



GEP
Praktikum 2

2021

B6-Brücke

7. Dezember 2021

Emily Antosch 2519935

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1 Einführung	3
2 Vorbereitung	3
3 Messreihe	4
3.1 Messung der Steuerspannung und der gleichgerichteten Spannung	4
3.2 Messung von verschiedenen Kenndaten der B6-Brücke bei ohmscher Last	5
3.3 Messung von verschiedenen Kenndaten der B6-Brücke bei ohmsch-induktiver Last	7
4 Auswertung	8
4.1 Kennlinie von Steuerspannung zu Zündwinkel	8
4.2 Kennlinie von Winkel zu gleichgerichteten Spannung bei ohmscher Last	9
4.3 Kennlinie von Winkel zu gleichgerichteter Spannung bei ohmsch-induktiver Last	10
4.4 Scheinleistung und Leistungsfaktor	11
5 Konklusion	12

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau der B6-Brücke	3
2	Startmessung des Winkels bei 10V	4
3	Beispielhafte Bilder vom Oszilloskop	5
4	Zur Messung 3.2: Bilder vom Oszilloskop	6
5	Zur Messung 3.2: Bilder vom Oszilloskop	7
6	Zur Messung 3.3: Bilder vom Oszilloskop	8
7	Zur Messung 3.3: Bilder vom Oszilloskop	8
8	Kennlinie der Messung 3.1 mit Winkel zu Steuerspannung	9
9	Gemessene zur theoretischen Kennlinie bei ohmscher Last	10
10	Gemessene zur theoretischen Kennlinie bei ohmsch-induktiver Last	11
11	Kennlinie der gemessenen und theoretischen Leistungsfaktoren	12

Tabellenverzeichnis

1	Messreihe der Steuerspannung und der gleichgerichteten Spannung im Bezug auf den Zündverzögerungswinkel	5
2	Kenndaten der B6-Brücke bei ohmscher Last in tabellarischer Form	6
3	Kenndaten der B6-Brücke bei ohmsch-induktiver Last in tabellarischer Form	7
4	Tabelle der Scheinleistung und des Leistungsfaktors	12

1 Einführung

In diesem Versuch wollen wir uns mit der netzgeführten B6-Brücke beschäftigen. Dabei wollen wir sowohl eine ohmsche als auch eine ohmsch-induktive Last untersuchen und unsere Ergebnisse mit verschiedenen Messgeräten festhalten.

2 Vorbereitung

Wir wollen uns zunächst über den Aufbau der B6-Brücke klar werden:

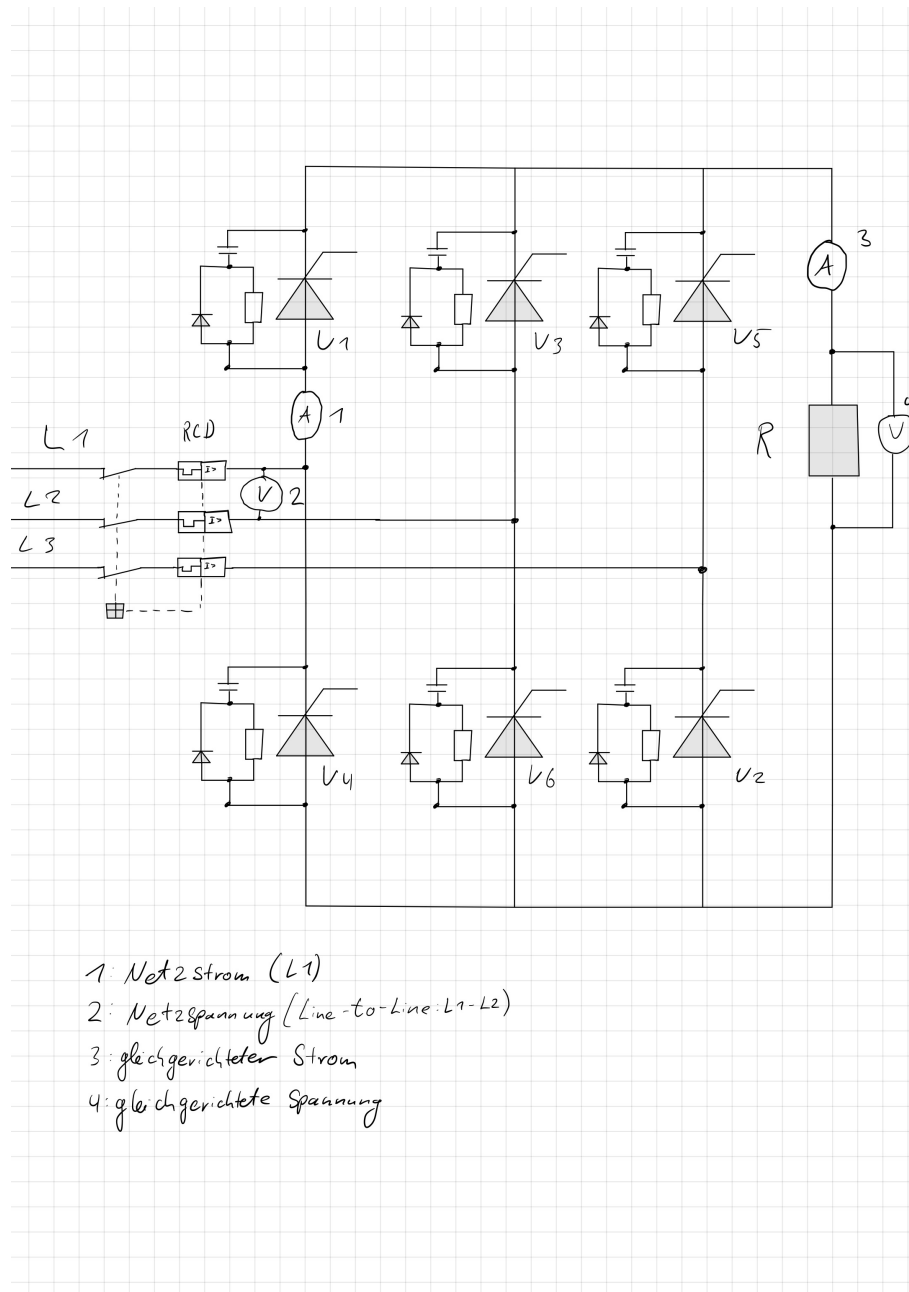


Abbildung 1: Aufbau der B6-Brücke

Zusätzlich wollen wir uns im Vorfeld überlegen, inwieweit wir sicherstellen können, dass die

vorgegebenen Werte eingehalten werden können. Mit $U_S = 26V$ und $I_{d,max} = 2A$ können wir nun bei maximaler Aussteuerung der Schaltung, also bei $\alpha = 0^\circ$, die maximale Spannung

$$U_{di\alpha} = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_L \cdot \cos(0^\circ) = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot 26V = 60.816V$$

berechnen. Um nun eine ohmsche Last zu berechnen, die die Schaltung in diesen Werten beschränkt rechnen wir

$$R_L = \frac{U_{di\alpha}}{I_{d,max}} = \frac{60,816V}{2A} = 30.4\Omega$$

3 Messreihe

3.1 Messung der Steuerspannung und der gleichgerichteten Spannung

Wir bauen nun also entsprechend der im Labor erklärten Einrichtung und der Vorbereitung entsprechend die Messschaltung auf. Dabei ist besonders auf eine korrekte Einstellung der Spannungswerte als auch auf eine korrekte Verdrahtung der sechs Thyristoren zu achten, damit diese auch in den richtigen Momenten schalten.

Wir wollen zunächst unseren Offset bei der Einstellung unseres Zündverzögerungswinkels ermitteln. Dabei stellen wir unsere Steuerspannung $U_{St} = 10V$ auf das Maximum ein und messen vom Null-durchgang der Spannung U_{21} zur ersten Zündung. Wir erhalten eine Verzögerung von $\Delta t = 3.68ms$, damit rechnen wir

$$\Delta\alpha = \Delta t \cdot 360^\circ \cdot \frac{1}{T} - 60^\circ = 3.68ms \cdot 360^\circ \cdot \frac{1}{20ms} - 60^\circ = 6,2^\circ$$

und erhalten damit den Winkel, den wir bei der minimalen Einstellung unseres Zündwinkeltransformators haben. Alle weiteren Messungen basieren dann auf diesem Offset. Der Bild auf dem Oszilloskop ist dann unten noch einmal dargestellt:

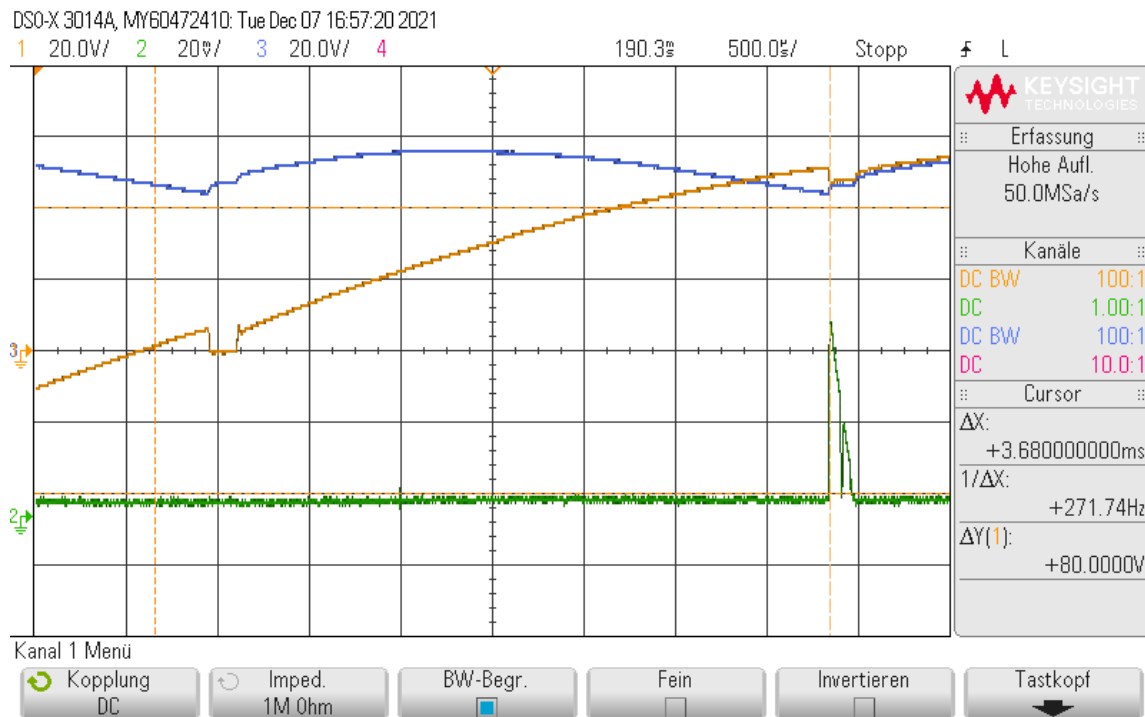


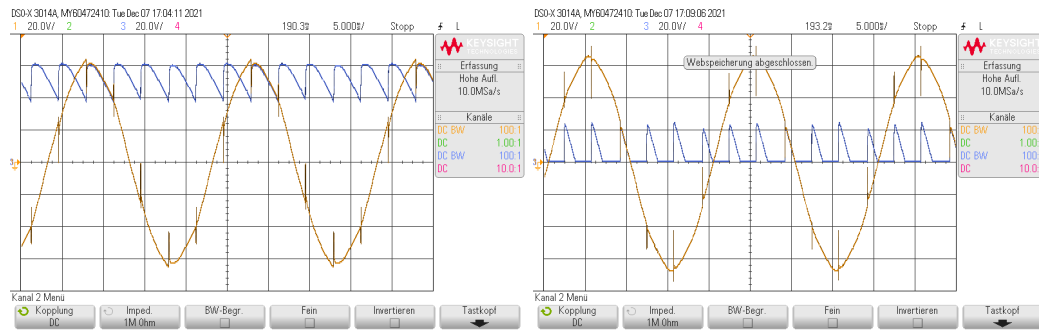
Abbildung 2: Startmessung des Winkels bei 10V

Wir wollen nun uns die Tabelle der Werte einmal anschauen:

α	U_{St}	$U_{di\alpha}$
$6,2^\circ$	56,6V	10,008V
$24,2^\circ$	53,01V	9,058V
$42,2^\circ$	44,1V	8,059V
$60,2^\circ$	31,6V	6,976V
$78,2^\circ$	20,23V	6,131V
$96,2^\circ$	8,96V	5,181V
$114,2^\circ$	1,53V	4,239V
$132,2^\circ$	0,003V	3,3V

Tabelle 1: Messreihe der Steuerspannung und der gleichgerichteten Spannung im Bezug auf den Zündverzögerungswinkel

Beispielhaft wollen wir uns dann auch das Oszilloskopbild mit den Spannungen U_{21} und $U_{di\alpha}$ anschauen:



(a) Oszilloskopbild zur Messung 3.1 für den Winkel $24,2^\circ$ (b) Oszilloskopbild zur Messung 3.1 für den Winkel $96,2^\circ$

Abbildung 3: Beispielhafte Bilder vom Oszilloskop

Besonders deutlich wird bei diesen beiden Bildern, wie eine Erhöhung des Zündverzögerungswinkels sich auf die Form der gleichgerichteten Spannung $U_{di\alpha}$ auswirkt. Die Spannung wirkt immer abgeschnittener. Dieses Verhalten und den Einfluss auf den Effektivwert des Spannung wollen wir uns im Folgenden einmal genauer anschauen.

3.2 Messung von verschiedenen Kenndaten der B6-Brücke bei ohmscher Last

Im nächsten Schritt wollen wir uns unter der vorher berechneten ohmschen Last, also eine Zusammenschaltung von drei 100Ω -Widerständen, verschiedene Kenndaten der B6-Brücke anschauen. Auch hier schauen wir uns die Werte in Abhängigkeit von dem Zündverzögerungswinkel α ausgehend von unserem Offset in 18° -Schritten an. Dabei entsprechen 18° genau einem Kästchen auf dem Oszilloskopbild nach entsprechender Skalierung, was uns die Messung der verschiedenen Werte stark erleichtert.

α	P_{zu}	U_S	I_L	I_d	$U_{di\alpha}$
$6,2^\circ$	$33,4W$	$1,39A$	$25,24V$	$1,67A$	$56,3V$
$24,2^\circ$	$28,8W$	$1,297A$	$25,36V$	$1,55A$	$52,2V$
$42,2^\circ$	$19,75W$	$1,073A$	$25,67V$	$1,26A$	$42,34V$
$60,2^\circ$	$10,77W$	$0,7083A$	$25,9V$	$0,866A$	$28,55V$
$78,2^\circ$	$4,1W$	$0,49A$	$26,3V$	$0,4512A$	$15,14V$
$96,2^\circ$	$0,728W$	$0,217A$	$26,39V$	$0,1577A$	$5,204V$
$114,2^\circ$	$0W$	$0A$	$26,6V$	$0,04A$	$0,33V$
$132,2^\circ$	$0W$	$0A$	$26,5V$	$0A$	$0,08V$

Tabelle 2: Kenndaten der B6-Brücke bei ohmscher Last in tabellarischer Form

Um unsere Messungen graphisch zu überprüfen, schauen wir uns die dazugehörigen Oszilloskopbilder auch an. Wir erkennen, dass eine Erhöhung des Zündverzögerungswinkels mit dem Absinken der Leistung einhergeht. Das entspricht auch unseren Vorstellungen. Auch die gleichgerichtete Spannung ist proportional zum Zündverzögerungswinkel.

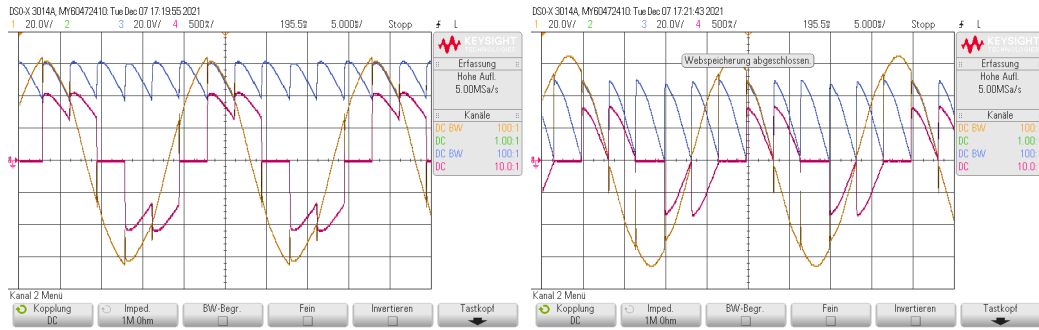
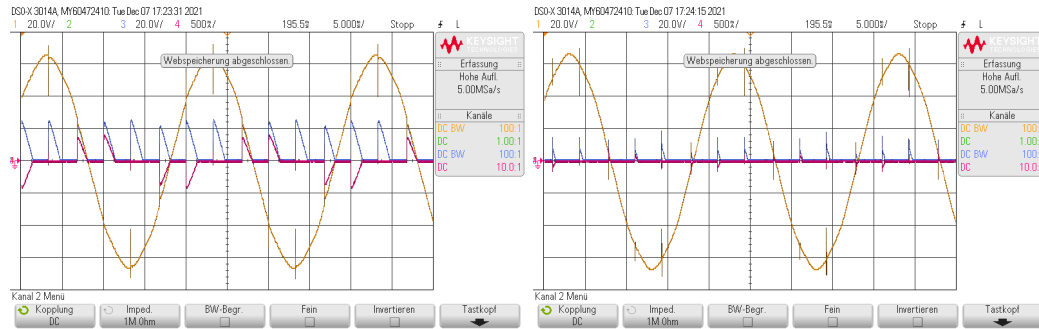
(a) Oszilloskopbild zur Messung 3.2 für den Winkel $24,2^\circ$ (b) Oszilloskopbild zur Messung 3.2 für den Winkel $60,2^\circ$

Abbildung 4: Zur Messung 3.2: Bilder vom Oszilloskop



(a) Oszilloskopbild zur Messung 3.2 für den Winkel $96,2^\circ$ (b) Oszilloskopbild zur Messung 3.2 für den Winkel $114,2^\circ$

Abbildung 5: Zur Messung 3.2: Bilder vom Oszilloskop

3.3 Messung von verschiedenen Kenndaten der B6-Brücke bei ohmsch-induktiver Last

Wir wiederholen jetzt die Messung mit einer ohmsch-induktiven Last, indem wir zu dem Widerstand noch eine Induktivität mit $L = 50mH$ in Reihe schalten.

α	P_{zu}	U_S	I_L	I_d	$U_{di\alpha}$
$6,2^\circ$	$33,15W$	$1,347A$	$25,96V$	$1,626A$	$58,17V$
$24,2^\circ$	$27,99W$	$1,236A$	$26,03V$	$1,493A$	$53,26V$
$42,2^\circ$	$17,75W$	$0,977A$	$26,15V$	$1,192A$	$42,26V$
$60,2^\circ$	$7,49W$	$0,636A$	$26,42V$	$0,77A$	$27,6V$
$78,2^\circ$	$0,936W$	$0,213A$	$26,4V$	$0,26A$	$9,13V$
$96,2^\circ$	$55mW$	$5mA$	$26,58V$	$2,2mA$	$-0,378VV$
$114,2^\circ$	$0W$	$0A$	$26,48V$	$0,7mA$	$0V$
$132,2^\circ$	$0W$	$0A$	$26,58V$	$0,21mA$	$0V$

Tabelle 3: Kenndaten der B6-Brücke bei ohmsch-induktiver Last in tabellarischer Form

Wir erkennen eine leichte Veränderung bei den Werten zum ohmschen Versuch. Interessant ist das Messergebnis, in dem die gleichgerichtete Spannung negativ wird. Dies ist ein Verhalten der B6-Brücke, die theoretisch möglich ist, in der Realität aber nur im begrenzten Umfeld auftaucht. Besonders deutlich auf diesen Darstellungen des Oszilloskops im Vergleich zu der ohmschen Last aus Messung 3.2 wird hier die Glättung der gleichgerichteten Spannung. Anstatt von zwar klar getrennten Peaks entsteht nun ein weitaus fließenderer Übergang. Dies bestätigt die in der Vorlesung gelernten Inhalte.

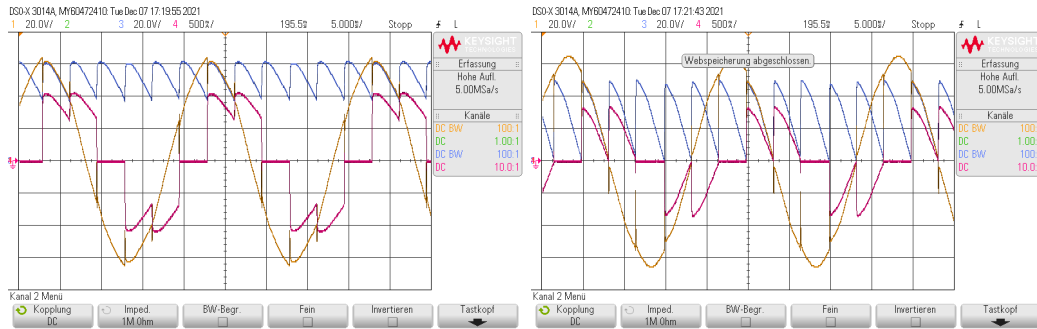
(a) Oszilloskopbild zur Messung 3.3 für den Winkel $24,2^\circ$ (b) Oszilloskopbild zur Messung 3.3 für den Winkel $60,2^\circ$

Abbildung 6: Zur Messung 3.3: Bilder vom Oszilloskop

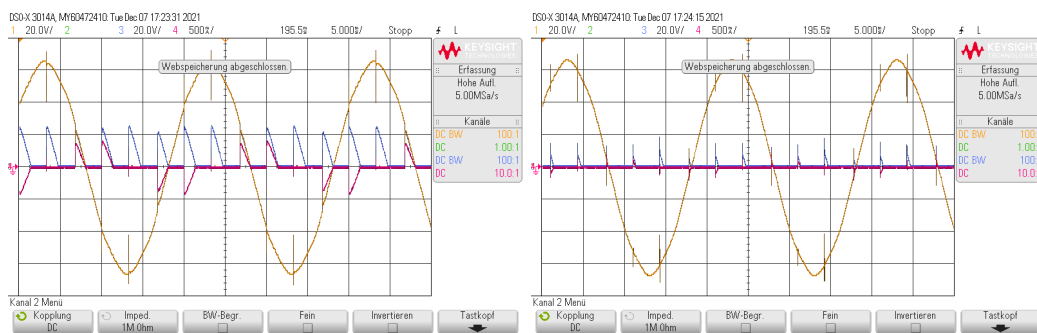
(a) Oszilloskopbild zur Messung 3.3 für den Winkel $96,2^\circ$ (b) Oszilloskopbild zur Messung 3.3 für den Winkel $114,2^\circ$

Abbildung 7: Zur Messung 3.3: Bilder vom Oszilloskop

4 Auswertung

4.1 Kennlinie von Steuerspannung zu Zündwinkel

Aus der Messreihe 3.1 wollen wir die Kennlinie $\alpha = f(U_{St})$ erstellen:

Wir erkennen einen anti-proportionalen Zusammenhang zwischen der Steuerspannung U_{St} und dem Winkel α . Dabei haben wir einen ungefähre Steigung von

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{6,2^\circ - 132,2^\circ}{10,008V - 3,3V} = \frac{-126^\circ}{6,7V} = -18,8 \frac{Grad}{V}$$

ermitteln können.

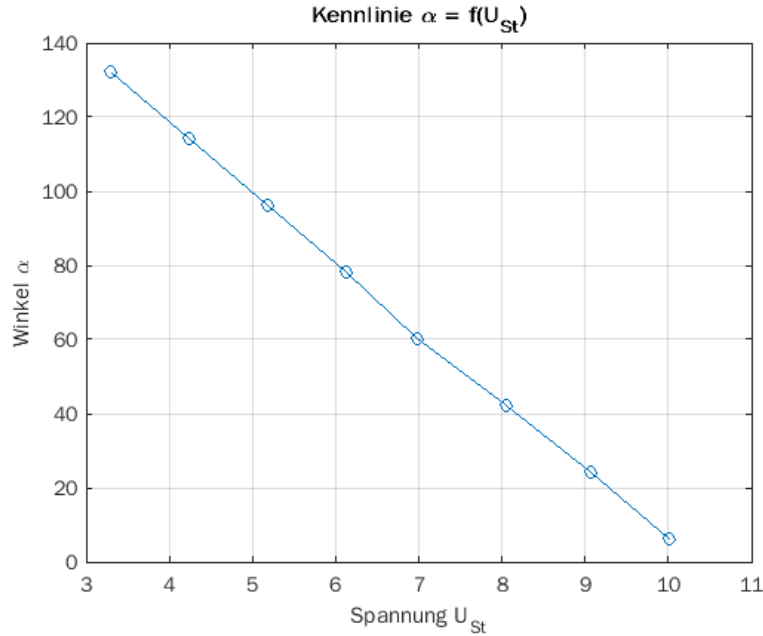


Abbildung 8: Kennlinie der Messung 3.1 mit Winkel zu Steuerspannung

4.2 Kennlinie von Winkel zu gleichgerichteten Spannung bei ohmscher Last

Als nächstes vergleichen wir die gemessenen Kennlinie von Winkel zu gleichgerichteter Spannung bei ohmscher Last zu der theoretischen Kennlinie:

Die gemessene und die theoretische Kennlinie haben am Anfang der Messung zunächst ein kleines Offset, der sich dann aber im Verlauf der Messung immer besser anpasst. Bei hohem Zündverzögerungswinkel sind die beiden Kennlinien beinahe identisch. Zur Berechnung der theoretischen Kennlinie sollte bedacht werden, dass eine B6-Brücke bei rein ohmscher Last ab $\alpha > 60^\circ$ in einen lückenden Betrieb geht. Es gilt:

$$a_{th} = \begin{cases} \cos(\alpha) & 0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ \\ 1 + \frac{\cos(\alpha)}{2} - \frac{\sqrt{3} \cdot \sin(\alpha)}{2} & 60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ \end{cases}$$

mit der Gleichung

$$U_{di\alpha,th} = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_L \cdot a_{th} \quad (1)$$

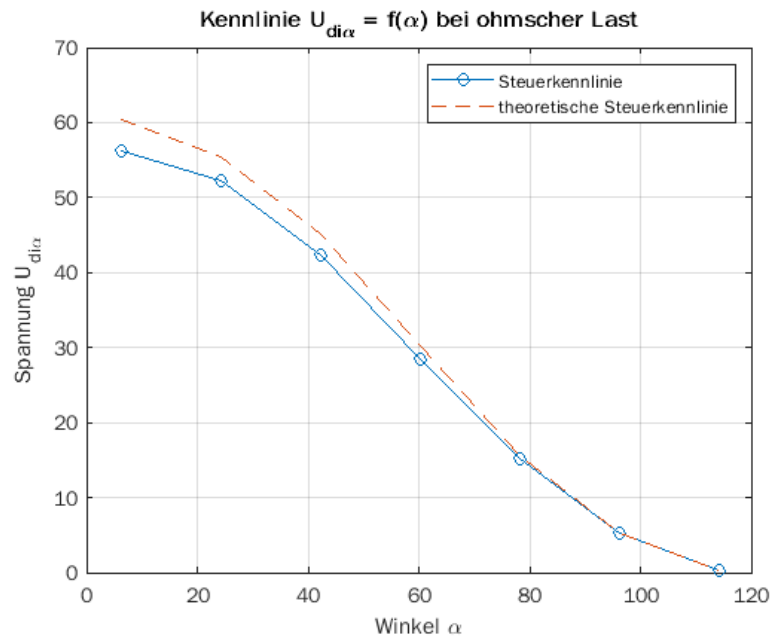


Abbildung 9: Gemessene zur theoretischen Kennlinie bei ohmscher Last

4.3 Kennlinie von Winkel zu gleichgerichteter Spannung bei ohmsch-induktiver Last

Wir wiederholen die Analyse jedoch diesmal bei ohmsch-induktiver Last. Die Kennlinien sehen dabei folgendermaßen aus:

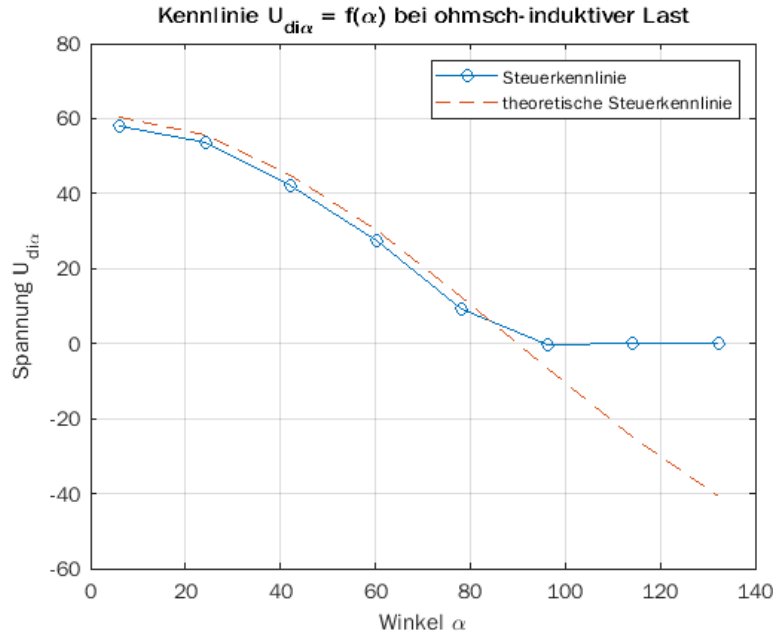


Abbildung 10: Gemessene zur theoretischen Kennlinie bei ohmsch-induktiver Last

Auch hier berechnen wir die theoretische Steuerkennlinie über

$$a_{th} = \cos(\alpha) \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$$

mit der Gleichung (1).

Diese Kennlinien sind am Beginn der Messung ziemlich nah beieinander, driften jedoch ab einem Winkel von ca. $\alpha = 78,2^\circ$ stark voneinander ab. Die theoretische Kennlinie geht dabei auch weit in den negativen Bereich über. Dies lässt sich auf die Speichereigenschaft der Spule zurückführen. In der mathematischen Berechnung erreicht der $\cos(\alpha)$ für $\alpha > 90^\circ$ den negativen Bereich, weshalb die berechnete Kennlinie hier in den negativen Bereich übergeht.

4.4 Scheinleistung und Leistungsfaktor

Im letzten Teil der Auswertung wollen wir nun die Scheinleistung und den daraus resultierenden Leistungsfaktor berechnen. Die Scheinleistung berechnet sich über

$$S = U_{1N} \cdot I_L$$

Für den Leistungsfaktor rechnen wir

$$\lambda = \frac{P_{zu}}{S} \quad \text{mit } P_{zu} \text{ als Wirkleistung}$$

Die Größen für die Berechnung der beiden Werte können wir aus den Messungen 3.2 und 3.3 entnehmen.

(a) bei ohmscher Last			(b) bei ohmsch-induktiver Last		
S	P_{zu}	λ	S	P_{zu}	λ
35,0836VA	33,4W	0,952	34,9681VA	33,15W	0,948
32,891VA	28,8W	0,8756	32,1731VA	27,99W	0,87
27,5439VA	19,75W	0,717	25,5485VA	17,75W	0,6948
18,345VA	10,77W	0,5871	16,8031VA	7,49W	0,4458
12,887VA	4,1W	0,3182	5,6232VA	0,936W	0,1665
5,7266VA	0,728W	0,1271	0,1329VA	0,055W	0,4138
0VA	0W	—	0VA	0W	—
0VA	0W	—	0VA	0W	—

Tabelle 4: Tabelle der Scheinleistung und des Leistungsfaktors

Mit diesen Werten möchten wir nun eine neue Kennlinie für den Leistungsfaktor plotten.

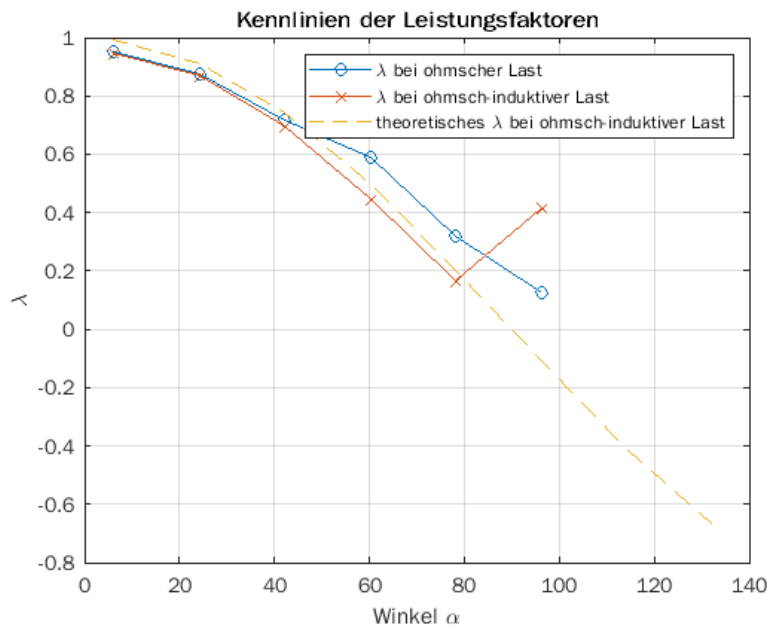


Abbildung 11: Kennlinie der gemessenen und theoretischen Leistungsfaktoren

Wir können hier erkennen, dass die theoretische Kennlinie sehr der Kennlinie entspricht, die wir auch bei der gleichgerichteten Spannung beobachtet haben. Dadurch, dass die Schaltung nicht rückspeisefähig ist, können wir an der realen Kennlinie zum Leistungsfaktor bei ohmsch-induktiver Last einen Peak gegen Ende der Kennlinie erkennen, die im Gegensatz zu der theoretischen Kennlinie steht, bei die Rückspeisefähigkeit vorausgesetzt wird. Abgesehen davon sind die reale und theoretische Kennlinie sehr nah beieinander und verlaufen mit einem kleinen Offset nebeneinander.

5 Konklusion

Aus dem Labor konnten wir das Verhalten der B6-Brücke besser verstehen, indem wir verschiedene Schaltvorgänge und Verhalten der Schaltung genauer untersucht haben und selbst mit der Schaltung arbeiten konnten. Wir haben viele Zusammenhänge, die wir in der Vorlesung bereits behandelt haben, besser verinnerlichen können. Auch ein konzentrierter sorgfältiger Aufbau einer Messschaltung mit vielen verschiedenen Bauelement und Einstellmöglichkeiten wurde geübt. Viele grundlegende Handgriffe und Arbeitsweisen in einem elektrotechnischen Labor sind viel klarer ge-

worden. Besonders durch die Corona-Pandemie fehlte es vorher an Routine und Praxierfahrung im Labor.