



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:

STROMRICHTER 1

Mitglieder:

LOIBL AUGUST
LABENBACHER MICHAEL
NEULINGER DAVID
EDER DANIEL

Projektort: HTBL u. VA in St. Pölten

Projektdatum: 2.12.2015

Projektnummer: 05

Projektgruppe: 1

Fach: Laboratorium

Jahrgang/Klasse: 2015/16 5AHET

Lehrer: OStR Dipl.-Ing. Johann Noitz

Protokollführer: <i>Loibl August</i>	Unterschriften:	Note:
--	------------------------	--------------

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung & Aufgabenstellung	1
2	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	3
3	Brückengleichrichter B2C ohne Energiespeicher	4
3.1	Messschaltung	4
3.2	Messvorgang	5
3.3	Steuerkennlinie	9
4	Brückengleichrichter B2C mit Energiespeicher	10
4.1	Messschaltung	10
4.2	Messvorgang	11
4.3	Steuerkennlinie	14
5	Brückengleichrichter B2H mit Energiespeicher (symmetrisch)	15
5.1	Messschaltung	15
5.2	Messvorgang	16
5.3	Steuerkennlinie	20
	Abbildungsverzeichnis	21
	Tabellenverzeichnis	22
	Abkürzungsverzeichnis	23

1 Einleitung & Aufgabenstellung

Die erste Aufgabe dieses Projektes besteht in der Entwicklung und dem konkreten Entwurf einer Messschaltung einer B2C ohne Energiespeicher, sprich mit einer ohmschen Belastung. Der Versuch beinhaltet sowohl den Aufbau, als auch die Aufnahme diverser Kennlinien und den wichtigen Kenngrößen einer solchen Schaltung.

Ein Schwerpunkt aller Aufgaben lag in der Aufnahme der Steuerkennlinie mit Hilfe des Oszilloskops. Dafür ist der Zündwinkel α der Thyristoren stufenweise zu verändern, indem die Spannung des Ansteuergerätes von 0 bis 10 V verändert wird. Der Zündzeitpunkt kann somit um einen Zeitschritt Δt (in [ms]) verschoben werden und diese Zeit kann mit Hilfe des Oszilloskops gemessen und im Anschluss auf den Winkel umgerechnet werden. Die Umrechnung erfolgt mit:

$$\alpha = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ \quad (1.1)$$

Bei den unterschiedlichen Stromrichterschaltungen sind die folgenden Größen zu messen:

T	Periodendauer
Δt	zeitliche Verschiebung des Zündzeitpunktes
U_s	Sekundärspannung des Transformators
I_s	Sekundärstrom des Transformators
$U_{di\alpha}$	Lastspannung (vom Zündwinkel α abhängig)
I_d	Laststrom (vom Zündwinkel α abhängig)

, und daraus können die für uns interessanten Kenngrößen ermittelt:

α	Zündwinkel
\hat{u}_v	Spitzenwert der Ventilspannung (vom Zündwinkel α abhängig)

, und die Steuerkennlinie graphisch dargestellt werden.

Nach der punktweisen Aufnahme der Steuerkennlinie ist die Ventilspannung \hat{u}_v bei den jeweiligen Messpunkten zu berechnen und die gesamten Messergebnisse sind auf deren Übereinstimmung mit den Rechengrößen zu vergleichen.

Das zweite Teilprojekt besteht in der Entwicklung, dem Entwurf und dem Aufbau einer B2C mit ohmsch-induktiver Belastung. Die Durchführung ist dabei gleich der der ersten Aufgabe und im Anschluss darauf sind die sich ergebenden Unterschiede zu diskutieren und begründen.

Die letzte Aufgabe besteht in dem Aufbau einer symmetrischen B2H mit ohmsch-induktiver Belastung, sprich mit Energiespeicher. Nach dem Aufbau, der Inbetriebnahme und der Messung sind die sich ergebenden Verläufe und Messgrößen zu begründen und mit den Rechenwerten zu vergleichen.

2 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bez.	Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
$T1$	Transformator	Variable Transformer MA 4804, METREL	GA-06/01
$O1$	Oszilloskop	Tektronix TDS 2004B	AA-03/01
$V1$	Analoges Multimeter	NORMAMETER S2	A-03.2/05
$V2$	Analoges Multimeter	NORMAMETER S2	—
$V3$	Digitales Multimeter	ESCORT 97	A-06.1/03
$R1$	Drehwiderstand	380 Ω Benedikt und JÄGER	—
$L1$	Drossel	220 V/50 Hz/1 H	G-15.3

Tabelle 2.1: Verwendete Geräte & Betriebsmittel

3 Brückengleichrichter B2C ohne Energiespeicher

3.1 Messschaltung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die verwendete Messschaltung ohne der Ansteuerung der Thyristoren und des Oszilloskops mit Trennverstärker.

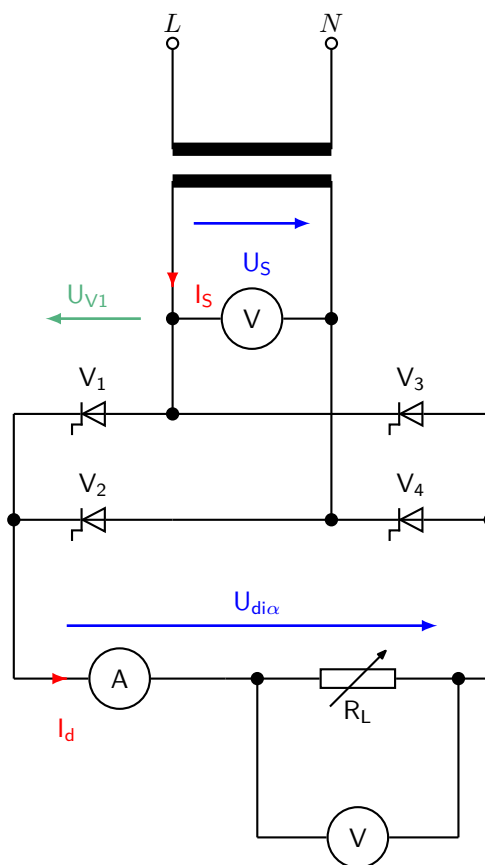


Abbildung 3.1: Messschaltung der B2C ohne Energiespeicher

3.2 Messvorgang

Zur Kontrolle der gemessenen Werte wurde auch bei den gemessenen Zündwinkeln die Lastspannung jeweils rechnerisch mit der nachfolgenden Formel für die ohmsch belastete B2C ermittelt, wobei gleich das Verhältnis für die Steuerkennlinie ausge-rechnet wurde.

$$U_{\text{di}\alpha} = \frac{U_{\text{di}}}{2} \cdot (1 + \cos(\alpha)) \quad (3.1)$$

$$U_{\text{di}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{\text{s}} \approx 0,9 \cdot U_{\text{s}} \quad (3.2)$$

M	M	M	R _M	R _M	R	R _M
Δt	I_{d}	$U_{\text{di}\alpha}$	α	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$	\hat{u}_{V}
[ms]	[A]	[V]	[°]	[—]	[—]	[V]
—	—	—	0	—	1	—
0.20	0.490	58.2	3.6	0.995	0.999	91.924
0.83	0.490	56.5	15	0.966	0.983	91.924
1.67	0.465	54.0	30	0.923	0.933	91.924
2.50	0.420	49.0	45	0.838	0.854	91.924
3.33	0.375	43.5	60	0.744	0.750	91.924
5.00	0.250	29.0	90	0.496	0.500	91.924
5.83	0.200	22.8	105	0.390	0.371	88.792
6.67	0.125	14.8	120	0.253	0.250	79.608
7.50	0.080	9.2	135	0.157	0.146	65.000
9.17	0.008	1.0	165	0.016	0.017	23.792
10	0	0	180	0	0	0

Tabelle 3.1: Mess- & Rechentabelle der B2C ohne Energiespeicher

Dabei bedeutet ein M ... Messwert, R ... reiner Rechenwert & R_M ... berechneter Wert aus den Messwerten. Während der Messung betrug $U_{\text{s}} = 65 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$.

Mit Hilfe des Oszilloskops konnten bei verschiedenen Ansteuerwinkeln α Signalverläufe aufgenommen und ausgewertet werden. Dabei wurde die Lastspannung, der Laststrom, die Ventilspannung am Ventil 1, sowie der Sekundärstrom oszillographiert.

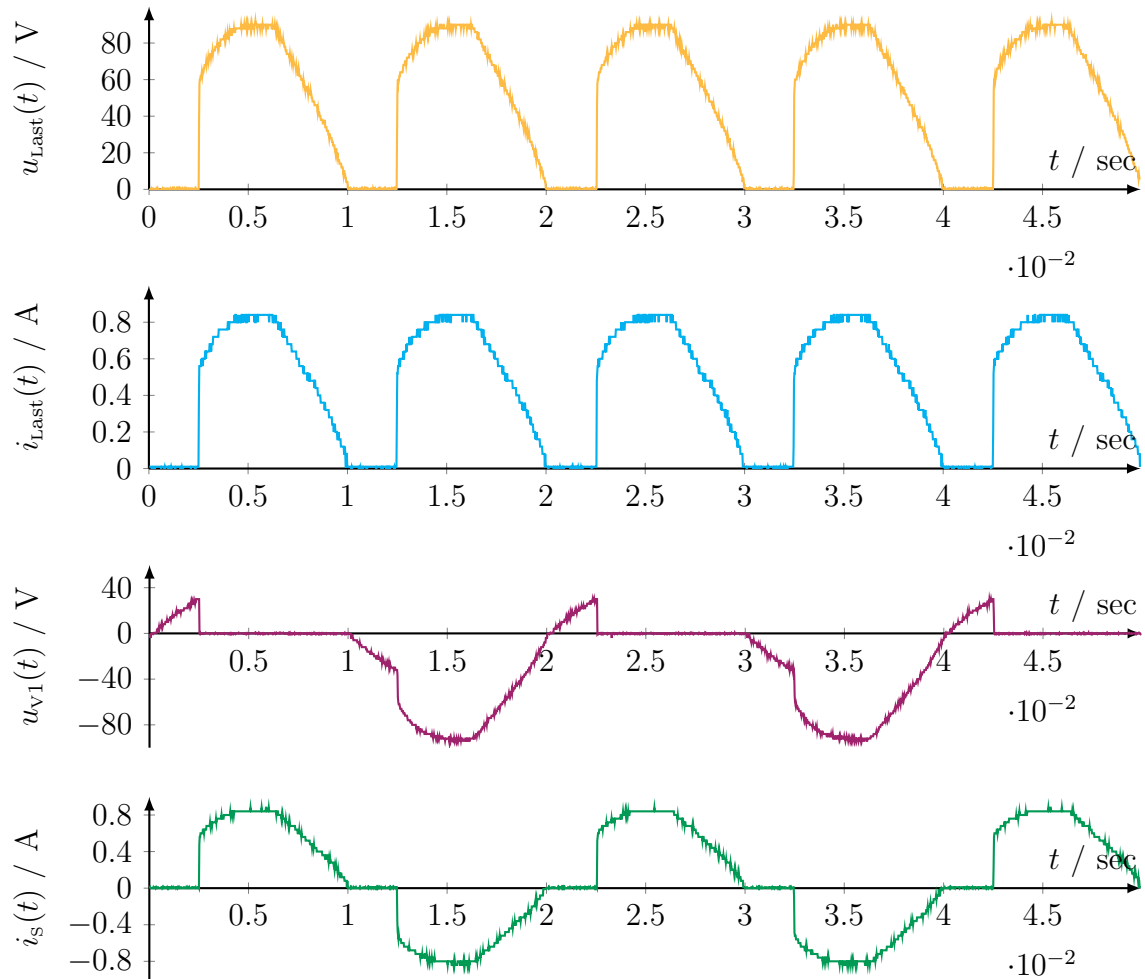


Abbildung 3.2: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 45^\circ$ (B2C ohne Energiespeicher)

In dieser Abbildung lässt sich erkennen, dass der Laststrom und die Lastspannung, wegen dem ohmschen Verbraucher den gleichen Verlauf aufzeigen und wenn ein Strom über den Verbraucher fließt ist die Ventilspannung am Ventil 1 bei der positiven Halbwelle der Sekundärspannung gleich 0 und bei der negativen gleich U_s .

Des Weiteren ist erkennbar, dass wenn die Lastspannung 0 V beträgt, die Ventilspannung gleich der Hälfte der Sekundärspannung ist.

Nun wurde der Steuerwinkel auf bis zu 90° erhöht, was folgende Oszilloskopaufnahme ergab:

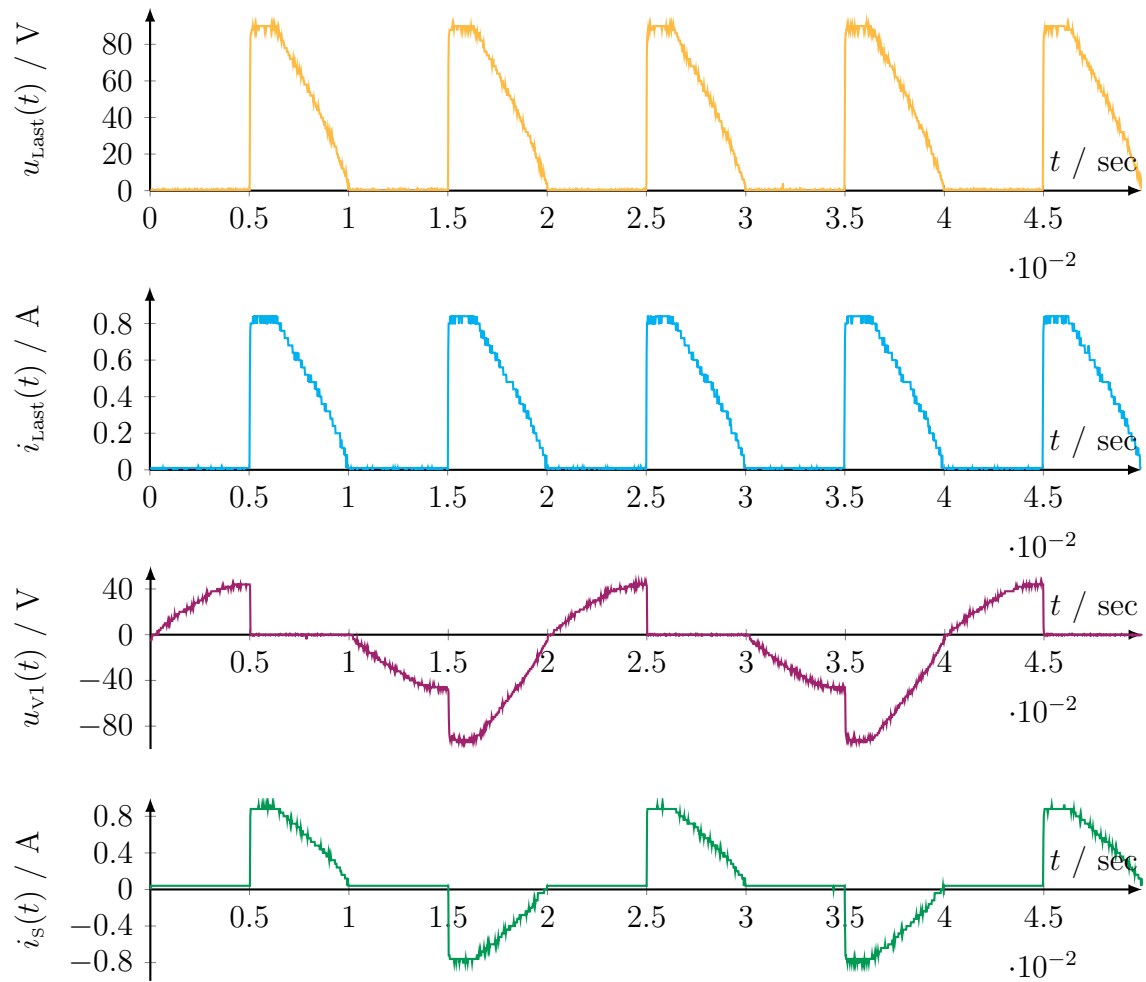


Abbildung 3.3: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 90^\circ$ (B2C ohne Energiespeicher)

Zum Vergleich wurde noch der Zündwinkel von 135° als Oszilloskopaufnahme verwendet, wobei in der nachfolgenden Abbildung deutlich erkennbar ist, dass durch das Ventil 1 nur in sehr kurze Zeitphasen, nämlich jeweils 45° , ein Strom fließt und der Mittelwert der Lastspannung deutlich gesunken ist.

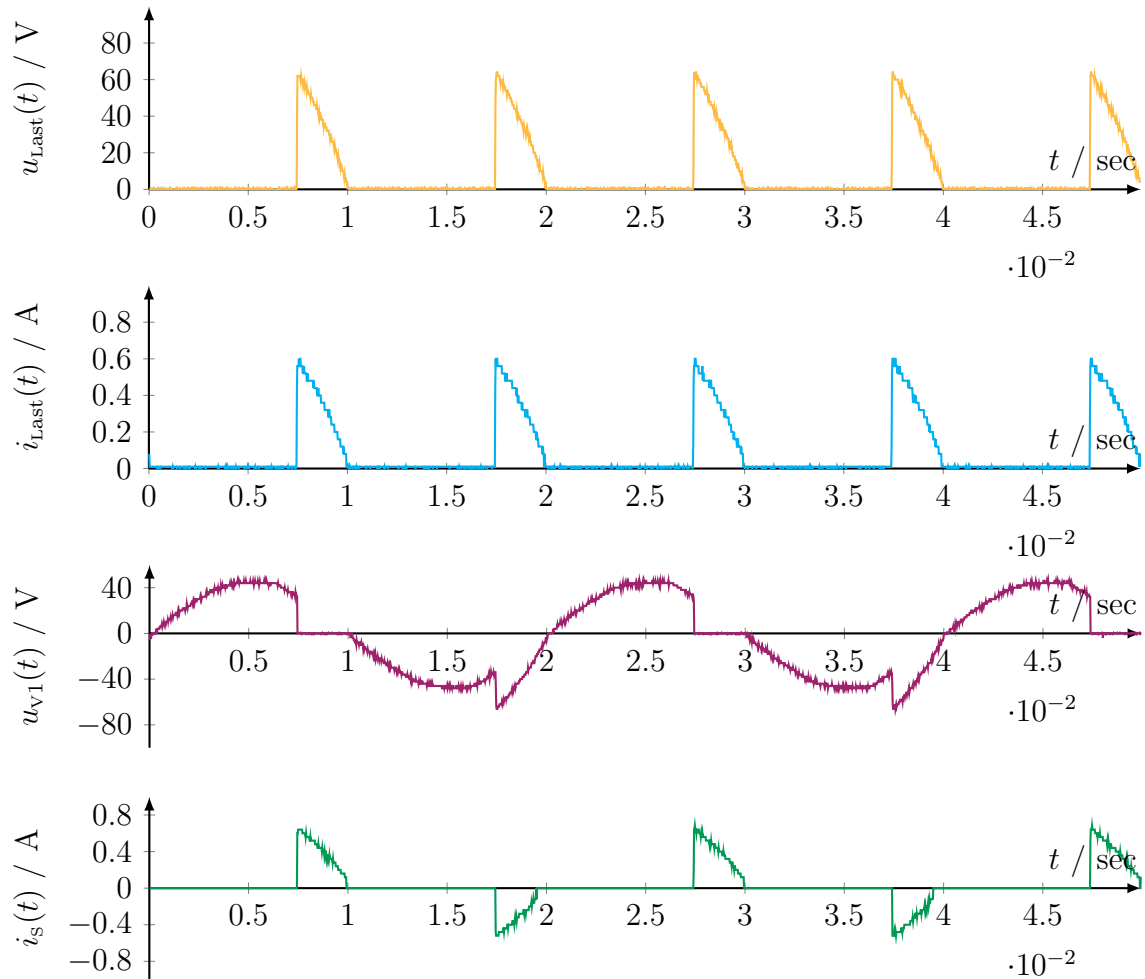


Abbildung 3.4: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 135^\circ$ (B2C ohne Energiespeicher)

3.3 Steuerkennlinie

Die Steuerkennlinie stellt eine Funktion f in Abhängigkeit des Zündwinkels α dar und ist die graphische Darstellung der Tabellenwerte 3.1.

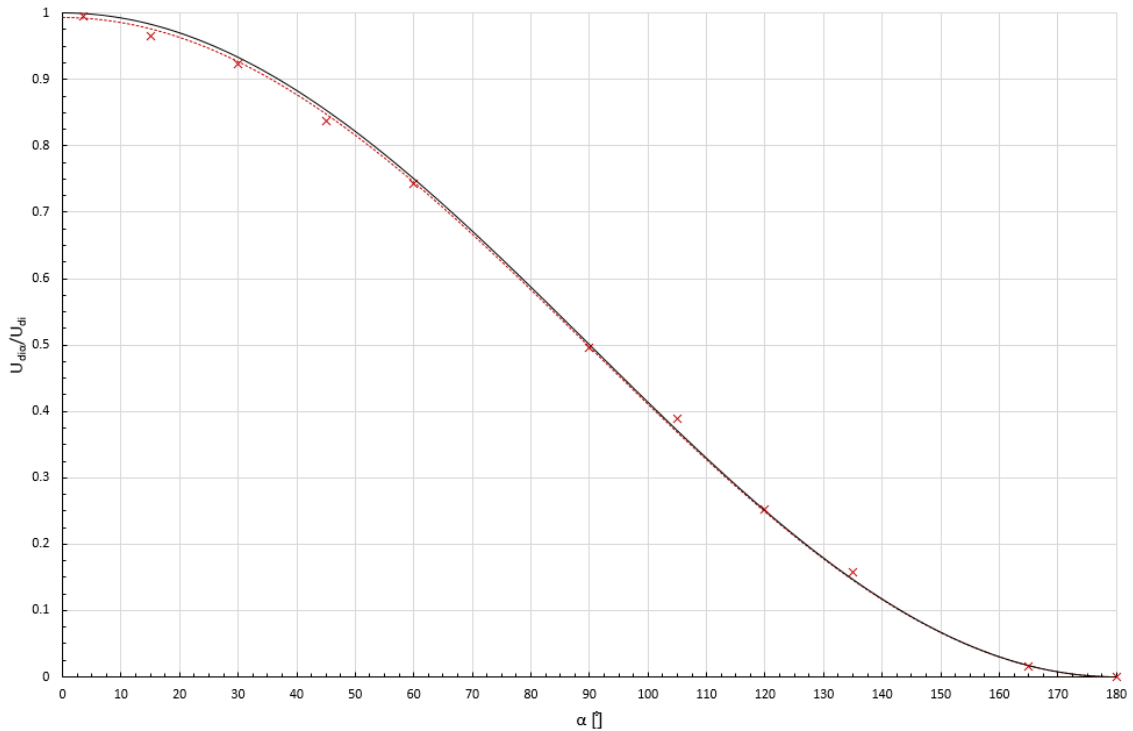


Abbildung 3.5: Steuerkennlinien der Mess- und Rechenwerte der B2C ohne Energiespeicher

Dabei stellt die schwarze Kurve die berechnete und der rot-strichlierte Verlauf stellt eine Regression der Messwerte (rote Punkte) dar.

Es lässt sich deutlich erkennen, dass die einzelnen Messwerte eine kleine Abweichung zu den Rechenwerten aufzeigen, was wahrscheinlich an dem etwas ungenauen Ablesen der Zeitverschiebung Δt liegt.

4 Brückengleichrichter B2C mit Energiespeicher

4.1 Messschaltung

Die nachfolgende Abb. zeigt die verwendete Messschaltung der B2C mit ohmsch-induktiver Belastung ohne der Ansteuerung und des Oszilloskops.

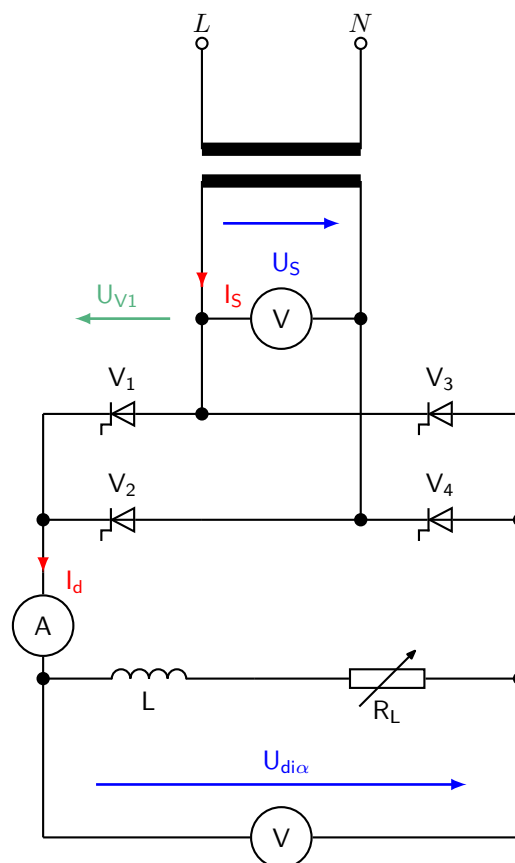


Abbildung 4.1: Messschaltung der B2C mit Energiespeicher

4.2 Messvorgang

Zur Kontrolle der gemessenen Werte wurde auch bei den gemessenen Zündwinkeln die Lastspannung jeweils rechnerisch mit der nachfolgenden Formel für die ohmsch-induktiv belastete B2C ermittelt, wobei gleich das Verhältnis für die Steuerkennlinie ausgerechnet wurde.

$$U_{\text{di}\alpha} = U_{\text{di}} \cdot \cos(\alpha) \quad (4.1)$$

M	M	M	R _M	R _M	R
Δt	I_{d}	$U_{\text{di}\alpha}$	α	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$
[ms]	[A]	[V]	[°]	[—]	[—]
—	—	—	0	—	1
0.20	0.50	58.10	3.6	0.993	0.998
1.67	0.43	50.20	30.0	0.858	0.866
2.50	0.36	40.00	45.0	0.684	0.707
3.65	0.21	24.00	65.7	0.410	0.412

Tabelle 4.1: Mess- & Rechentabelle der B2C mit Energiespeicher

Während der Messung betrug $U_{\text{s}} = 65 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$. Ab dem Steuerwinkel $\alpha_{\text{Krit.}}$ von $65,7^\circ$, wo der nicht-lückende Betrieb endet, wurde die Messung abgebrochen.

Mit Hilfe des Oszilloskops konnten erneut bei verschiedenen Ansteuerwinkeln α Signalverläufe aufgenommen und ausgewertet werden. Dabei wurde die Lastspannung, der Laststrom, die Ventilspannung am Ventil 1, sowie der Ventilstrom oszillographiert.

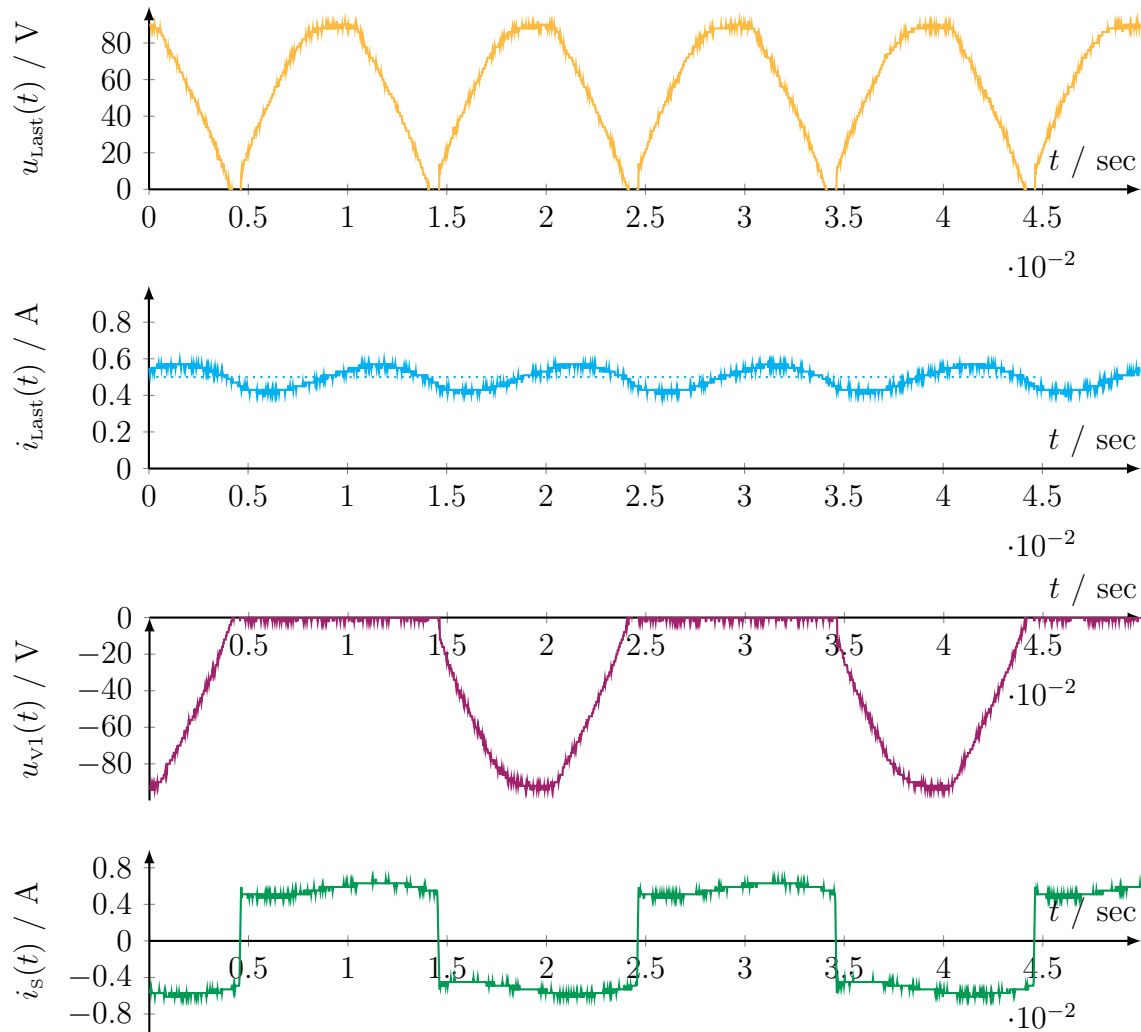


Abbildung 4.2: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 0^\circ$ (B2C mit Energiespeicher)

Es lässt sich sehr gut erkennen, dass der Laststrom „fast“ geglättet ist und das Ventil 1 genau 180° auf Durchlass geschaltet ist. Der Sekundärstrom besteht im Prinzip aus fast rechteckförmigen 180° -langen Blöcken und die Ventilspannung ist gleich der Sekundärspannung, wenn das Ventil sperrt.

Als zweite Oszilloskopaufnahme wurde der kritische Zündwinkel gewählt, ab dem, beim Überschreiten, ein lückender Betrieb auftritt.

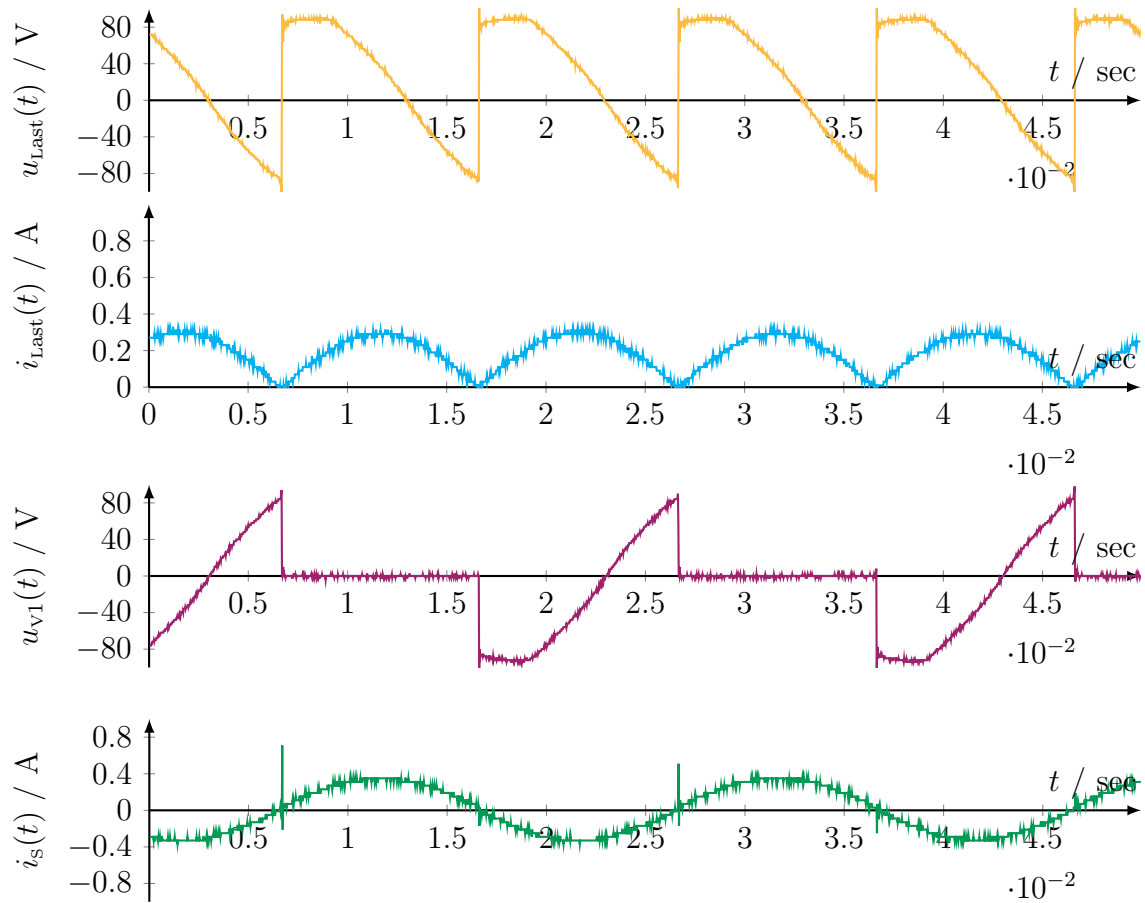


Abbildung 4.3: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha_{\text{Krit.}} = 65,7^\circ$ (B2C mit Energiespeicher)

Es lässt sich erkennen, dass bei diesem Anschnittswinkel die Induktivität gerade noch ausreichend ist, sodass der Strom nicht lückt. Des Weiteren lässt sich sehr gut erkennen, wie die Induktivität dafür sorgt, dass der Strom weitergetrieben wird und so eine negative Spannungszeitfläche am Verbraucher entsteht.

4.3 Steuerkennlinie

Die Steuerkennlinie stellt eine Funktion f in Abhängigkeit des Zündwinkels α dar und ist die graphische Darstellung der Tabellenwerte 4.1.

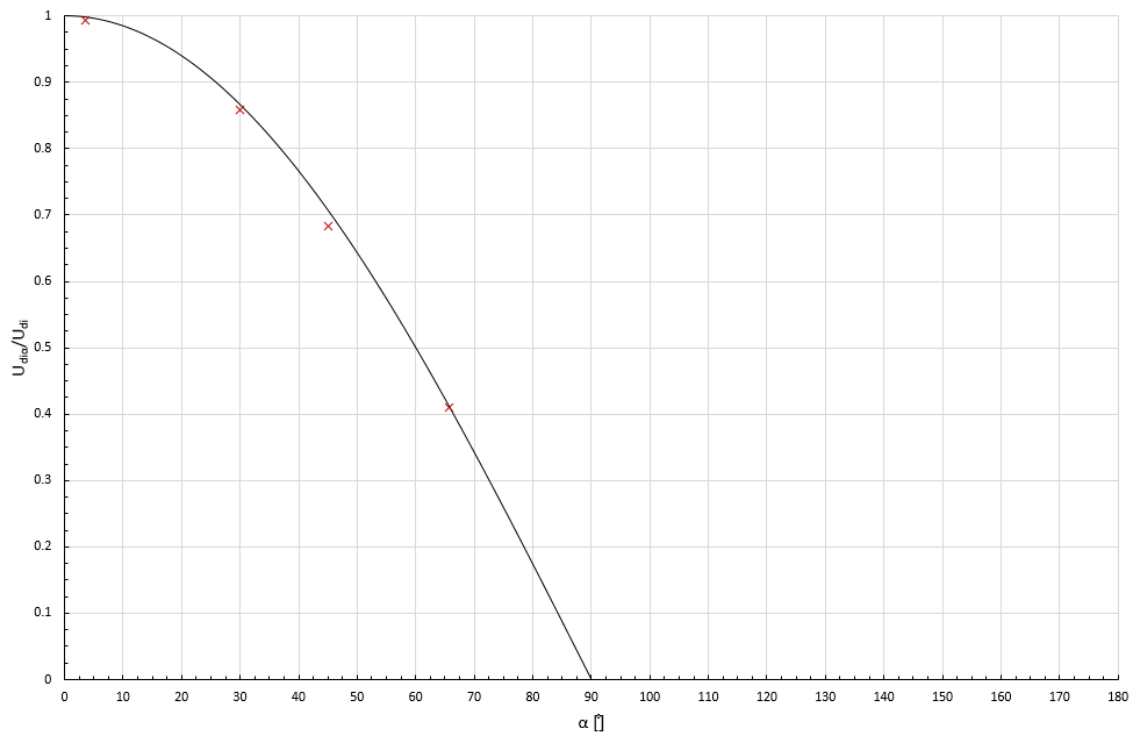


Abbildung 4.4: Steuerkennlinien der Mess- und Rechenwerte der B2C mit Energiespeicher

Es lassen sich kleine Abweichungen zu den Rechenwerten, welche sich durch die Messtoleranzen und Ableseungenauigkeiten ergeben, erkennen, jedoch ist der typische Verlauf bei ohmsch-induktiver Belastung erkennbar.

5 Brückengleichrichter B2H mit Energiespeicher (symmetrisch)

5.1 Messschaltung

Die nachfolgende Abb. zeigt die verwendete Messschaltung der symmetrischen B2H mit ohmsch-induktiver Belastung ohne der Ansteuerung und des Oszilloskops.

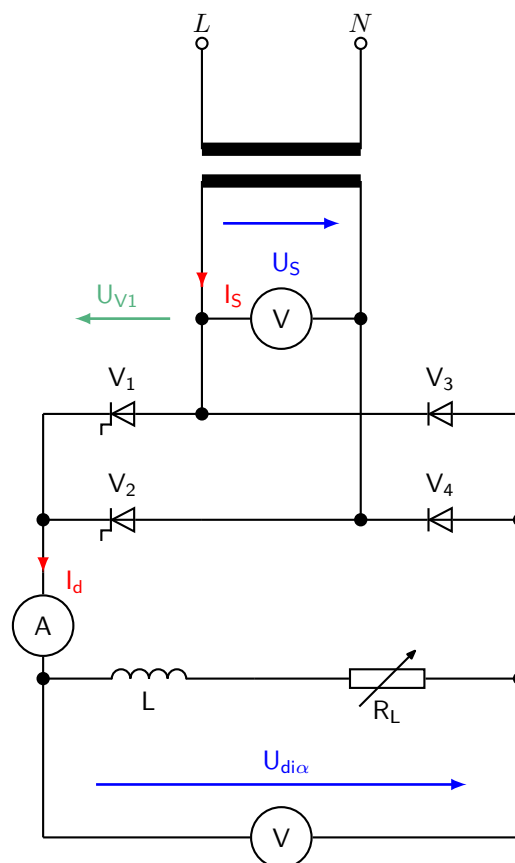


Abbildung 5.1: Messschaltung der symmetrischen B2H mit Energiespeicher

5.2 Messvorgang

Zur Kontrolle der gemessenen Werte wurde auch bei den gemessenen Zündwinkeln die Lastspannung jeweils rechnerisch mit der nachfolgenden Formel für die ohmsch-induktiv belastete, symmetrische B2H ermittelt, wobei gleich das Verhältnis für die Steuerkennlinie ausgerechnet wurde.

$$U_{\text{di}\alpha} = \frac{U_{\text{di}}}{2} \cdot (1 + \cos(\alpha)) \quad (5.1)$$

M	M	M	R _M	R _M	R
Δt	I_{d}	$U_{\text{di}\alpha}$	α	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$	$U_{\text{di}\alpha}/U_{\text{di}}$
[ms]	[A]	[V]	[°]	[—]	[—]
—	—	—	0	—	1
0.20	0.510	58.00	3.6	0.991	0.999
1.67	0.490	52.00	30	0.889	0.933
2.50	0.450	49.00	45	0.838	0.854
3.33	0.400	43.50	60	0.744	0.750
5.00	0.267	29.00	90	0.496	0.500
6.67	0.130	13.30	120	0.227	0.250
7.50	0.068	8.30	135	0.142	0.146
10.00	0	0	180	0	0

Tabelle 5.1: Mess- & Rechentabelle der symmetrischen B2H mit Energiespeicher

Während der Messung betrug $U_{\text{s}} = 65 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$.

Es wurden nun drei Oszilloskopbilder bei 45° , 90° & 135° aufgenommen. Bei der nachfolgenden Abbildung ist der typische Verlauf des Sekundärstromes bei einer B2H zu erkennen. Es existieren hier 45° -lange Lücken beim Sekundärstrom und der Laststrom ist im Mittel gleich den gemessenen $0,45\text{ A}$.

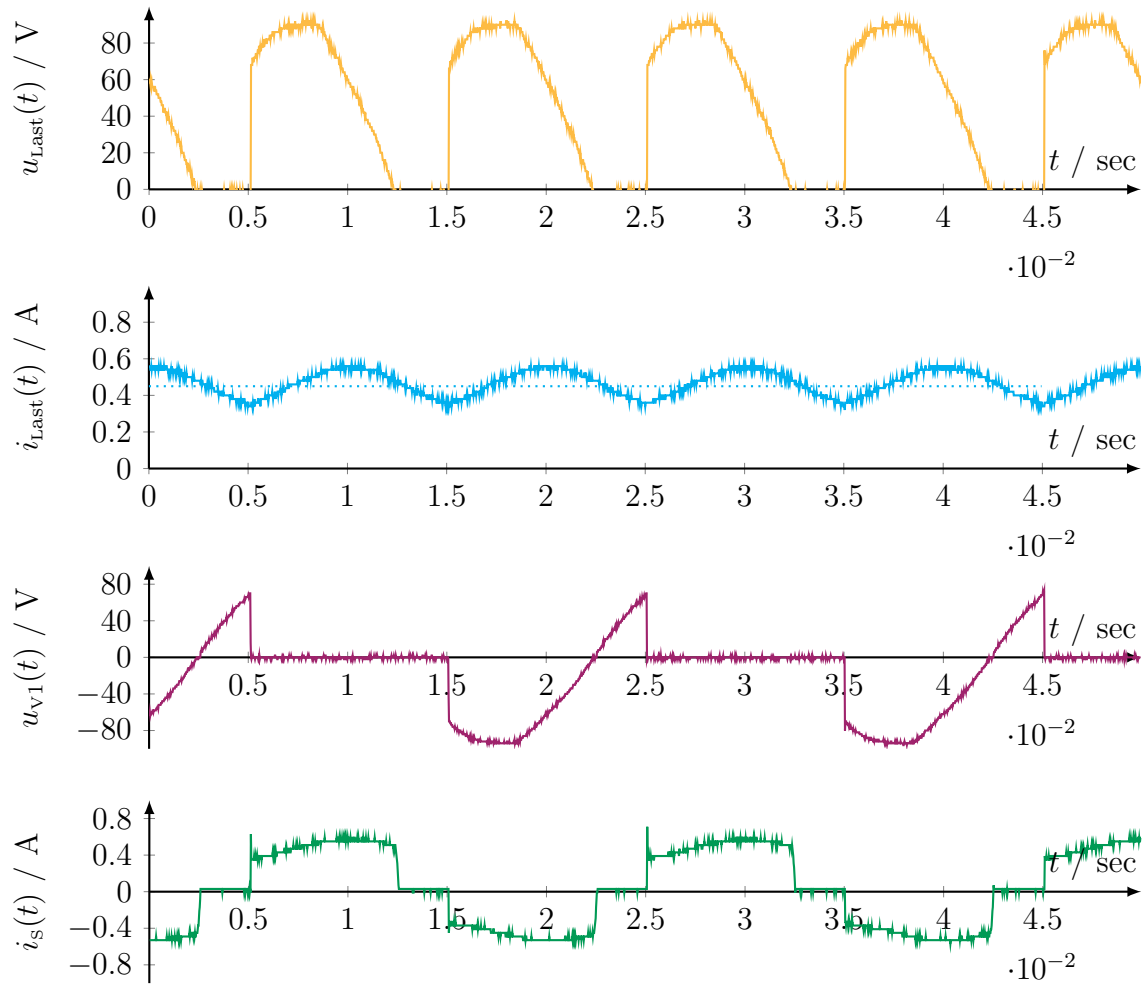


Abbildung 5.2: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 45^\circ$ (symmetrische B2H mit Energiespeicher)

Beim Ansteuerwinkel von 90° ist erkennbar, dass die Lücken des Sekundärstromes gleich lang sind wie die Stromflussphasen und der Mittelwert der Ventilspannung an V1 beträgt 0 V

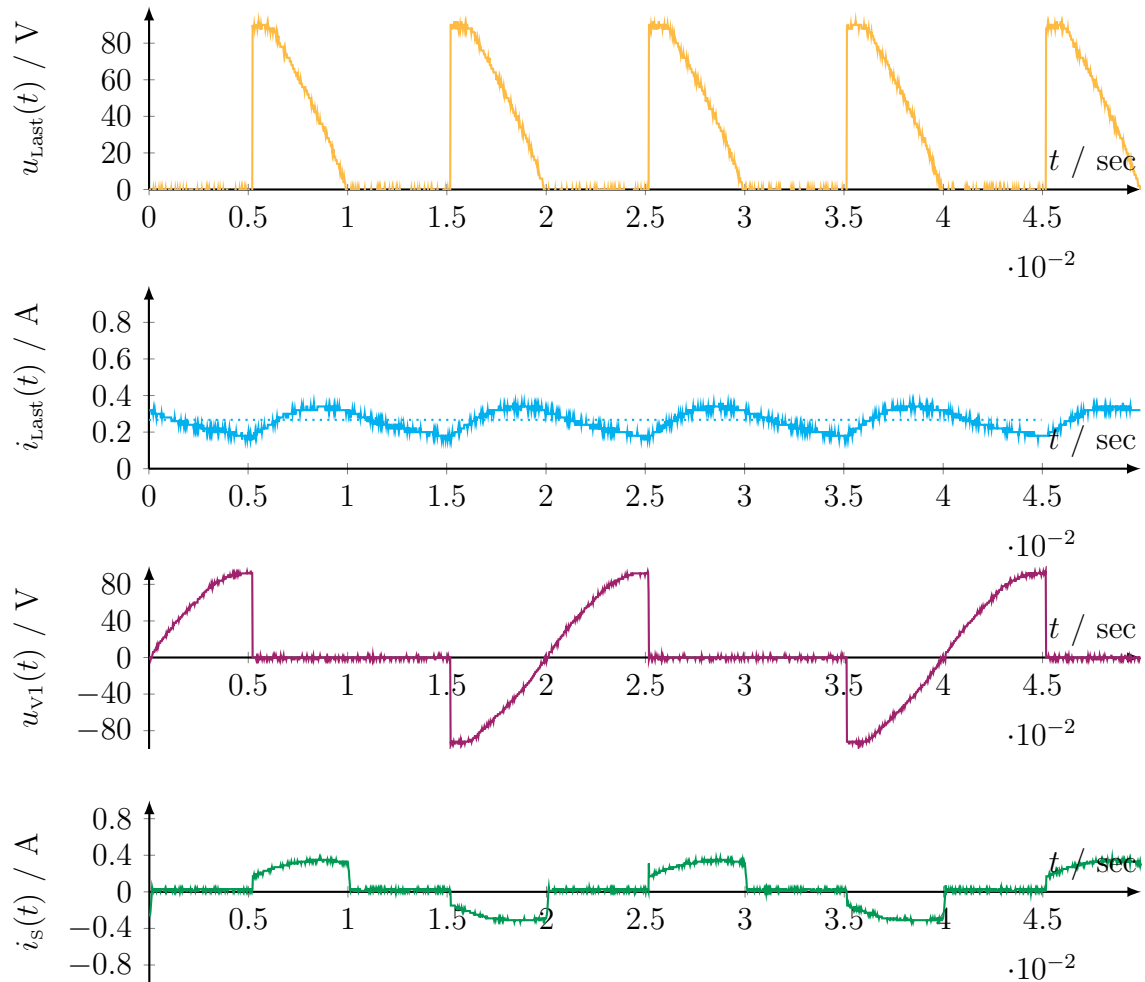


Abbildung 5.3: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 90^\circ$ (symmetrische B2H mit Energiespeicher)

Die letzte Oszilloskopaufnahme wurde bei dem Steuerwinkel $\alpha = 135^\circ$ gemacht und es lässt sich erkennen, dass am Ventil V1, wie auch bei den vorherigen Aufnahmen bei der B2H, 180° -lang eine Spannung abfällt und die restliche Zeit ist es leitend. Der Betrag des Mittelwertes der Ventilspannung bei 135° ist gleich dem Betrag des Mittelwertes der Ventilspannung bei 45° .

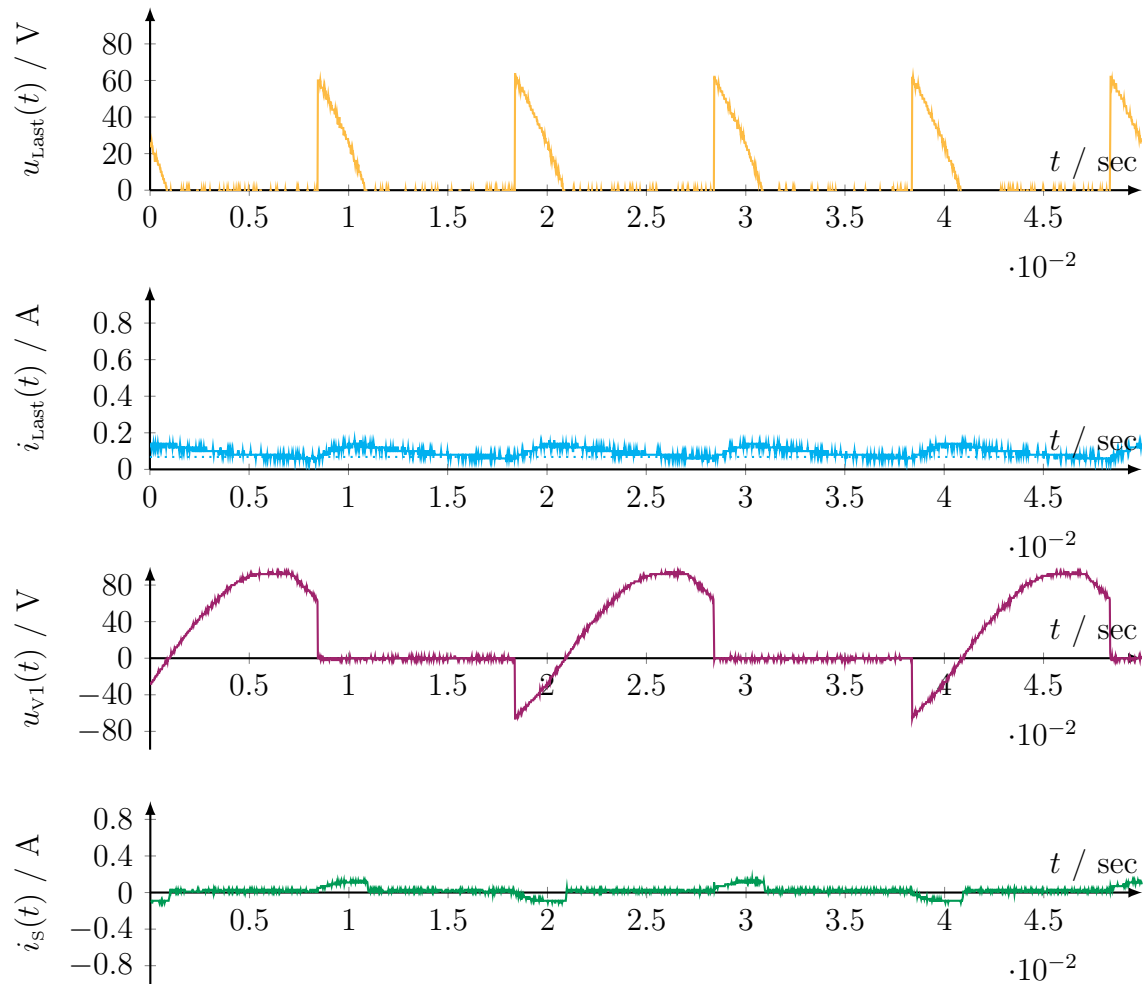


Abbildung 5.4: Zeitverläufe der Messgrößen bei $\alpha = 135^\circ$ (symmetrische B2H mit Energiespeicher)

5.3 Steuerkennlinie

Der Verlauf der Steuerkennlinie $f(\alpha)$ zeigt rechnerisch den gleichen Verlauf wie im Kap. 3.

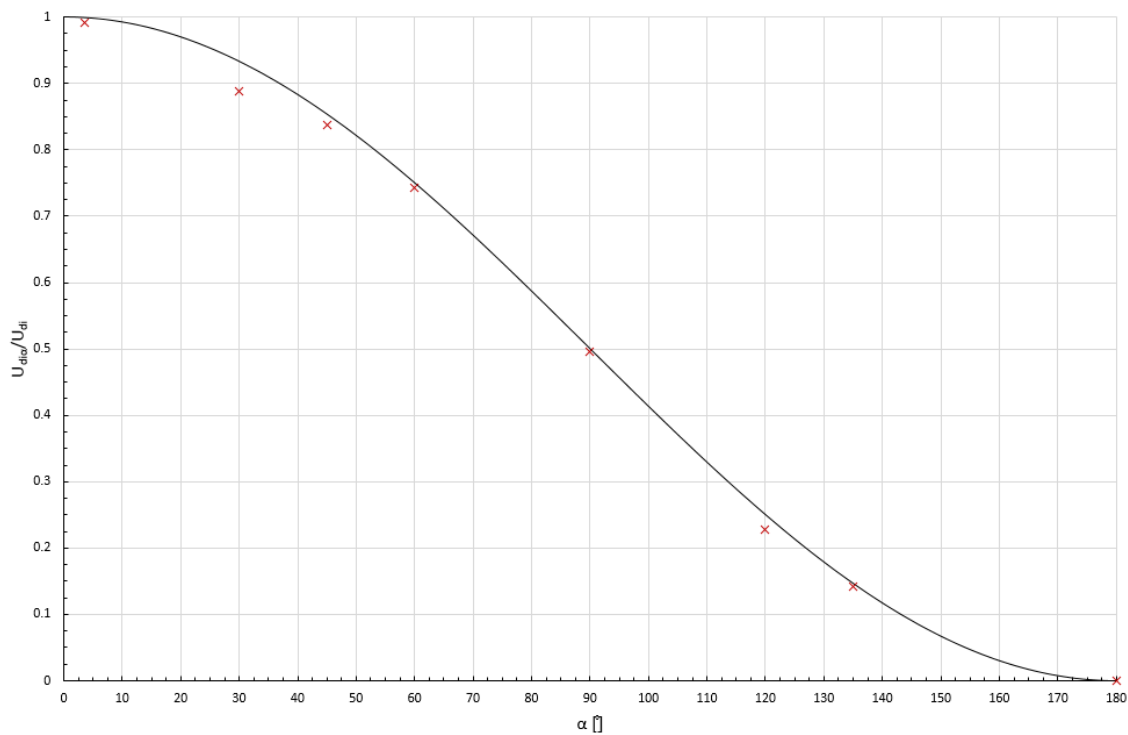


Abbildung 5.5: Steuerkennlinien der Mess- und Rechenwerte der symmetrischen B2H mit Energiespeicher

Es lässt sich prinzipiell sagen, dass die Messwerte, mit einigen Toleranzen, den Rechenwerten entsprechen.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

2.1	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	3
3.1	Mess- & Rechentabelle der B2C ohne Energiespeicher	5
4.1	Mess- & Rechentabelle der B2C mit Energiespeicher	11
5.1	Mess- & Rechentabelle der symmetrischen B2H mit Energiespeicher .	16

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bez.	Bezeichnung
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
HTBL u. VA	höhere technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt
Kap.	Kapitel
Nr.	Nummer
OStR	Oberstudienrat