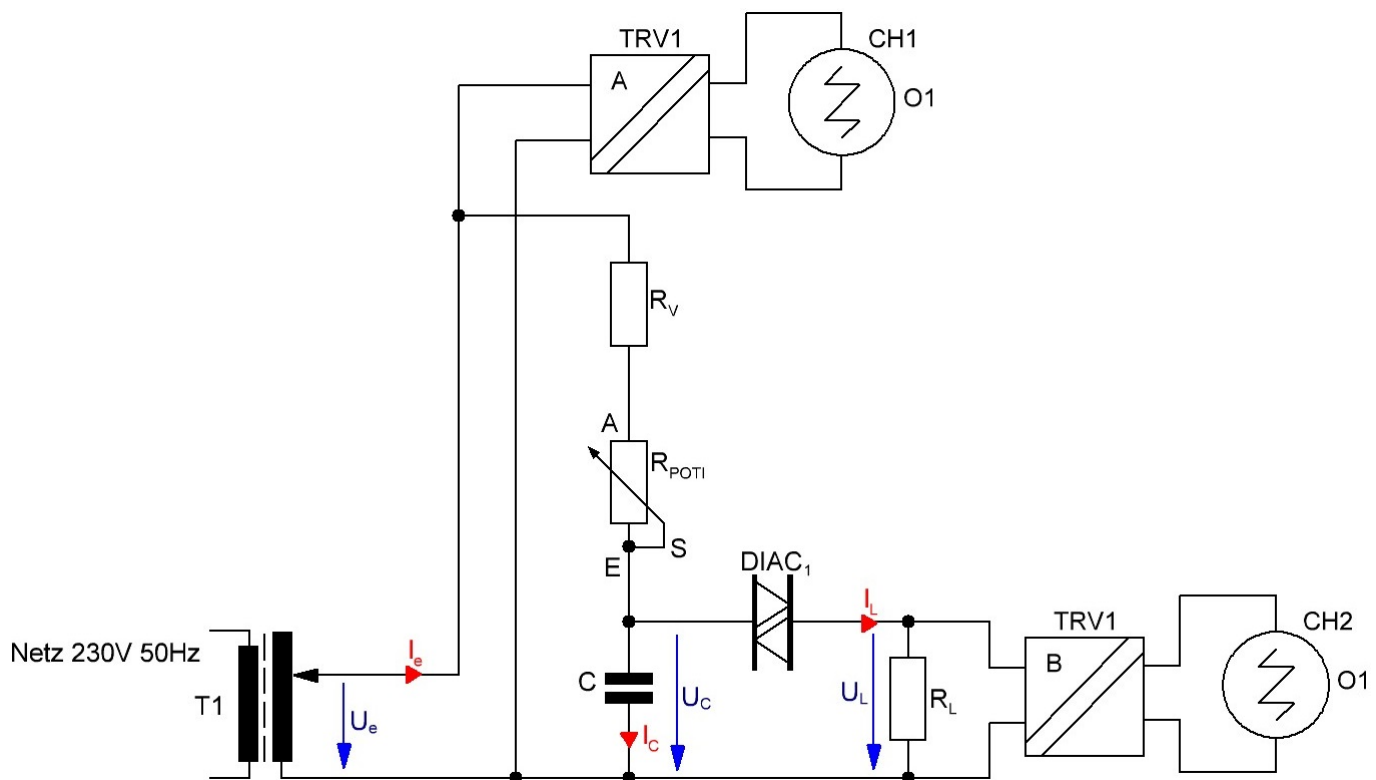


Abbildung 1: Messschaltung zur Funktionsprüfung des DIAC₁

Wie schon im Kapitel 1 erwähnt betrug der Vorwiderstand $R_V = 2,7\text{ k}\Omega$, welcher als Schutz diente, das Potentiometer $R_{POTI} = R_{POTI1} = 100\text{ k}\Omega$, der Kondensator $C = 100\text{ nF}$ und der Lastwiderstand $R_L = R_{LEIST1} = 100\text{ }\Omega$.

Für die nachfolgenden Aufnahmen wurde nur der Widerstand des Potentiometers R_{POTI} verändert und die anderen Komponenten der Schaltung blieben unverändert.

2.2.3 Messvorgang & Auswertung

Am Trenntransformator T1 wurde am Eingang eine Spannung von $U_e = 70\text{ V}$ (Effektivwert) mit einer Frequenz von 50 Hz angelegt, und mit Hilfe des Potentiometers konnte der Lade- & Entladevorgang des Kondensators gesteuert werden. Dementsprechend änderte sich auch die Anzahl an Zündimpulsen des nachgeschalteten Diacs, was folgende Aufnahmen ergab, wobei nur eine Halbwelle betrachtet wird:

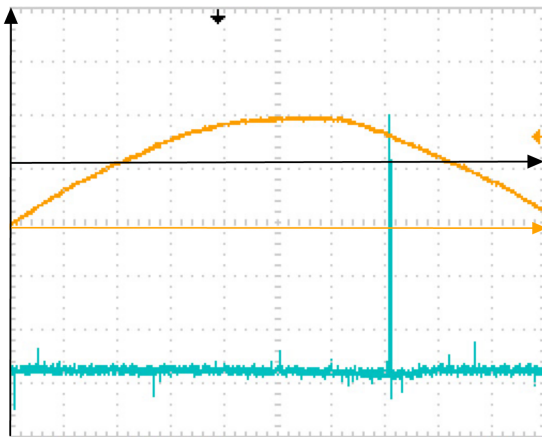


Abbildung 2: Zündimpulse des DIAC₁
bei $R_{\text{POTI}} = 100\%$

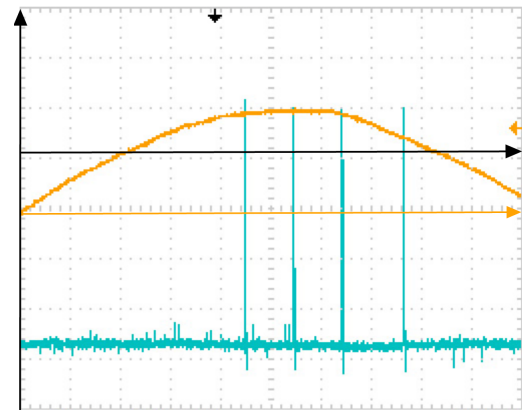


Abbildung 3: Zündimpulse des DIAC₁
bei $R_{\text{POTI}} = 50\%$

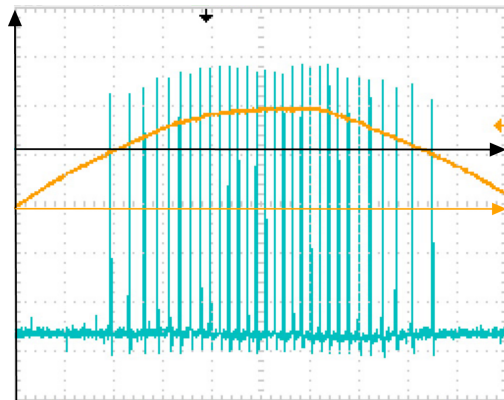


Abbildung 4: Zündimpulse des DIAC₁
bei $R_{\text{POTI}} = 10\%$

Einstellungen:

y – Achse	$u(t)$
x – Achse für u_e	t (gelb)
$2.x$ – Achse für u_L ...	t (schwarz)
u_e	$[50\text{ V/Div.}]$ (gelb) CH1
u_L	$[2\text{ V/Div.}]$ (blau) CH2
M	$[1\text{ ms/Div.}]$ horiz. Skalenteilung

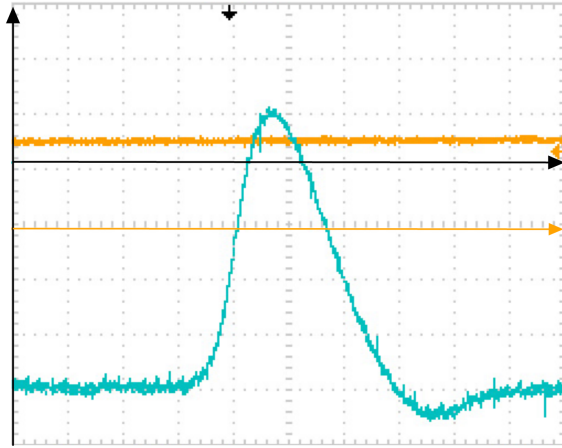
Wie erwartet war bei einem hohen Wert von R_{POTI} die Ladezeit des Kondensators sehr groß, dementsprechend wenige Zündimpulse waren die Folge. Das Pendant dazu bildete ein kleiner Widerstand, was zu vielen Zündimpulsen pro Halbwelle führte.

Erklärung:

Der Kondensator C lädt sich bis zur Durchbruchsspannung von etwa 33 V auf, dann zündet der DIAC₁ und C entlädt sich über R_L bis der Haltestrom unterschritten ist. Dies erklärt auch, dass die einzelnen Impulse „in der Mitte der Halbwelle näher zusammenliegen als am Rand“.

Nun wurde am Potentiometer R_{POTI} ein Widerstand von $100\text{ k}\Omega$ eingestellt, so dass sich ein Zündimpuls, wie in der Abbildung 2 ersichtlich, ergab, um den Impuls ein wenig genauer unter die Lupe zu nehmen.

Folgende Oszi-Aufnahme konnte von diesem Impuls, durch „hineinzoomen“ gemacht werden:



Einstellungen:

y – Achse	$u(t)$	
x – Achse für u_e	t (gelb)	
$2.x$ – Achse für u_L ...	t (schwarz)	
u_e	[50 V/Div.]	(gelb) CH1
u_L	[2 V/Div.]	(blau) CH2
M	[10 μ s/Div.]	horiz. Skalenteilung

Abbildung 5: Nahaufnahme des Zündimpulses des DIAC₁ bei $R_{\text{POTI}} = 100\%$

Es lässt sich sehr deutlich erkennen, dass die Höhe des Impulses $\approx 10\text{ V}$ beträgt und die Impulsdauer $\approx 30\text{ }\mu\text{s}$.

Nach diesem Funktionstest kann mit der eigentlichen Übung begonnen werden.

2.3 Ohmscher Belastungsversuch

2.3.1 Aufgabenstellungen

Die Aufgabe besteht darin, die bekannte Schaltung eines Wechselstromstellers aufzubauen und die Spannung oder/und den Strom an der Last (ohmsch) zu erfassen. Es soll im Anschluss eine Steuerkennlinie des Wechselstromstellers gezeichnet werden, was somit verlangt, dass bei verschiedenen Steuerwinkeln α der Laststrom erfasst wird.

Des Weiteren ist der Maximal- & Minimalansteuerungspunkt mit Hilfe des Oszilloskopes zur Anzeige zu bringen.

2.3.2 Schaltungsentwicklung

Für diesen Abschnitt wurde folgende Messschaltung zur Aufnahme der Steuerkennlinie eines Wechselstromstellers bei ohmscher Belastung entwickelt:

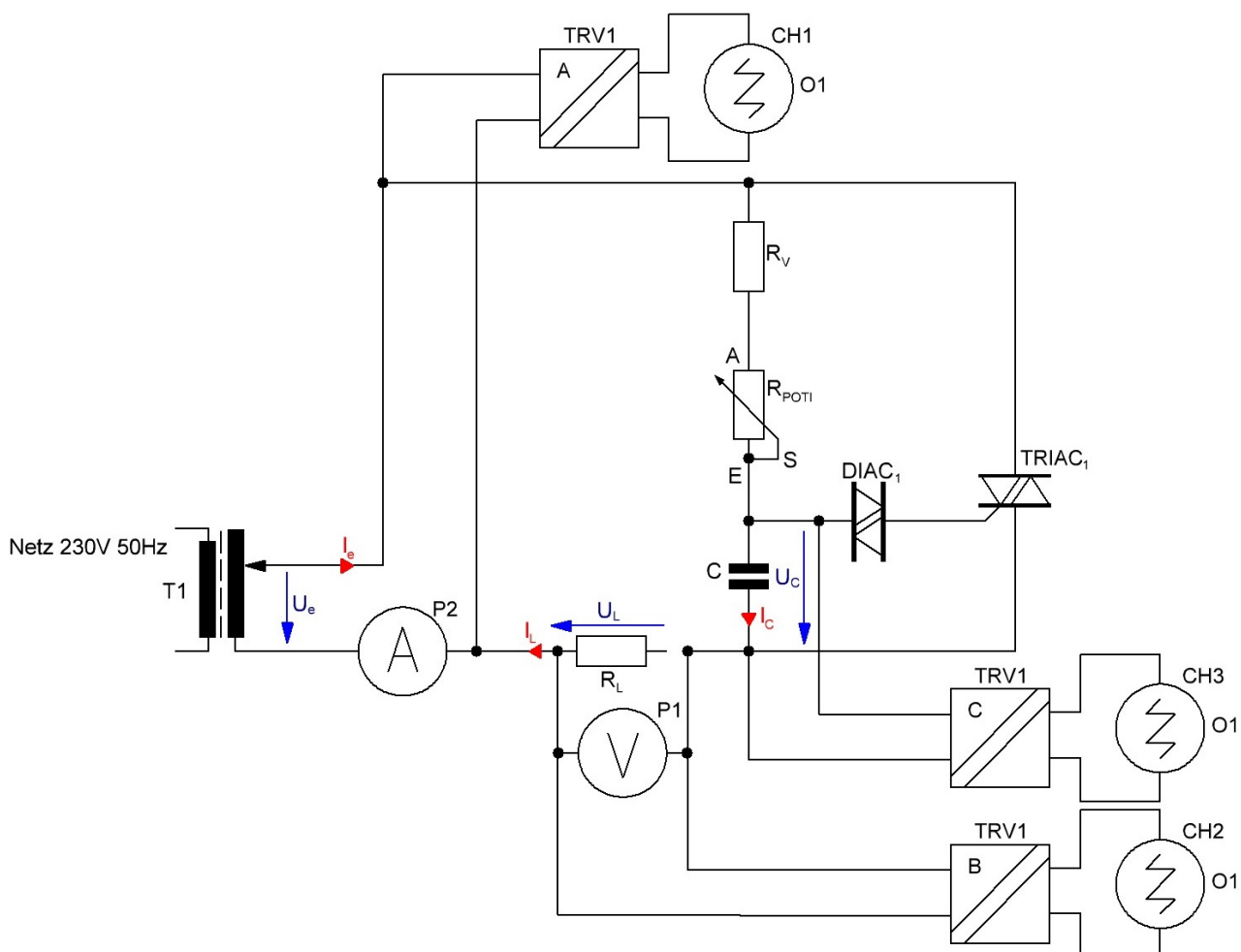


Abbildung 6: Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmscher Belastung

Zusammengefasst: $R_L = R_{LEIST1} = 100\ \Omega$, $R_V = 2,7\ k\Omega$, $R_{POTI} = R_{POTI1} = 100\ k\Omega$, $C = 100\ nF$

2.3.3 Messvorgang & Auswertung

Mit Hilfe des Potentiometers R_{POTI} konnte der Steuerwinkel verstellt werden und es ergaben sich folgende min. & maximalen Steuerwinkeln bei einer Eingangsspannung $U_e = 50 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$:

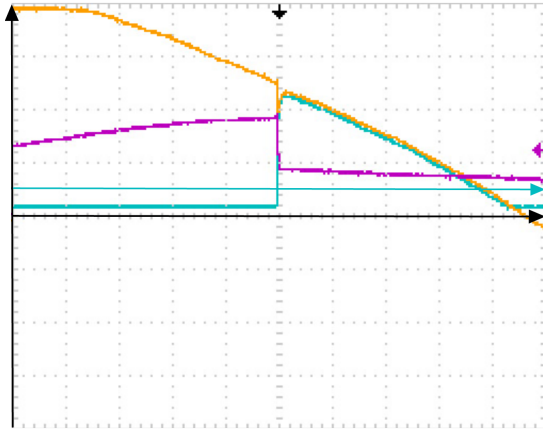


Abbildung 7: Oszilloskopeaufnahme des Maximalansteuerungswinkels bei $R_{\text{POTI}} = 92 \%$ (ohmsch)



Abbildung 8: Oszilloskopeaufnahme des Minimalansteuerungswinkels bei $R_{\text{POTI}} = 0 \%$ (ohmsch)

Einstellungen:

y – Achse	$u(t)$
x – Achse für u_e, u_C .	t (scharf)
$2.x$ – Achse für u_L ...	t (blau)
u_e [20 V/Div.]	(gelb) CH1
u_L [20 V/Div.]	(blau) CH2
u_C [20 V/Div.]	(lila) CH3
M [500 μs /Div.]	horiz. Skalenteilung

In den Abbildungen ist erkennbar, wie sich der Kondensator auf- & entlädt und wenn der Kondensator nicht auf 33 V aufgeladen wird, was bei einem größerem Wert als 92 % der Fall wäre, zündet der $DIAC_1$ nicht mehr. Der minimale Wert des gesamten Vorwiderstandes liegt bei 2,7 k Ω , sprich bei $R_{\text{POTI}} = 0 \%$.

Es zeigt sich auch eine Netzurückwirkung, in Form eines Spannungseinbruches im Moment des Zündens. Die sichtbaren Abweichungen der Nulllinien lassen sich durch den verwendeten Trennverstärker erklären und sind für unsere Messungen nicht wirklich von Bedeutung.

Durch das Ändern des Potentiometers konnten jeweils der Laststrom bzw. Lastspannung mittels den Messgeräten P1 & P2 und der Steuerwinkel α (gemessen wurde genau genommen Δt) mit Hilfe des Oszilloskopes erfasst werden, was folgende Messtabelle ergab, wobei mittels der nachfolgenden Formeln die Wirkleistung und der Steuerwinkel berechnet werden konnten:

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \quad (1)$$

$$R = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ \quad (4)$$

R_{POTI} [%]	U_L [V]	I_L [mA]	Δt [ms]	P [W]	α [°]
0	49,5	490	1,76	48,51	31,68
10	49,0	485	2,04	47,53	36,72
20	47,1	462	2,84	43,52	51,12
30	44,8	429	3,48	38,44	62,64
40	42,2	404	3,92	34,10	70,56
50	39,1	375	4,44	29,33	79,92
60	35,1	340	5,00	23,87	90,00
70	31,0	300	5,60	18,60	100,80
80	25,7	246	6,24	12,64	112,32
90	18,8	178	7,00	6,69	126,00
92	12,0	113	7,88	2,71	141,84

Tabelle 2: Messtabelle zur Darstellung der Steuerkennlinie eines Wechselstromstellers mit ohmscher Last

Die graphische Darstellung der Steuerkennlinie zeigt folgenden Verlauf:

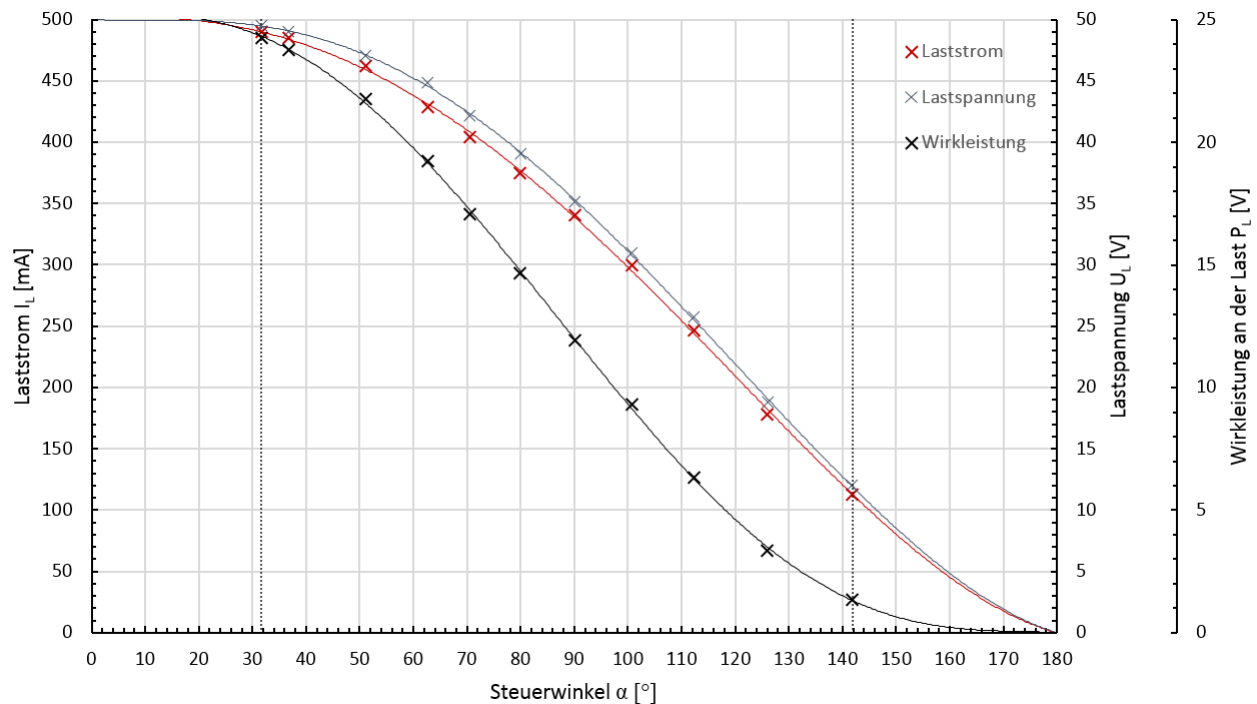


Abbildung 9: Steuerkennlinie des Wechselstromstellers bei ohmscher Last

Diese Kennlinien lassen sich auch mathematisch Beschreiben, nämlich mit folgenden Formeln:

$$U_{\text{eff}} = U_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}, \quad \text{mit } U_0 \dots \text{Effektivwert bei } \alpha = 0 \quad (5)$$

$$I_{\text{eff}} = I_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}, \quad \text{mit } I_0 \dots \text{Effektivwert bei } \alpha = 0 \quad (6)$$

In den Abbildungen lässt sich erkennen, dass die Leistung bei $\alpha = 90^\circ$ (fast) die Hälfte im Gegensatz zur Leistung von $\alpha \approx 0^\circ$ beträgt.

Des Weiteren zeigen der Strom- & Spannungsverlauf die (fast) gleiche Kennlinienform, was sich natürlich durch die verwendete ohmschen Last erklärt und auch anhand der Formel ersichtlich ist.

2.4 Ohmsch-Induktiver Belastungsversuch

2.4.1 Aufgabenstellungen

Die nächste Aufgabe besteht darin das ganze im Prinzip zu Wiederholen, jedoch wird dieses mal eine ohmsch-induktive Last verwendet. Es ist erneut die Steuerkennlinie aufzunehmen und mit der bei ohmscher Belastung zu vergleichen.

2.4.2 Schaltungsentwicklung

Die Messschaltung weist folgende Form auf:

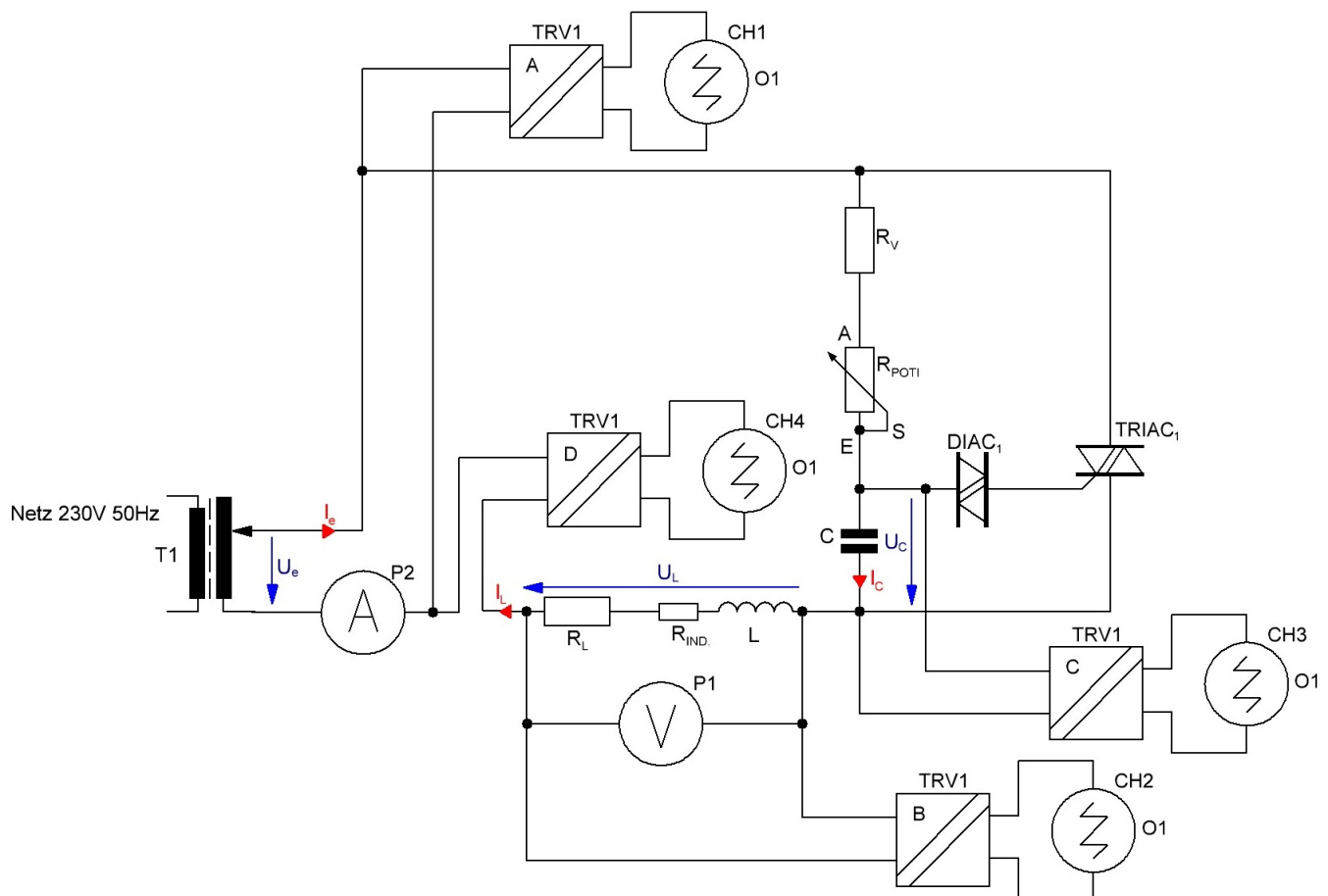


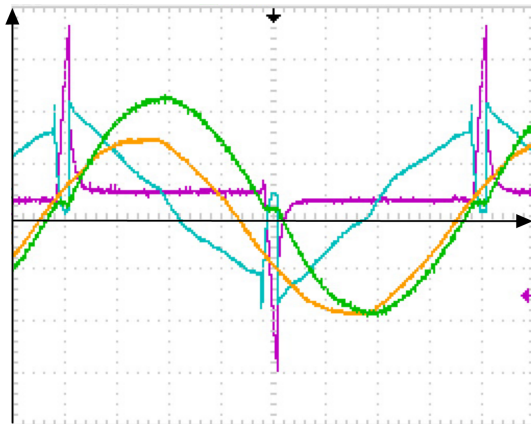
Abbildung 10: Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmsch-induktiver Belastung

Zusammengefasst: $R_L = R_{\text{LEIST}_2} = 100 \Omega$, $R_{\text{IND.}} = 10,8 \Omega$, $R_V = 2,7 k\Omega$, $R_{\text{POTI}} = R_{\text{POTI}_2} = 47 k\Omega$,
 $C = 100 nF$

$L = \text{variabel} \dots$ Wichtig ist, dass der Luftspalt der Spule nicht zu klein ist, da wir eine hohe Induktivität haben wollen.

2.4.3 Messvorgang & Auswertung

Am Beginn wurde am T1 eine Eingangsspannung von $U_e = 50\text{ V}$ mit $f = 50\text{ Hz}$ eingestellt und folgende Oszilloskopeaufnahme gemacht:



Einstellungen:

y – Achse	$u(t)$	
x – Achse	t	
u_e	[50 V/Div.]	(gelb) CH1
u_L	[20 V/Div.]	(blau) CH2
u_C	[10 V/Div.]	(lila) CH3
I_L	[100 mA/Div.]	(grün) CH4
M	[2,5 ms/Div.]	horiz. Skalenteilung

Abbildung 11: Oszilloskopeaufnahme des Wechselstromstellers bei $R_{\text{POTI}} = 0\%$ (ohmsch-induktiv)

Die durch den Trennverstärker verursachten Verschiebungen der Nulllinien sind wahrscheinlich deutlich erkennbar und sind, falls daraus etwas abgelesen werden soll, zu berücksichtigen.

Im Anschluss auf die Aufnahme wurden die Messwerte für die Steuerkennlinie aufgenommen:

R_{POTI} [%]	U_L [V]	I_L [mA]	Δt [ms]	P [W]	α [°]
0	56,5	121	5,10	6,84	91,80
1	55,2	117	5,62	6,46	101,16
2	52,5	109	6,20	5,72	111,60
3	49,1	100	6,80	4,91	122,40
4	46,2	82	7,60	3,79	136,80

Tabelle 3: Messtabelle zur Darstellung der Steuerkennlinie eines Wechselstromstellers mit ohmsch-induktiver Last

Die graphische Darstellung der Steuerkennlinie zeigt folgenden Verlauf:

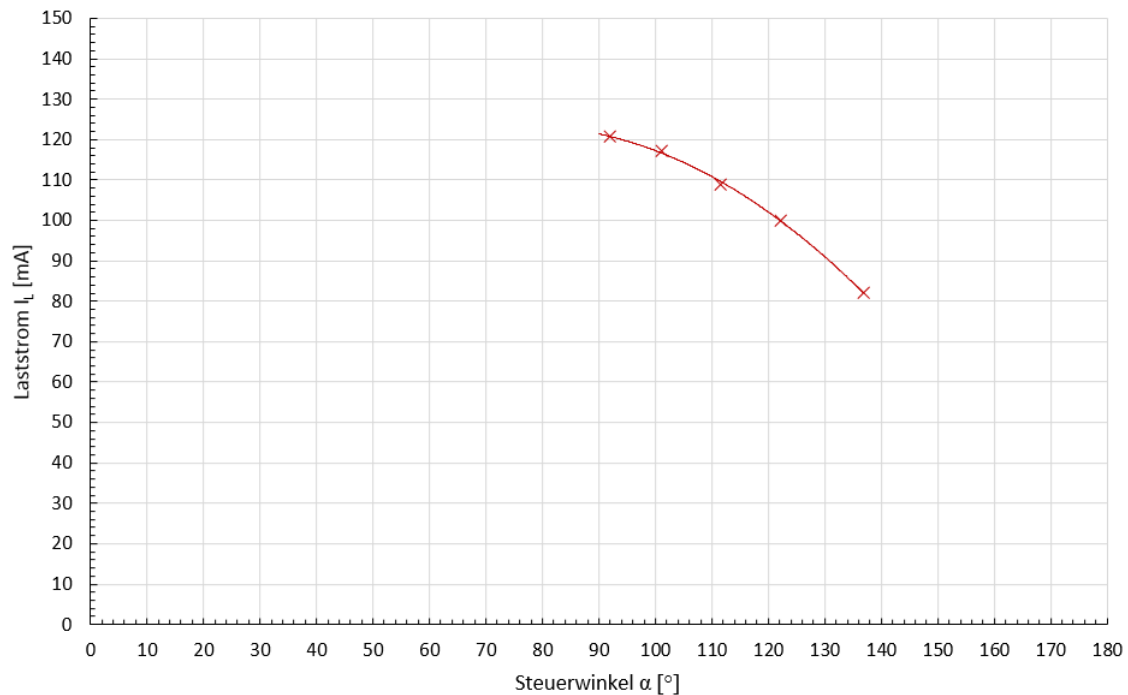


Abbildung 12: Steuerkennlinie des Wechselstromstellers bei ohmsch-induktiver Last

Ein größerer Stellbereich war durch die Wahl der einzelnen Bauelemente und der niedrigen Eingangsspannung nicht möglich.

Es lässt sich jedoch eindeutig erkennen, dass durch den induktiven Anteil der Last der Steuerwinkel nicht auf 0° gebracht werden kann. (bei rein induktiver Last $\rightarrow 90^\circ - 100^\circ$)

2.5 Leistungsaufnahmeerfassung

2.5.1 Aufgabenstellungen

Die letzte Aufgabe besteht darin, die Leistungsaufnahme eines solchen Wechselstromstellers mit Hilfe eines Messgerätes zu erfassen. Dabei wurde wieder die Last auf den ohmschen Widerstand von $R_L = 100\ \Omega$ eingestellt und ein Wattmeter am Eingang hinzugefügt.

2.5.2 Schaltungsentwicklung

Die Schaltung weist somit folgende Form auf:

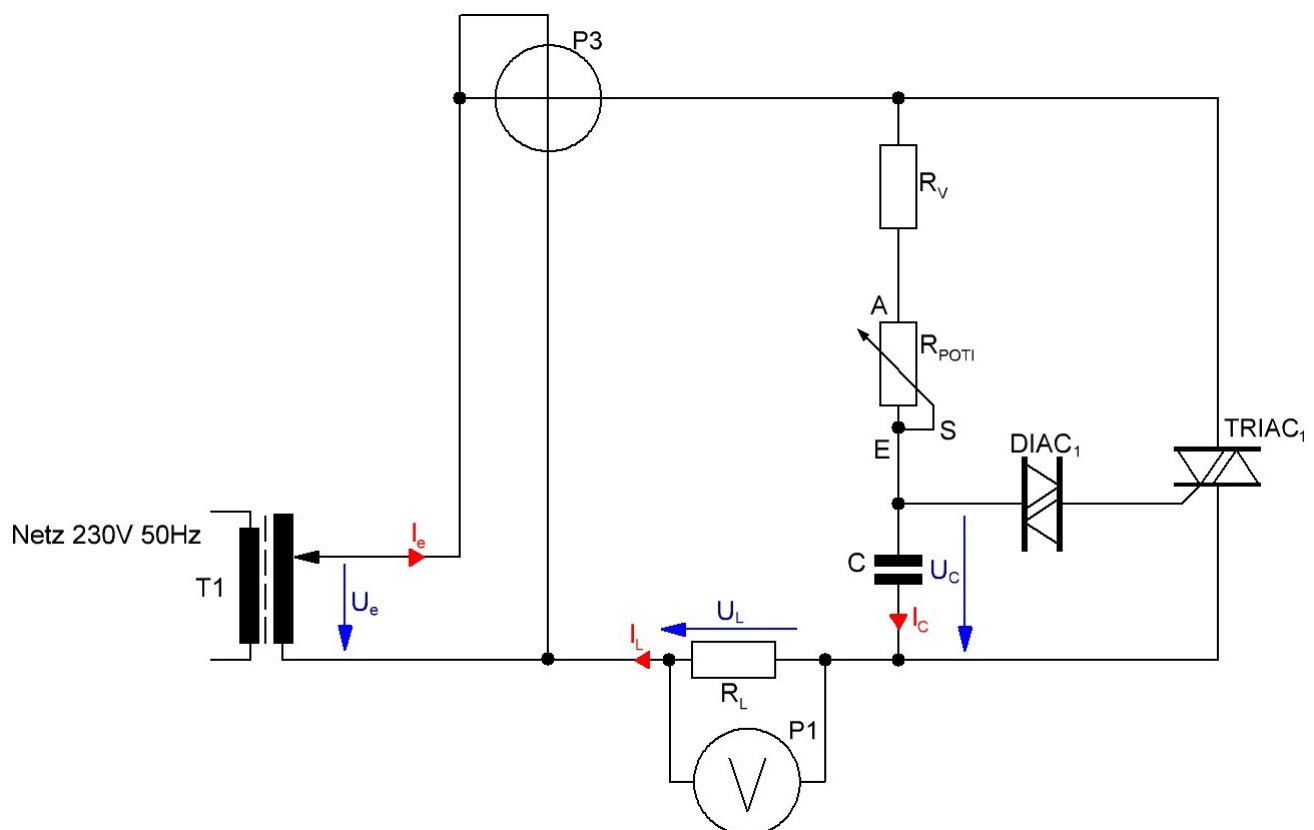


Abbildung 13: Messschaltung des Wechselstromstellers bei ohmscher Belastung zur Leistungsaufnahmeerfassung

Zusammengefasst: $R_L = R_{LEIST1} = 100\ \Omega$, $R_V = 2,7\ k\Omega$, $R_{POTI} = R_{POTI1} = 100\ k\Omega$, $C = 100\ nF$

2.5.3 Messvorgang & Auswertung

Die Eingangsspannung wurde erneut auf $U_e = 50\text{ V}$ mit $f = 50\text{ Hz}$ eingestellt und durch verändern des Widerstandes R_{POTI} konnte der Steuerwinkel und so die Wirk-, Blind- und Scheinleistungsaufnahme der Schaltung verstellt werden.

Folgende Messwerte konnten aufgenommen werden:

R_{POTI} [%]	U_e [V]	I_e [mA]	U_L [V]	P [W]	Q [var]	S [VA]	$\cos(\varphi)$ [—]
0	49,7	559	47,70	27,30	5,10	27,8	0,98
20	49,8	534	45,60	25,00	9,20	26,5	0,94
40	49,9	471	40,40	19,50	13,00	23,4	0,83
60	50,0	391	33,26	13,50	14,10	19,6	0,69
80	50,2	266	22,97	6,40	11,70	13,4	0,48
90	50,4	162	14,30	2,50	7,90	8,2	0,29

Tabelle 4: Messtabelle zur Leistungsaufnahmeerfassung eines Wechselstromstellers mit ohmscher Last

Dies zeigt sehr deutlich, dass die Phasenanschnittsteuerung viel Blindleistung (Steuerblindleistung) benötigt und der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ mit steigendem Steuerwinkel bei ohmscher Belastung stark absinkt.