

Dokumentation

zum Projekt

Sperrwandler

HTL
St. Pölten

EL

Gruppe / Klasse 5 / 4BHLS	Mitarbeiter HIRSCH L.	Unterschrift
Übungs- / Abgabedatum 7. Nov. 2014 10. Feb. 2015	Mitarbeiter HOFSTÄTTER A.	Unterschrift
Lehrer Tillich	Mitarbeiter	Unterschrift
Note	Mitarbeiter	Unterschrift

Projekt *Sperrwandler*

Verwendete Geräte

Nr.	Gerät	Hersteller	Typ
1.	Netzgerät	EMG	18135
2.	Digital Multimeter	TE.Electronic	VA18B
3.	Oszilloskope	Tektronix	TDS 1001B

Verwendete Programme

Nr.	Name	Version
1.	Altium Designer	2013

1 Inhaltsverzeichnis

1	INHALTSVERZEICHNIS	1
2	AUFGABENSTELLUNG	4
2.1	DURCHZUFÜHRENDE MESSUNGEN	4
2.2	VORGABEWERTE	4
3	GRUNDPRINZIP DES SPERRWANDLERS.....	5
3.1	ABLAUF	5
3.1.1	GEGENÜBERSTELLUNG	6
3.2	IMPULSGENERATOR	6
3.3	POWER-ZENER-DIODE	7
4	DIMENSIONIERUNG	8
4.1	PRIMÄRSEITE (L_1)	8
4.2	SEKUNDÄRSEITE (L_2)	8
4.3	IMPULSGENERATOR	8
4.4	POWER-ZENER-DIODE	9
5	HERSTELLUNG DER SPULE	9
6	KOMPLETTE SCHALTUNG	10
6.1	FUNKTIONSPRINZIP	10
6.2	GLEICHZEITIGE MESSUNG VON STROM UND SPANNUNG	10
7	STREUINDUKTIVITÄT	11
7.1	ALLGEMEIN	11
7.2	MESSAUFBAU	11
8	POWER-ZENER-DIODE.....	12
8.1	SCHALTUNG	12
8.2	KENNLINIE	12
8.3	MESSPUNKTE	12
9	SCHALTREGLER MIT GERINGER LAST (TASTVERHÄLTNIS 1:10)	13
9.1	MESSAUFBAU	13
9.2	MESSERGEBNISSE ALLER STRÖME UND SPANNUNGEN	13
9.2.1	NE555 (TAKTSIGNAL)	13
9.2.2	MOS-FET (SCHALTER)	14
9.2.3	SPULE L_1 (PRIMÄR)	14
9.2.4	SPULE L_2 (SEKUNDÄR)	15
9.2.5	DIODE.....	15
9.2.6	KONDENSATOR.....	16
10	SCHALTREGLER MIT VOLLER LAST (TASTVERHÄLTNIS 1:3)	17
10.1	MESSAUFBAU.....	17
10.2	MESSERGEBNISSE ALLER STRÖME UND SPANNUNGEN	17
10.2.1	NE555 (TAKTSIGNAL)	17
10.2.2	MOS-FET (SCHALTER)	18
10.2.3	SPULE L_1 (PRIMÄR)	18

10.2.4	SPULE L_2 (SEKUNDÄR)	19
10.2.5	DIODE.....	19
10.2.6	KONDENSATOR.....	20
11	RÜCKKOPPLUNG MIT OPTOKOPPLER	21
11.1	MESSAUFBAU.....	21
11.2	MESSERGEBNISSE ALLER STRÖME UND SPANNUNGEN	21
11.2.1	NE555 (TAKTSIGNAL)	21
11.2.2	MOS-FET (SCHALTER)	22
11.2.3	SPULE L_1 (PRIMÄR)	22
11.2.4	SPULE L_2 (SEKUNDÄR)	23
11.2.5	DIODE.....	23
11.2.6	KONDENSATOR.....	24
12	SPERRWANDLER MIT DYNAMISCHE LAST	25
12.1	MESSAUFBAU.....	25
12.2	MESSERGEBNIS.....	25
13	BODEDIAGRAMM	26
13.1	BERECHNUNGEN	26
13.2	MESSAUFBAU.....	26
13.3	MESSERGEBNISSE	27
13.3.1	AMPLITUDE RESPONSE ($j\omega$)	27
13.3.2	PHASENGANG	27
14	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	28

2 Aufgabenstellung

Ziel des Projekts war es einen Sperrwandler mit teilweise gegebenen Parametern aufzubauen. Der Aufbau wurde komplett am Steckbrett realisiert und betrieben. Die Verwendung von externen Geräten war nur bei Messgeräten und Versorgungsquellen der Fall. Der Taktgeber ist ein NE555 als astabile Kippstufe. Unter anderem wurden folgende Aufgabenstellungen erledigt.

- Dimensionierung
- Berechnung
- Aufbau
- Funktionstest
- Messungen

Anschließend wurden verschiedene Messungen von Spannungen und Strömen mit unterschiedlichen Tastverhältnissen durchgeführt. Es fanden Messungen bei geringer Last, aber auch bei fast Volllast statt. Final wurde noch ein Optokoppler mit Rückkopplung eingebaut um unter anderem eine galvanische Trennung des Ausgangs zu ermöglichen. Weiteres wurden Messungen bei dynamischer Last durchgeführt und ein Bodediagramm erstellt.

2.1 Durchzuführende Messungen

Neben allgemeinen Messungen und Kennlinien (Power-Zener-Diode) wurden folgende Messpunkte bei verschiedenen Tastverhältnissen, Lasten und Messaufbauten gemessen.

Zusammengehörende Messpunkte sind immer gleichzeitig an zwei verschiedenen Kanälen aufgezeichnet worden. Falls möglich, wurde Spannung immer am Kanal 1 gemessen, Strom hingegen immer am Kanal 2.

- $U_{C1}(t)$ und $U_3(t)$
- $U_{DS}(t)$ und $I_{DS}(t)$
- $U_1(t)$ und $I_1(t)$
- $U_2(t)$ und $I_2(t)$
- $U_D(t)$ und $I_D(t)$
- $U_{\Delta C}(t)$ und $I_{\Delta C}(t)$

2.2 Vorgabewerte

Folgende Werte waren Teil der individuellen Aufgabenstellung und wurden als Basis für die folgende Dimensionierung herangenommen.

$$U_A = 5 \text{ V}$$

$$U_B = 9 \text{ V}$$

$$f_T = 120 \text{ kHz}$$

$$P = 3 \text{ W}$$

Alle anderen benötigten Werte wurden anschließend eigenständig dimensioniert und berechnet.

3 Grundprinzip des Sperrwandlers

Das Grundprinzip des Sperrwandlers ist, dass eine kleine Menge Energie im Magnetfeld eines Trafos, bestehend aus dem idealen Übertrager L_1 und L_2 und der Hauptinduktivität L_H , gespeichert wird. Der eigentliche Energietransport auf die Sekundärseite findet während der Sperrphase statt, weshalb diese Schaltung als Sperrwandler bezeichnet wird.

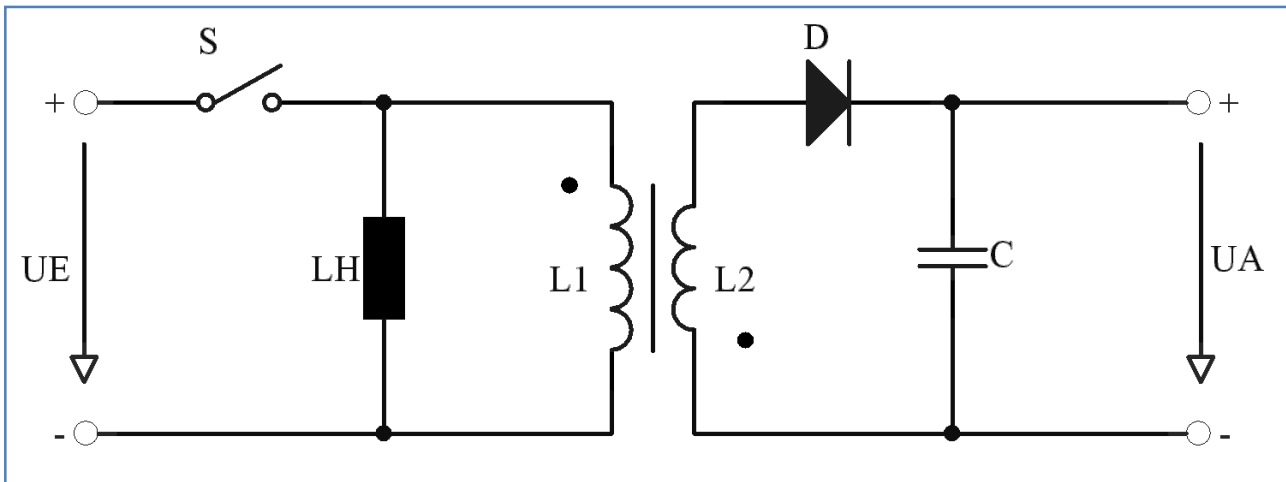


Abbildung 1. – Grundprinzip eines Sperrwandlers

3.1 Ablauf

1. Die 1. Phase ist das „Laden“ der Hauptinduktivität
2. Die 2. Phase ist nun das „Entladen“ über die Sekundärseite.

Dieser Zyklus wird mit einer Schaltfrequenz von einigen tausend Mal pro Sekunde durchlaufen, so dass ein quasi kontinuierlicher Energiefluss von der Erzeuger- zur Verbraucherseite entsteht.

Die 1. Phase ist die Leitphase mit geschlossenem, die 2. Phase die Sperrphase mit geöffnetem Schalter S .

Während der Leitphase sperrt die Diode D und es fließt somit nur Strom durch die Hauptinduktivität L_H welcher aufgrund der Eingangsspannung U_E zu Stande kommt. Die Wicklung L_2 ist stromlos. Es baut sich im Luftspalt der Spule eine magnetische Spannung auf. In dieser Phase gibt es keine Energieübertragung, die Ausgangsspannung wird nur durch den Kondensator C gehalten.

Öffnet sich der Schalter S , so beginnt die Sperrphase. Der Strom I_1 wird durch den offenen Schalter schlagartig zu null, da aber der Strom durch die Hauptinduktivität L_H nicht springen kann, fließt er über den idealen Übertrager, also L_1 und L_2 , und über die Diode D zum Ausgang. Dort lädt er den Kondensator C auf die Ausgangsspannung U_A auf.

Dieser Strom nimmt linear ab und wird im lückenden Betrieb schließlich null, wenn alle Energie aus der Spule abgeflossen ist, die Spule also "entladen" ist. Danach schließt der Schalter wieder, die Leitphase beginnt wieder, und der Zyklus beginnt von neuem.

Eine nicht ideale Spule verfügt über Wicklungskapazitäten, die zu Beginn der Sperrphase ebenfalls aufgeladen wurden. Die dort gespeicherte Energie führt mit der Spule zusammen zu einer gedämpften Eigenresonanzschwingung (Schwingkreis), nachdem die Spule ihren gesamten Strom abgegeben hat.

In der Praxis wird als Schalter ein Transistor eingesetzt, wobei die Schaltfrequenz üblicherweise ca. von 16 kHz (knapp über dem Hörbereich zur Vermeidung von Störgeräuschen) bis über 500 kHz gewählt werden – höhere Frequenzen erlauben die Verwendung kleinerer Spulen, bedingen aber höhere Verluste im Schaltelement und der Diode.

3.1.1 Gegenüberstellung

Vorteile:

- Relativ geringer Bauteilaufwand
- Leistungen bis einige 100 W
- Wenig Platzbedarf
- Geringes Gewicht

Nachteile:

- EMV Problematik
- Hoher Filteraufwand (hohe Frequenzen)
- Ansteuerelektronik (ICs)

3.2 Impulsgenerator

Der NE555 wird hier als astabiler Multivibrator betrieben, dieser erzeugt saubere Rechtecksignale mit nicht abgerundeten Flanken.

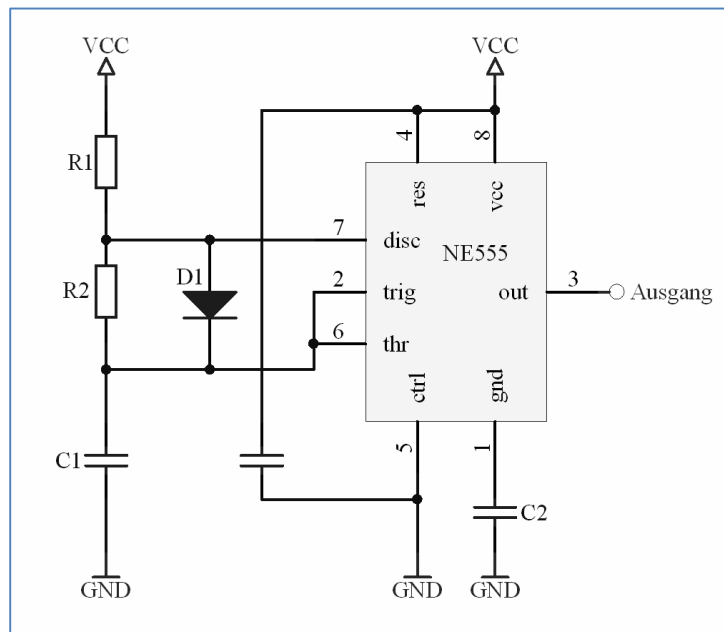


Abbildung 2. – Grundaufbau des Impulsgenerators (NE555)

Der frequenzbestimmende Kondensator $C1$ liegt zwischen Pin 6 und Masse. Um ein Schwingen der Schaltung zu vermeiden, wird zusätzlich ein Kondensator $C2$ zwischen Pin 1 und Masse gehängt. Aufgrund der nicht benötigten Reset Funktion, wurde der Pin 4 mit der dem positiven Versorgungspotential verbunden.

3.3 Power-Zener-Diode

Um eine leistungsstarke Power Z-Diode zu schaffen wurde auf die Benutzung teurer vorgefertigter Power-Zener-Dioden verzichtet und mit die einfache Methode der Kombination mit einer kleinen Z-Diode (wahlweise LED) und zwei Transistoren, wobei der einer dieser beiden ein Leistungstransistor sein muss. Ein Vorteil dieser Methode ist die flexiblere Gestaltung von Begrenzungsspannung und zulässiger Verlustleistung.



Abbildung 3. – Standard Z-Diode

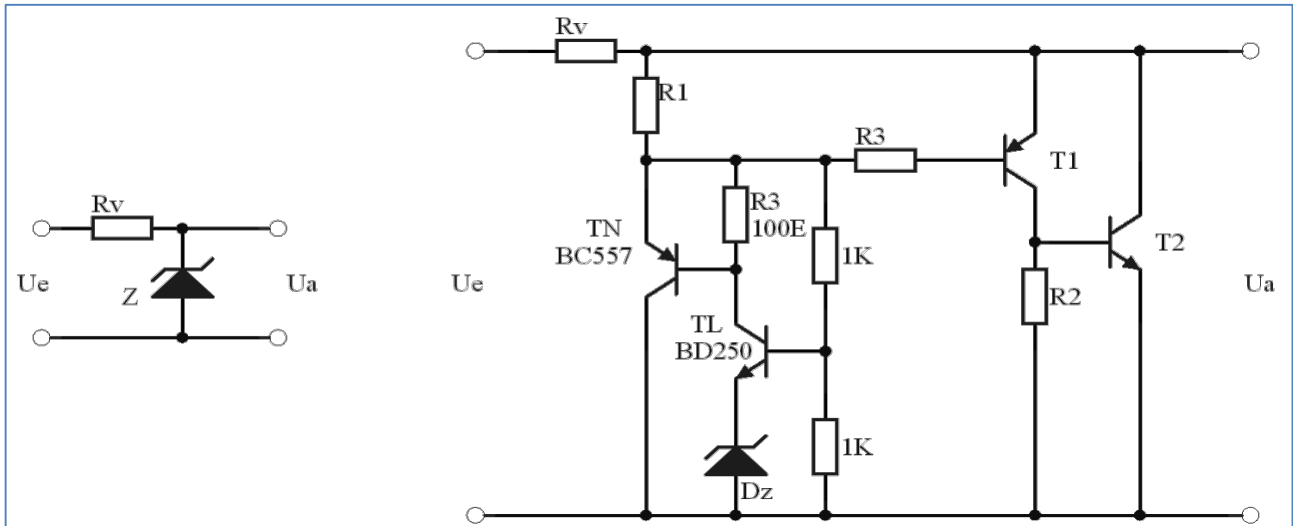


Abbildung 4. – Aufbau einer Power-Zener-Diode

Abbildung 4 zeigt rechts die Power-Z-Diode, bestehend aus einer kleinen leistungsschwachen Z-Diode als Referenzspannungsquelle und einer zweistufigen Transistorverstärkerschaltung. Wenn U_e niedriger ist als die Zenerspannung von D_z , hat die Basis von T_1 über R_1 Emittential. T_1 ist offen. Die Basis von T_2 hat über R_2 Emittential. T_2 ist ebenfalls offen. Durch die Power-Z-Diode fließt daher kein Strom. Übersteigt U_e die Zenerspannung von Z plus die Basis-Emitter-Spannung von T_1 , fließt ein Strom durch die Basis von T_1 und durch Z . Dieser Basisstrom erzeugt verstärkt einen T_1 -Kollektorstrom, der grösstenteils dem Basisstrom von T_2 entsprechen soll. Dadurch fließt ebenfalls stromverstärkt ein T_2 -Kollektorstrom. Die Zenerspannung von Z plus die Basis-Emitter-Spannung von T_1 bestimmen die "Zenerspannung" U_a der Power-Z-Diode.

Steigt U_e weiter, fließen einfach um so mehr Basisströme in T_1 und T_2 und der dadurch zunehmende T_2 -Kollektorstrom nimmt gerade soviel Strom auf, dass U_a konstant bleibt. Sieht man vom Strom durch R_1 ab, fließt durch Z ein Strom der aus dem T_2 -Kollektorstrom dividiert durch die beiden Stromverstärkungsfaktoren von T_1 und T_2 resultiert.

Anmerkung: In nachfolgenden Schaltungen wird die Power-Z-Diode unter einem einzigen Symbol zusammengefasst und verwendet.

Die Schaltung mit den hier verwendeten Bauteilen hat eine Zenerspannung von 5V1, welche als konstante Last konstruiert wurde.

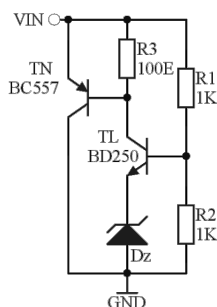


Abbildung 5. – Verwendete Power-Z-Diode



Abbildung 6. – Verwendetes Power-Z Symbol

4 Dimensionierung

$$T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{120 \text{ kHz}} \rightarrow T_T = 8,3 \mu\text{s}$$

$$t_{ON} = t_{OFF} = 50 \% = \frac{8,3 \mu\text{s}}{2} \rightarrow t_{ON} = t_{OFF} = 4,16 \mu\text{s}$$

$$I_E = \frac{P_E}{U_E} = \frac{3 \text{ W}}{9 \text{ V}} \rightarrow I_E = 0,3 \text{ A}$$

$$\ddot{u} = \frac{U_E}{U_A} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{9 \text{ V}}{5 \text{ V}} \rightarrow \ddot{u} = 1,8$$

$$R_A = \frac{U_A^2}{P_A} = \frac{(5 \text{ V})^2}{3 \text{ W}} = 8,3 \Omega \rightarrow R_A = 8,2 \Omega$$

4.1 Primärseite (L_1)

$$\Delta I_1 = \frac{U_E * t_{ON}}{L_1} = I_1 * 4 = \frac{P_E}{U_B} * 4 = 0,3 \text{ A} * 4 \rightarrow \Delta I_1 = 1,3 \text{ A}$$

$$L_1 = \frac{U_E * t_{ON}}{\Delta I_1} = \frac{9 \text{ V} * 4,16 \mu\text{s}}{1,3 \text{ A}} \rightarrow L_1 = 28,8 \mu\text{H}$$

Aufgrund der Verwendung eines Ferrit Kerns konnte ein A_L Wert von $250 \text{ nH}/N^2$ zur nachfolgenden Berechnung herangezogen werden.

$$L_1 = A_L * N_1^2 \rightarrow N_1 = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{28,1 \mu\text{H}}{250 \text{ nH}/N^2}} = 10,6 \text{ Wdg} \rightarrow N_1 = 11 \text{ Wdg}$$

4.2 Sekundärseite (L_2)

$$N_2 = \frac{N_1}{\ddot{u}} = \frac{11 \text{ Wdg}}{1,8} \rightarrow N_2 = 6 \text{ Wdg}$$

$$\Delta I_2 = \Delta I_1 * \ddot{u} = 1,3 \text{ A} * 1,8 \rightarrow \Delta I_2 = 2,39 \text{ A}$$

$$\Delta U_A = \frac{U_A}{100} = \frac{5 \text{ V}}{100} \rightarrow \Delta U_A = 50 \text{ mV}$$

$$C = \frac{t_{ON} * \ddot{u}}{\Delta U_A} = \frac{4,16 \mu\text{s} * 1,8}{50 \text{ mV}} = 149,9 \mu\text{F} \rightarrow C = 220 \mu\text{F}$$

4.3 Impulsgenerator

$$t_{ON} = 0,69 * R_1 * C_1$$

$$t_{OFF} = 0,69 * R_2 * C_1$$

Aufgrund des Taktverhältnisses von 50 % und oben genannter allgemeinen Formeln konnte folgendes angenommen werden.

$$t_{ON} = t_{OFF} \rightarrow R_1 = R_2$$

Die Annahmewerte der beiden Widerstände sind daher $R_1 = R_2 = 39 \text{ k}\Omega$.

$$C_1 = \frac{t_{ON}}{0,69 * R_1} = \frac{t_{OFF}}{0,69 * R_2} = \frac{4,16 \mu\text{s}}{0,69 * 39 \text{ k}} = 154 \text{ pF} \rightarrow C_1 = 120 \text{ pF}$$

4.4 Power-Zener-Diode

Die Rechnungen wurden durchgeführt bei der Verwendung einer 5V1 Zener Diode.

$$U_Z = \frac{R_1 + R_2}{R_1} * U_{Z'} + 0,6 V$$

$$R_3 = \frac{4 V}{1 mA} = 4 k\Omega \rightarrow R_3 = 3,9 k\Omega$$

$$R_4 = \frac{U_A - 4 V}{1 mA} = \frac{5 V - 4 V}{1 mA} = \frac{1 V}{1 mA} \rightarrow R_4 = 1 k\Omega$$

5 Herstellung der Spule

Die Spule wurde anschließend mit den zuvor dimensionierten Werten hergestellt. Zur Verwendung kam hierbei ein Ferrit Kern. Beide Spulen wurden durch Verwendung von isoliertem Spulendraht auf einen gemeinsamen Spulenkörper gewickelt.

Folgende Ansichten zeigen die Wickelrichtungen der beiden Spulen am Spulenkörper (Ferrit-Zylinder) sowie das Äquivalent in nachfolgenden Schaltplänen.

Die primärseitige Spule L_1 hat 11 Windungen, die Sekundärseite ganze 6.

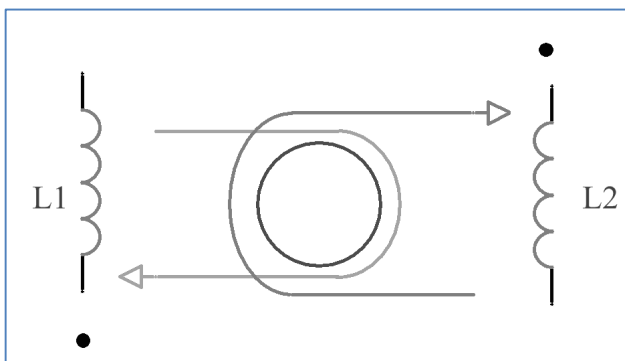


Abbildung 7. – Wickelrichtung/ Polung beider Spulen

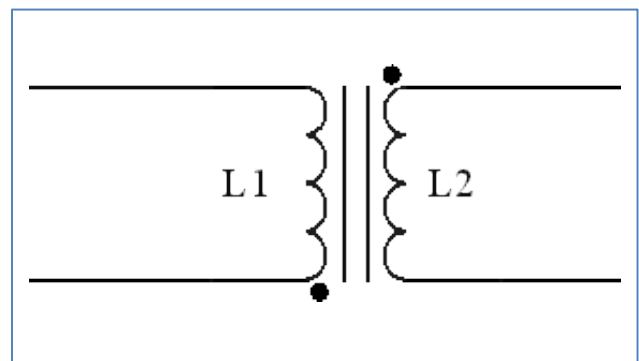


Abbildung 8. – Schaltplan Äquivalentsymbol

6 Komplette Schaltung

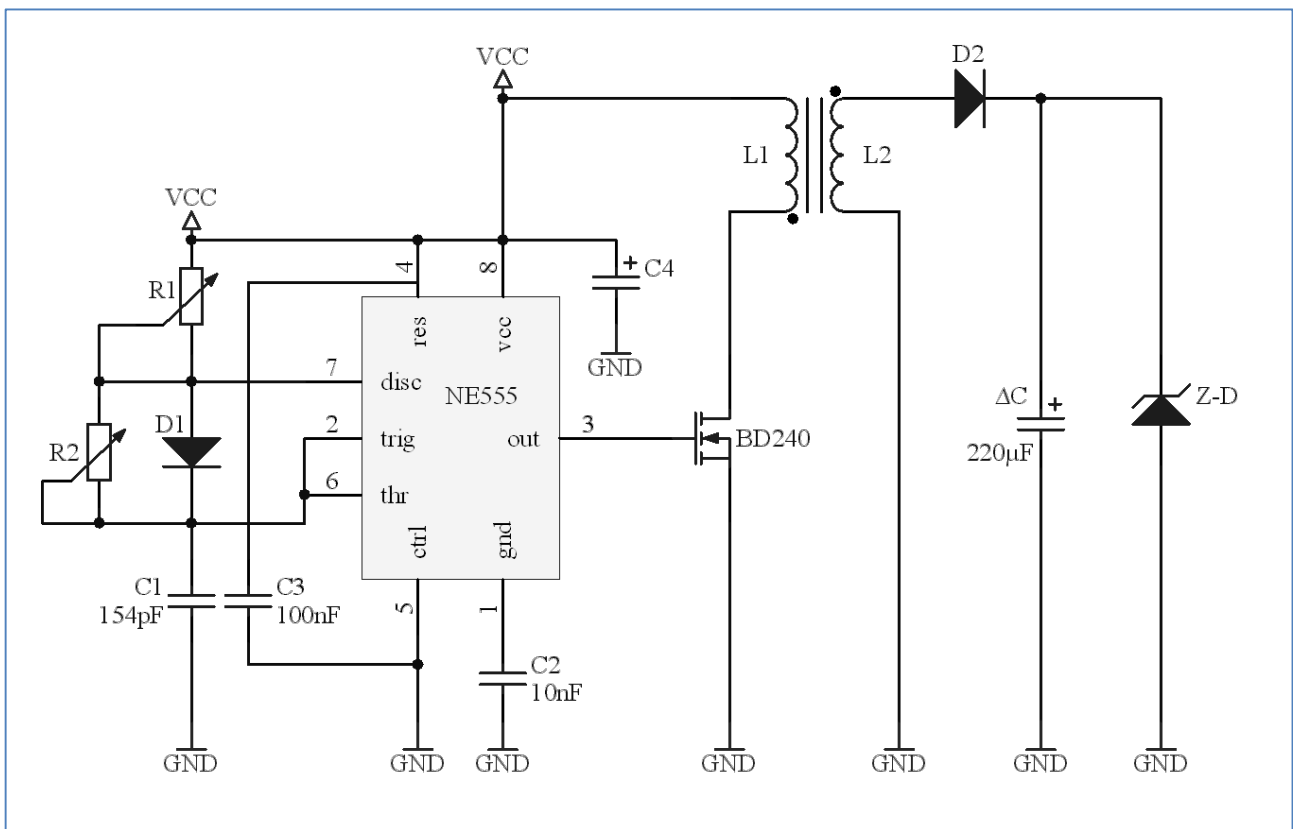


Abbildung 9. – Komplette Schaltung des Sperrwandler

6.1 Funktionsprinzip

Durch den Timer Baustein NE555 wird ein Rechtecksignal erzeugt welches dann mithilfe des MOSFET (BD240) die Spannung auf der Primärseite des Übertragers ein- beziehungsweise ausschaltet. Auf der Sekundärseite wird die Spannung durch die Diode (D2) gleichgerichtet und durch den Kondensator (ΔC) geglättet. Die als Last verwendete Schaltung variiert je nach Messung.

6.2 Gleichzeitige Messung von Strom und Spannung

Um Strom und Spannung gleichzeitig mit dem Oszilloskop zu messen wurde ein $1\ \Omega$ Widerstand zur Stromabgreifung verwendet. Somit ist es möglich zu einem

Um Strom und Spannung gleichzeitig an zum Beispiel einer Spule zu messen wurde der folgende Messaufbau verwendet.



Abbildung 10. – Messaufbau zur Strommessung

7 Streuinduktivität

7.1 Allgemein

Der Begriff der Streuinduktivität beschreibt jenen Induktivitätsanteil, welcher bei magnetisch gekoppelten Systemen durch den Streufluss gebildet wird. Die Streu Induktivitäten, meist als L_s oder L_σ bezeichnet, spielen beispielsweise im Modell des Transformators eine wesentliche Rolle.

Die Streuinduktivität wird mit denselben Verfahren und Methoden wie jede andere Induktivität bestimmt, nur dass dabei ausschließlich der Streufluss Φ_s berücksichtigt wird.

Anmerkung zu Abbildung 11: Jener magnetische Flussanteil, der von der Schleife 1 ausgeht und nicht durch die Schleife 2 hindurchtritt, wird als Streufluss bezeichnet.

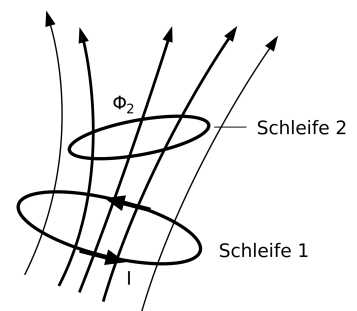


Abbildung 11. – Darstellung des Streuflusses

Bezugnehmend auf den Sperrwandler wurde primärseitig die Streuinduktivität jeweils einzeln gemessen und berechnet.

7.2 Messaufbau

Zur Messung der Streuinduktivität wurde auf der Primärseite bei kurzgeschlossener Sekundärseite die Induktivität bestimmt. Zur Kontrolle wurde danach im Normalbetrieb die Impulsbreite und Spannung des Hochspannungsimpulses an U_{DS} gemessen daraus lässt sich die Streuinduktivität mit folgender Formel bestimmen.

$$L\sigma_1 = \frac{\hat{U} \cdot \Delta t}{\Delta I}$$

$$\ddot{u}^2 = \frac{L\sigma_1}{L\sigma_2}$$

$L\sigma_1$...	Streuinduktivität [H]
Δt	...	Impulsbreite [s]
\hat{U}	...	Impulsspannung [V]
ΔI	...	Stromripple [A]

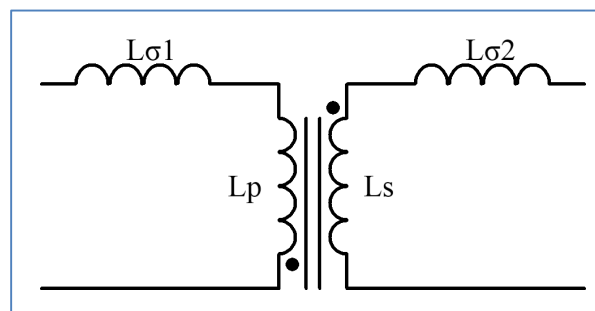


Abbildung 12. – Messung der Streuinduktivität

Die Messung ergab eine primärseitige Streuinduktivität von $L\sigma_1 = 3,6\mu\text{H}$. Die Berechnung ergab eine Streuinduktivität von $L\sigma_1 = 3,08\mu\text{H}$.

8 Power-Zener-Diode

Um die Effektivität und Funktionsweise der aufgebauten Power-Zener-Diode zu messen wurde eine Kennlinie dieser erstellt.

8.1 Schaltung

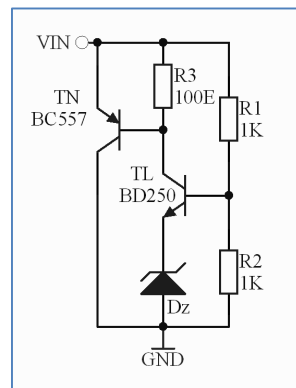


Abbildung 13. – Power-Z-Diode

8.2 Kennlinie

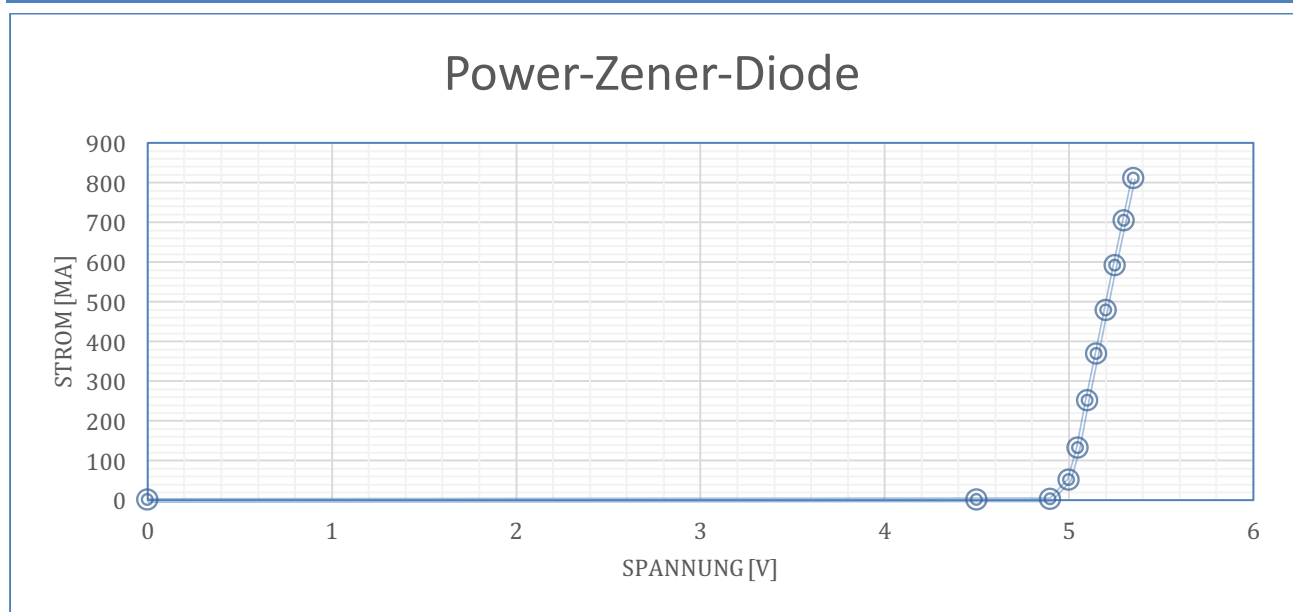


Abbildung 14. – Kennlinie der Power-Zener-Diode

8.3 Messpunkte

Spannung [V]	Strom [mA]
0,00	000
4,50	001
4,90	002
5,00	051
5,05	132
5,10	251
5,15	368
5,20	478
5,25	590
5,30	704
5,35	810

9 Schaltregler mit geringer Last (Tastverhältnis 1:10)

Zur Durchführung der folgenden Messungen wurde mit dem Potentiometer beim NE555 ein Tastverhältnis von 1 zu 10 eingestellt.

9.1 Messaufbau

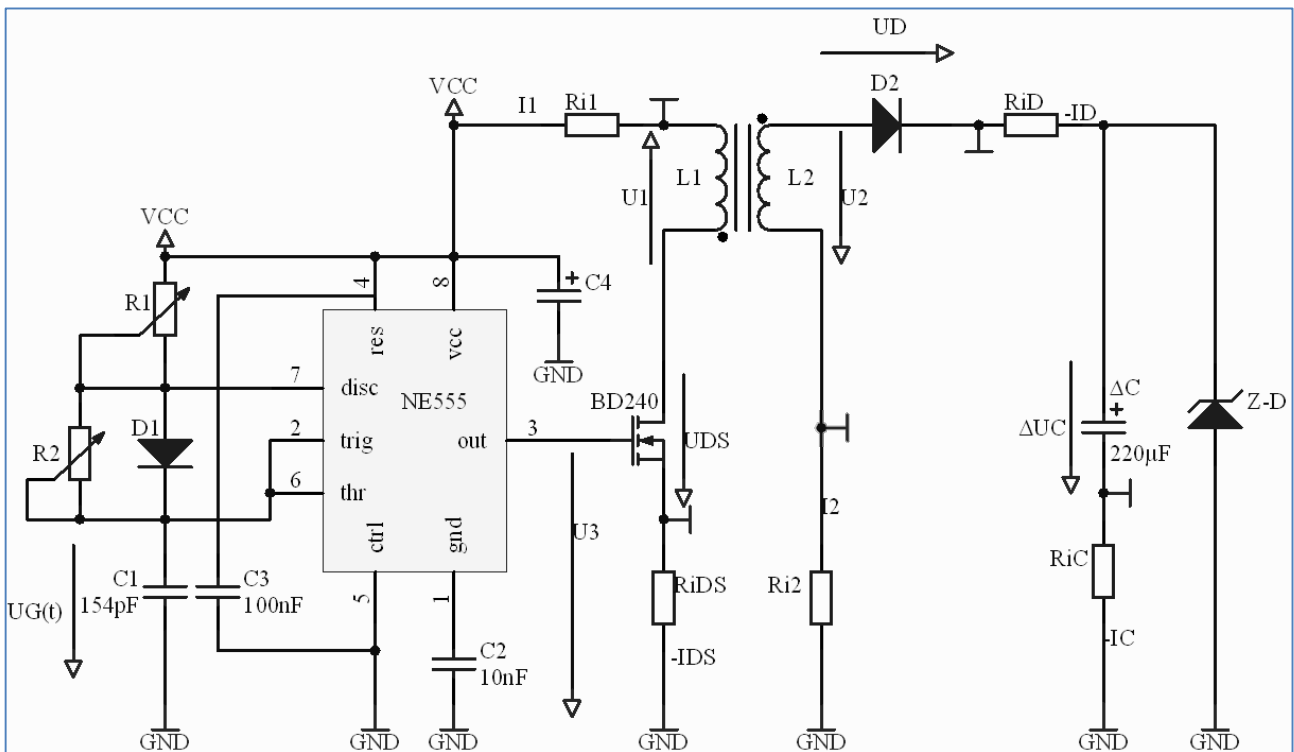
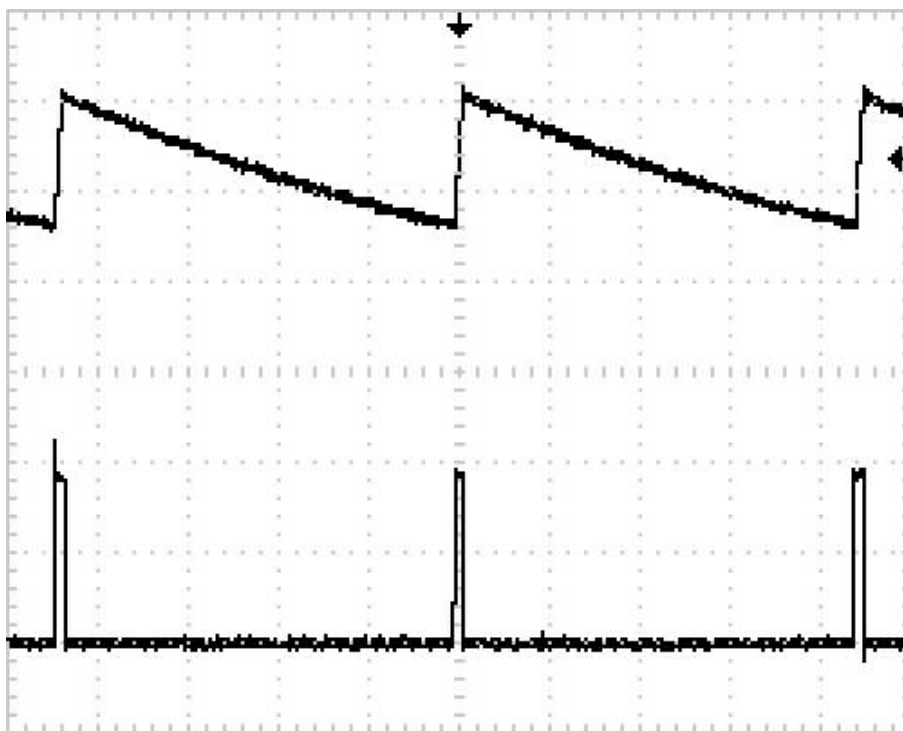


Abbildung 15. – Messschaltung für einen Schaltregler mit geringer Last

9.2 Messergebnisse aller Ströme und Spannungen

9.2.1 NE555 (Taktsignal)



Signalinformationen

Ch1: $U_{C1}(t)$

Ch2: $U_3(t)$

Trigger: Ch2

Ch1: 2 V pro Div.

Ch2: 5 V pro Div.

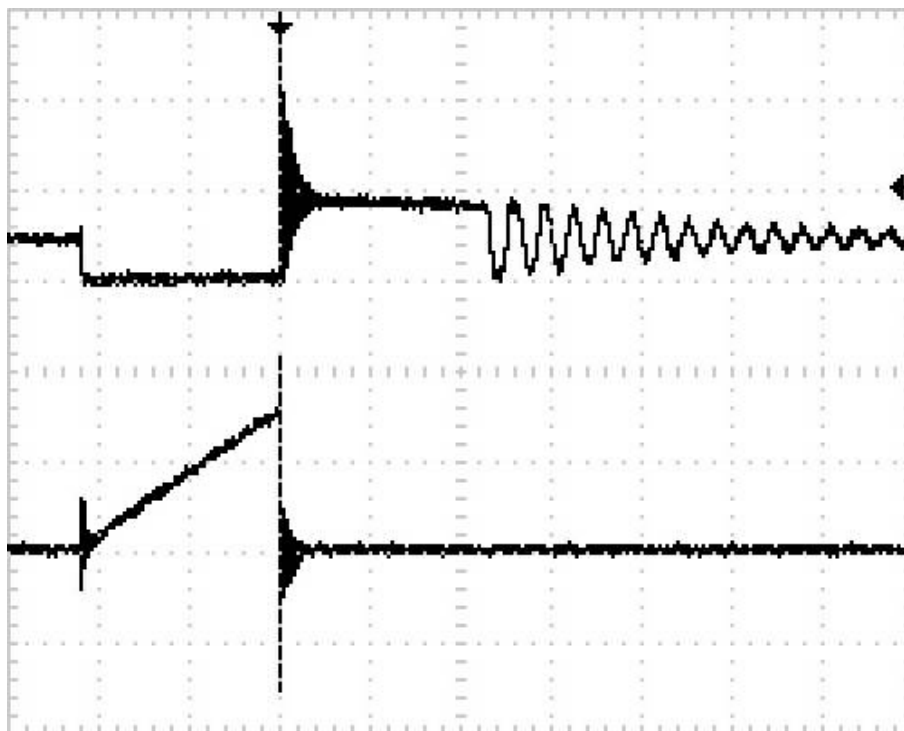
Zeit: 50 μs pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	3,2 V	10,4 V
f	4,509 kHz	

Abbildung 16. – Messungen am NE555

9.2.2 MOS-FET (Schalter)



Signalinformationen

Ch1: $U_{DS}(t)$

Ch2: $I_{DS}(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **20 V** pro Div.

Ch2: **50 mA** pro Div.

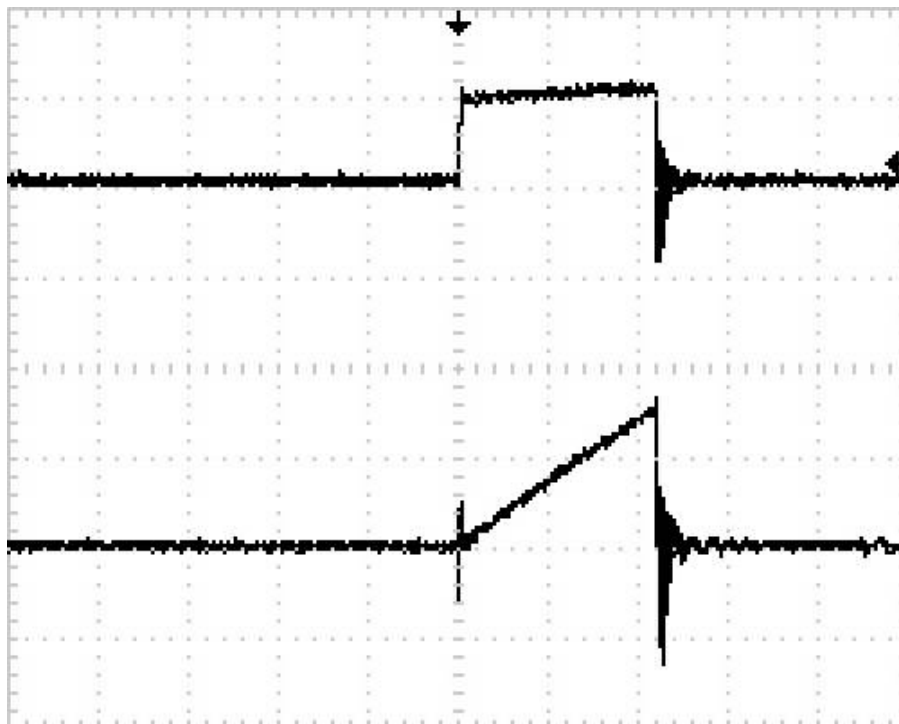
Zeit: **2,5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	60 V	158 mA
f	16,9176 kHz	

Abbildung 17. – Messungen am Transistor

9.2.3 Spule L_1 (Primär)



Signalinformationen

Ch1: $U_1(t)$

Ch2: $I_1(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **10 V** pro Div.

Ch2: **50 mA** pro Div.

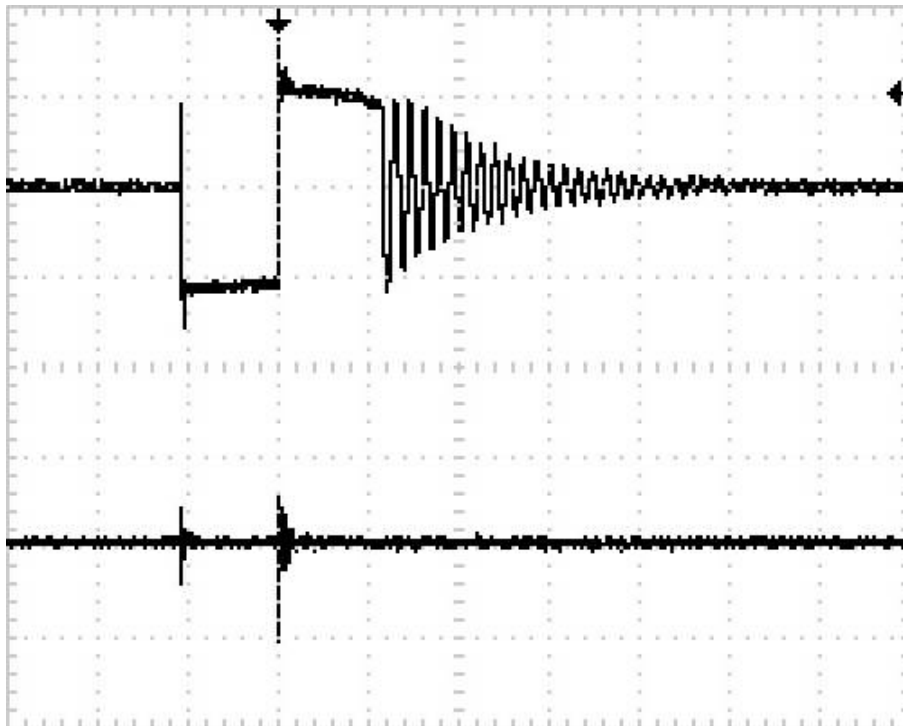
Zeit: **2,5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	20,16 V	156 mA
f	5,65391 kHz	

Abbildung 18. – Messungen an der Primärspule

9.2.4 Spule L_2 (Sekundär)



Signalinformationen

Ch1: $U_2(t)$

Ch2: $I_2(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **5 V** pro Div.

Ch2: **20 mA** pro Div.

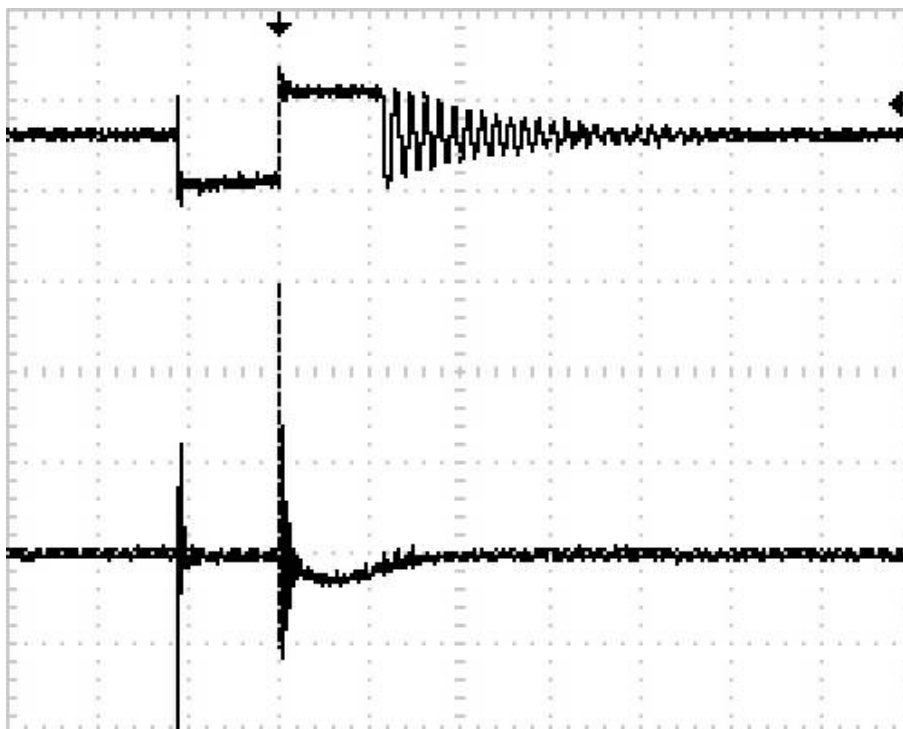
Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	16,2 V	69,6 mA
f	7,79164 kHz	

Abbildung 19. – Messungen an der Sekundärspule

9.2.5 Diode



Signalinformationen

Ch1: $U_D(t)$

Ch2: $I_D(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **10 V** pro Div.

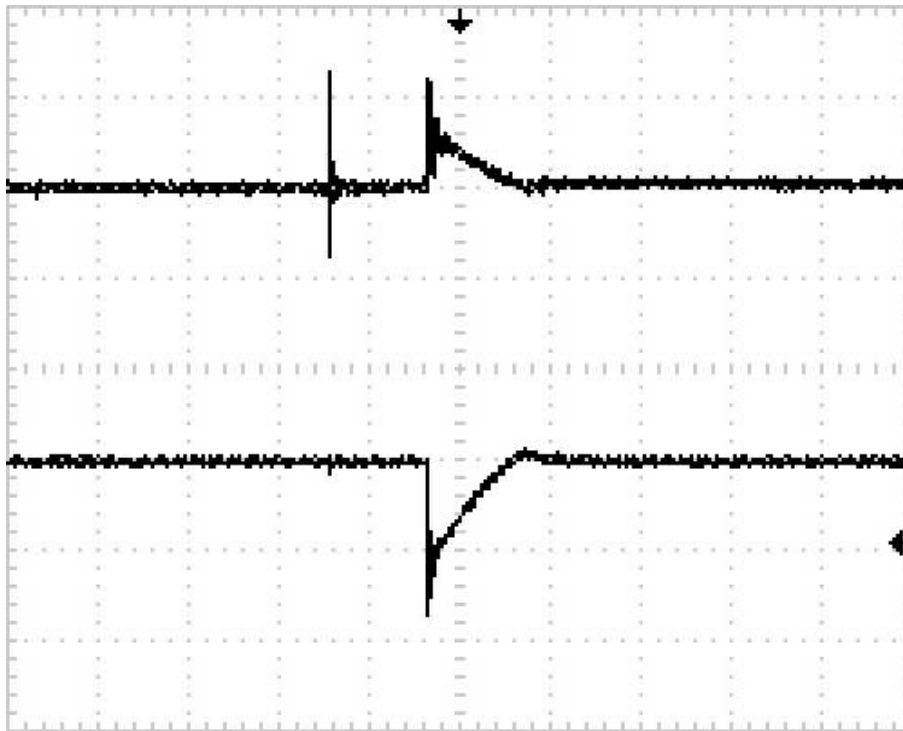
Ch2: **20 mA** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	16 V	94,4 mA
f	4,39127 kHz	

Abbildung 20. – Messungen an der Diode



Signalinformationen

Ch1: $U_{\Delta C}(t)$

Ch2: $I_{\Delta C}(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **1 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	2,4 V	184 mA
f	4,27331 kHz	

Abbildung 21. – Messungen am Kondensator

10 Schaltregler mit voller Last (Tastverhältnis 1:3)

Zur Durchführung der folgenden Messungen wurde mit den Potentiometern am NE555 ein Tastverhältnis von fast 1 zu 1 eingestellt. Die Leistung wurde somit fast auf den Maximalwert von 3W eingestellt.

10.1 Messaufbau

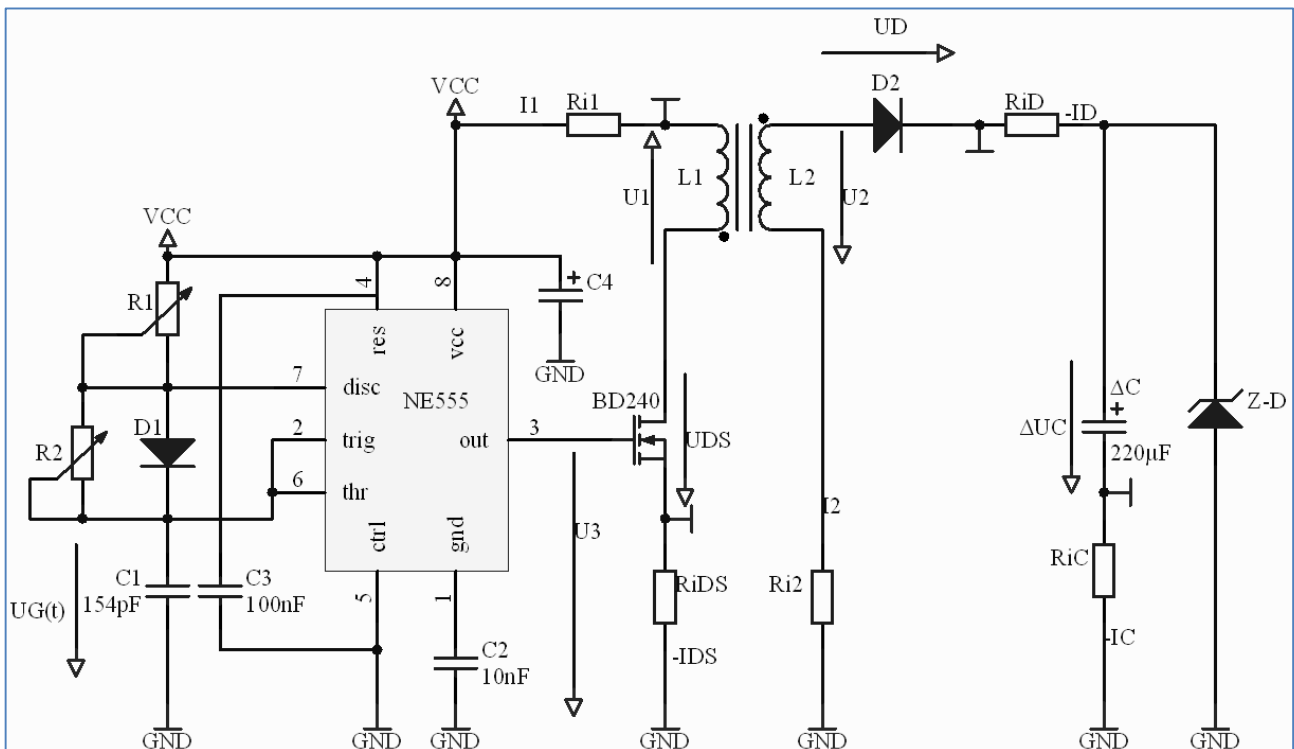


Abbildung 22. – Messschaltung für einen Schaltregler mit voller Last

10.2 Messergebnisse aller Ströme und Spannungen

10.2.1 NE555 (Taktsignal)

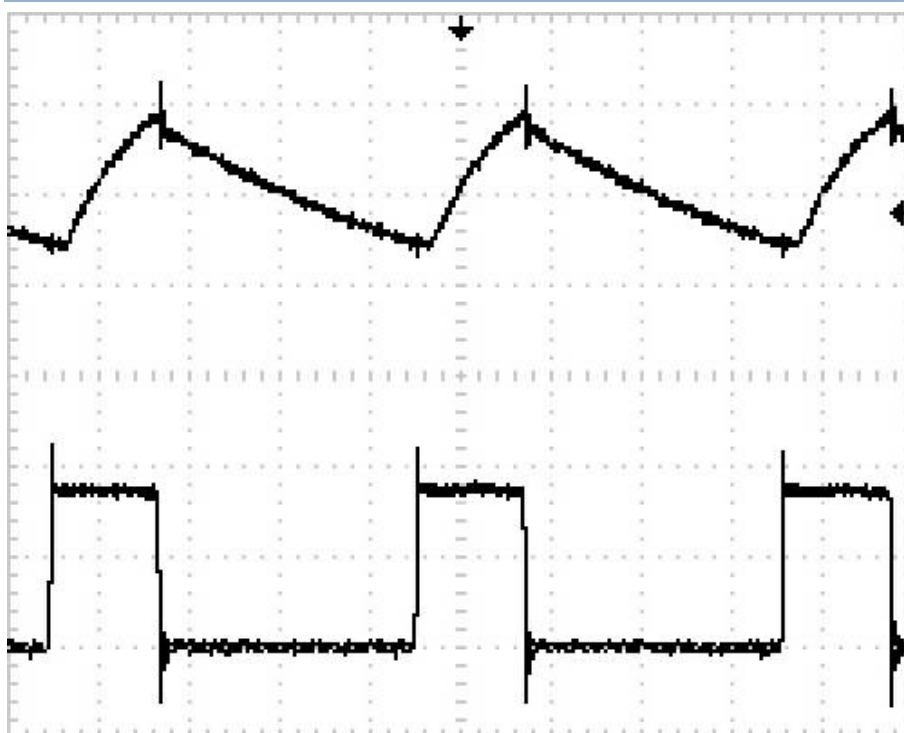


Abbildung 23. – Messungen am NE555

Signalinformationen

Ch1: $U_{c_1}(t)$

Ch2: $U_3(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: 2 V pro Div.

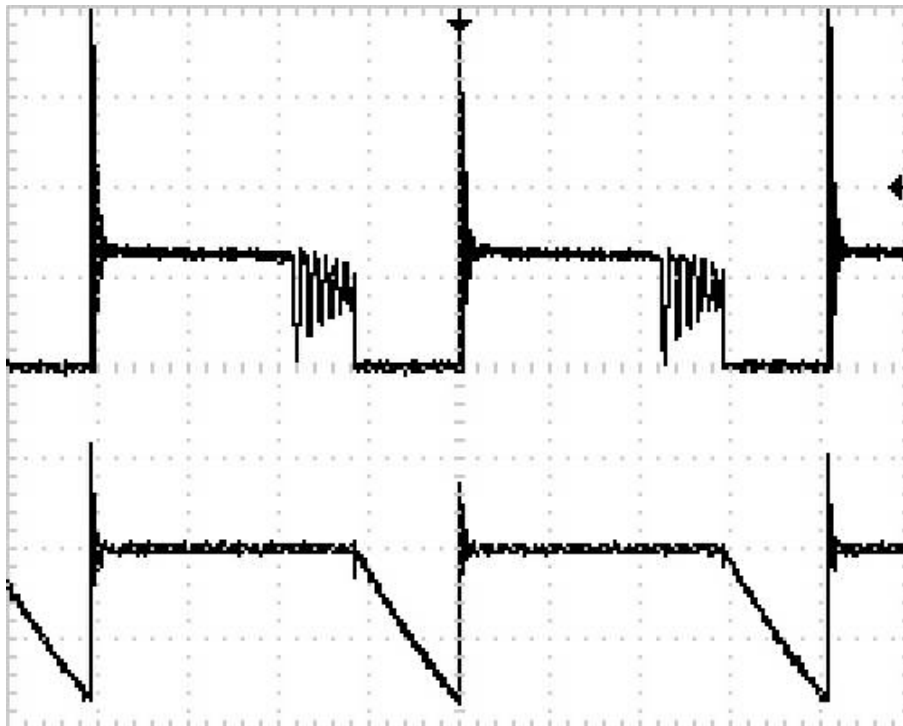
Ch2: 5 V pro Div.

Zeit: $5 \mu s$ pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	3,6 V	14 V
f	49,41 kHz	

10.2.2 MOS-FET (Schalter)



Signalinformationen

Ch1: $U_{DS}(t)$
Ch2: $I_{DS}(t)$

Trigger: Ch1

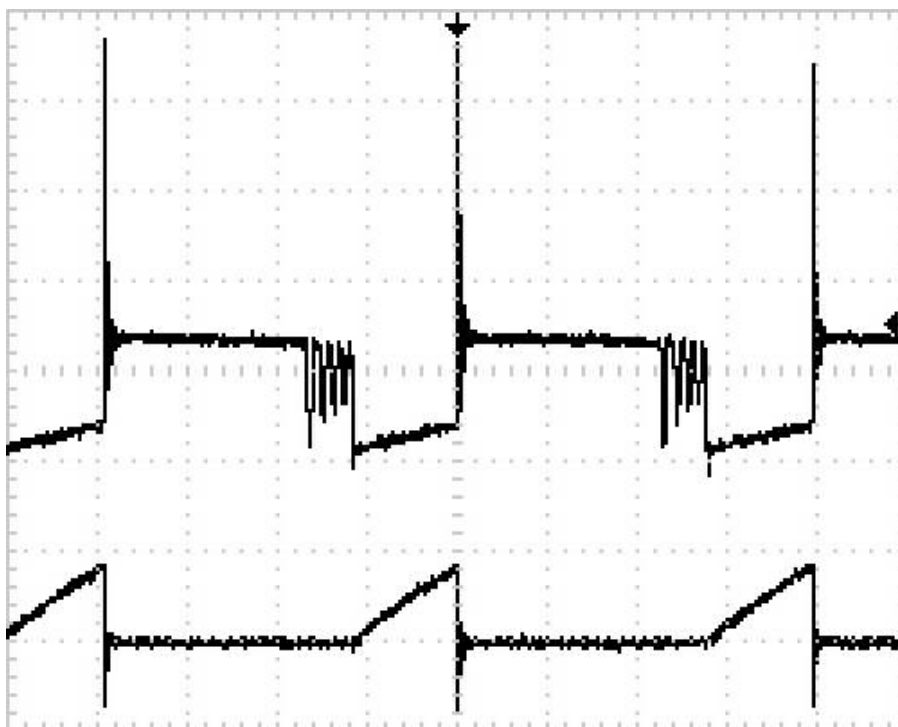
Ch1: **10 V** pro Div.
Ch2: **100 mA** pro Div.
Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	51,6 V	296 mA
f	49,08 kHz	

Abbildung 24. – Messungen am Transistor

10.2.3 Spule L_1 (Primär)



Signalinformationen

Ch1: $U_1(t)$
Ch2: $I_1(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **10 V** pro Div.
Ch2: **200 mA** pro Div.
Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	10 V	320 mA
f	206,249 kHz	

Abbildung 25. – Messungen an der Primärspule

10.2.4 Spule L_2 (Sekundär)



Signalinformationen

Ch1: $U_2(t)$

Ch2: $I_2(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **10 V** pro Div.

Ch2: **50 mA** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	23,8 V	60 mA
f	—	—

Abbildung 26. – Messungen an der Sekundärspule

10.2.5 Diode



Signalinformationen

Ch1: $U_D(t)$

Ch2: $I_D(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **2 V** pro Div.

Ch2: **1 A** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	3,28 V	2,76 A
f	59,2262	—

Abbildung 27. – Messungen an der Diode



Signalinformationen

Ch1: $U_{\Delta C}(t)$

Ch2: $I_{\Delta C}(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **2 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	2,8 V	160 mA
f	102,143	

Abbildung 28. – Messungen am Kondensator

11 Rückkopplung mit Optokoppler

Zur dynamischen Lastregelung wurde die Schaltung so modifiziert, dass über den Pin 5 des NE555 eine Regelspannung zugeführt wurde. Die Messpunkte gleichen denen der vorherigen Messungen.

Als Optokoppler, zur galvanischen Trennung des Ausgangs wurde ein CNY17 des Herstellers Vishay Semiconductors verbaut.

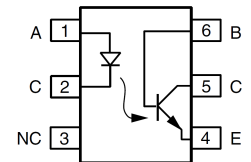


Abbildung 29. – CNY17 Pinning

11.1 Messaufbau

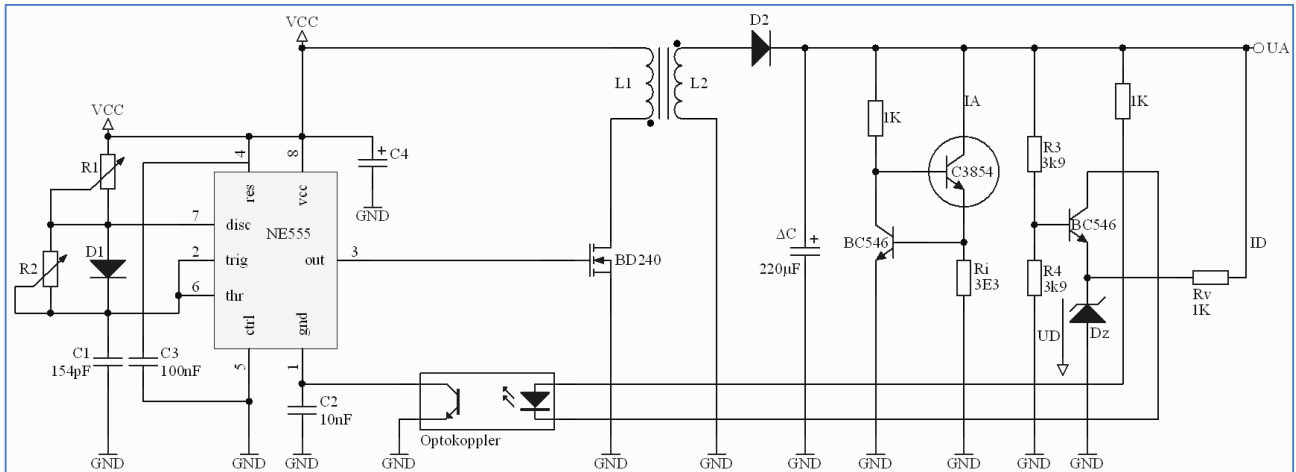
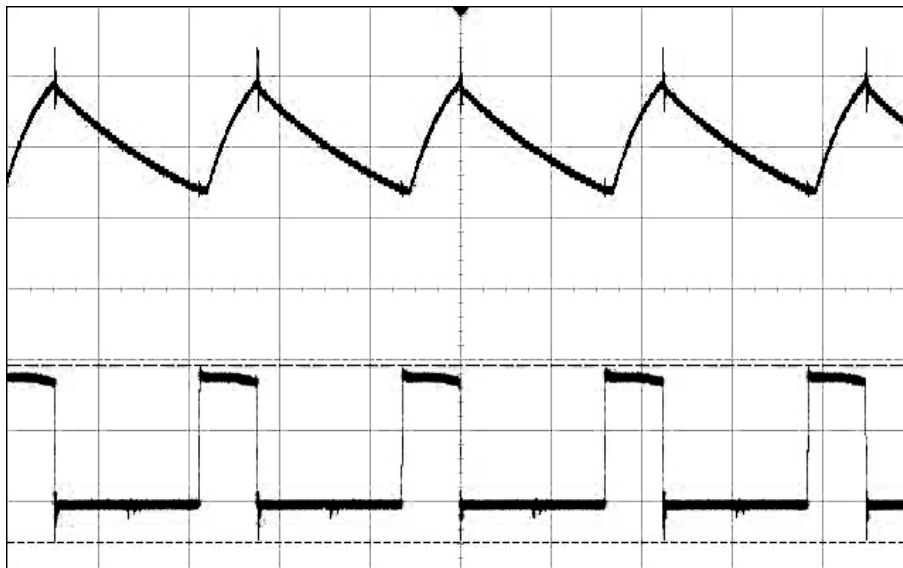


Abbildung 30. – Messschaltung für eine Rückkopplung mit Optokoppler

11.2 Messergebnisse aller Ströme und Spannungen

11.2.1 NE555 (Taktsignal)



Signalinformationen

Ch1: $U_{C_1}(t)$

Ch2: $U_3(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **2 V** pro Div.

Ch2: **5 V** pro Div.

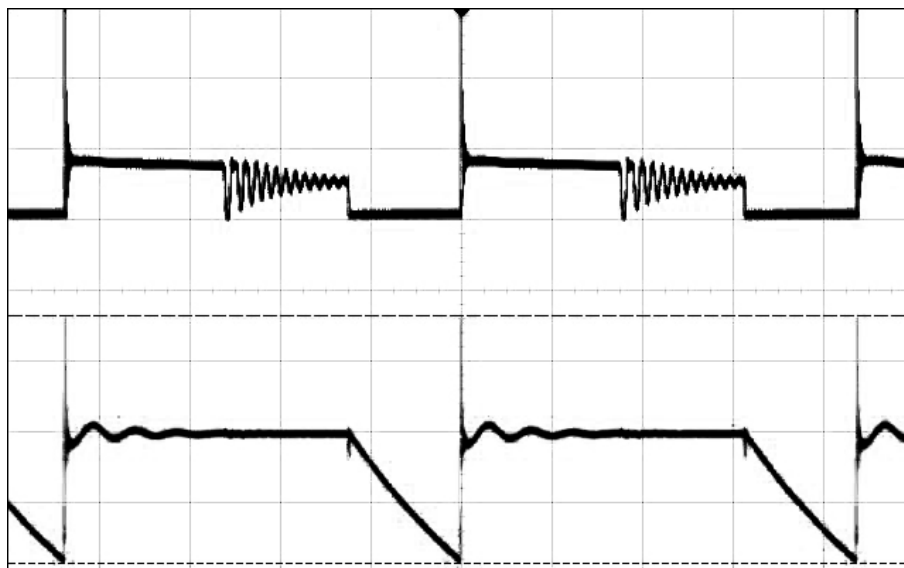
Zeit: **10 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	4,2 V	12,5 V
f	44,703 kHz	

Abbildung 31. – Messungen am NE555

11.2.2 MOS-FET (Schalter)



Signalinformationen

Ch1: $U_{DS}(t)$

Ch2: $I_{DS}(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **20 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

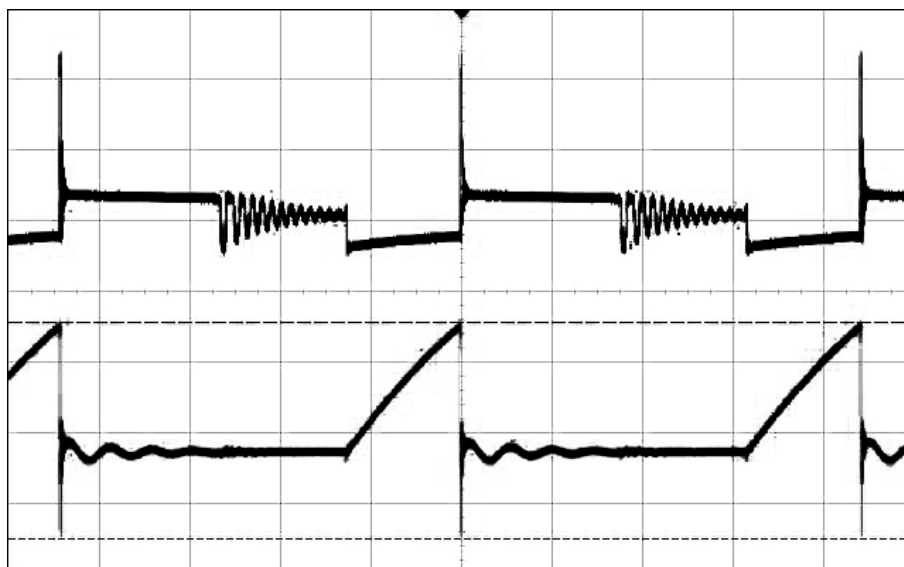
Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	67 V	350 mA
f	45,704 kHz	

Abbildung 32. – Messungen am Transistor

11.2.3 Spule L_1 (Primär)



Signalinformationen

Ch1: $U_1(t)$

Ch2: $I_1(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **20 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

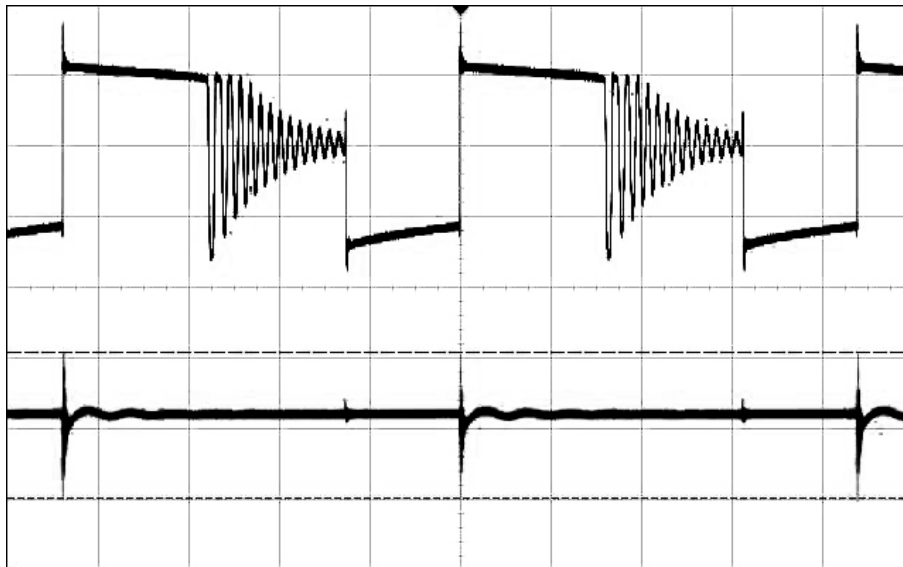
Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	56 V	306 mA
f	45,183 kHz	

Abbildung 33. – Messungen an der Primärspule

11.2.4 Spule L_2 (Sekundär)



Signalinformationen

Ch1: $U_2(t)$

Ch2: $I_2(t)$

Trigger: Ch2

Ch1: **10 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

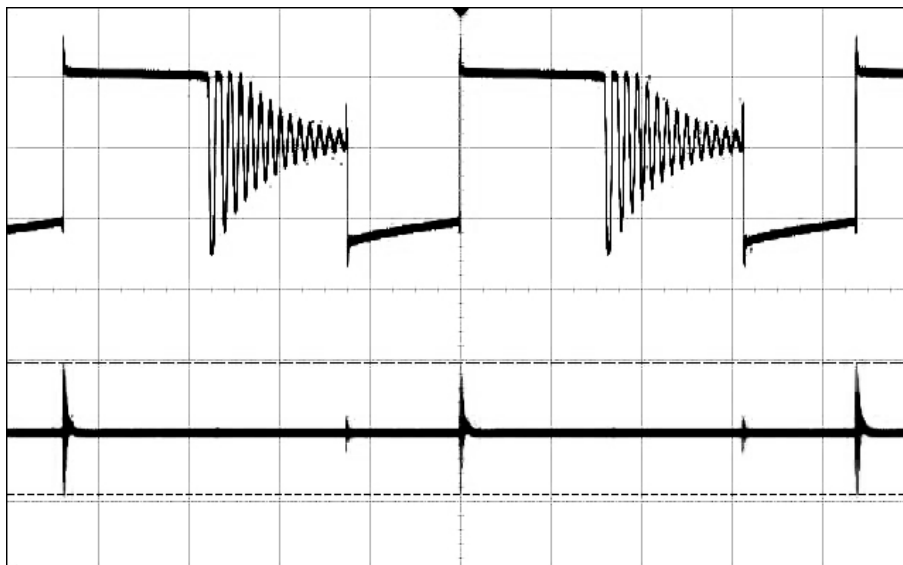
Zeit: **5 μs** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	34,6 V	205 mA
f	59,095 kHz	

Abbildung 34. – Messungen an der Sekundärspule

11.2.5 Diode



Signalinformationen

Ch1: $U_D(t)$

Ch2: $I_D(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **10 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

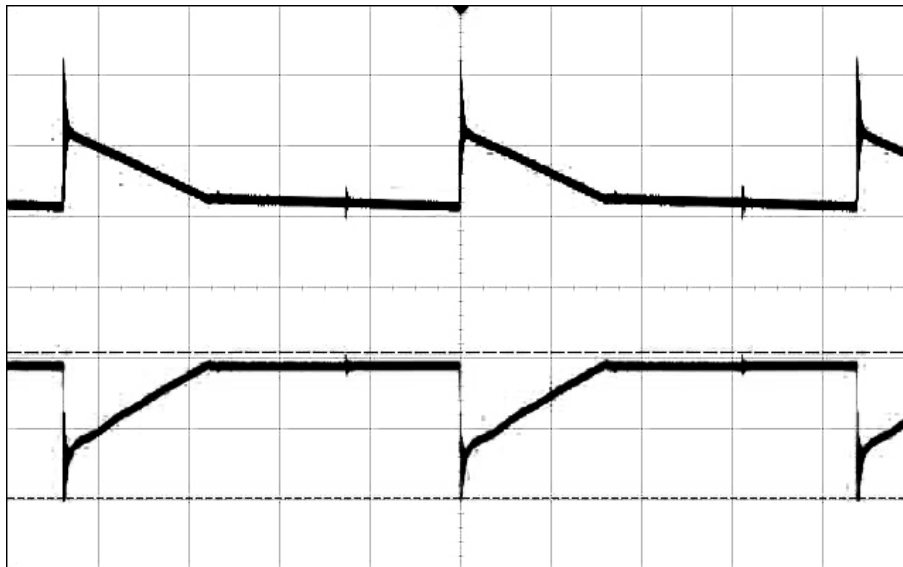
Zeit: **5 μs** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	32,2 V	185 mA
f	59,256 kHz	

Abbildung 35. – Messungen an der Diode

11.2.6 Kondensator



Signalinformationen

Ch1: $U_{\Delta C}(t)$

Ch2: $I_{\Delta C}(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: **1 V** pro Div.

Ch2: **100 mA** pro Div.

Zeit: **5 μ s** pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	2,25 V	205 mA
f	55,426 kHz	

Abbildung 36. – Messungen am Kondensator

12 Sperrwandler mit dynamische Last

Die Last wurde mittels Transistor und Funktionsgenerator dynamisch ein- und ausgeschaltet.

12.1 Messaufbau

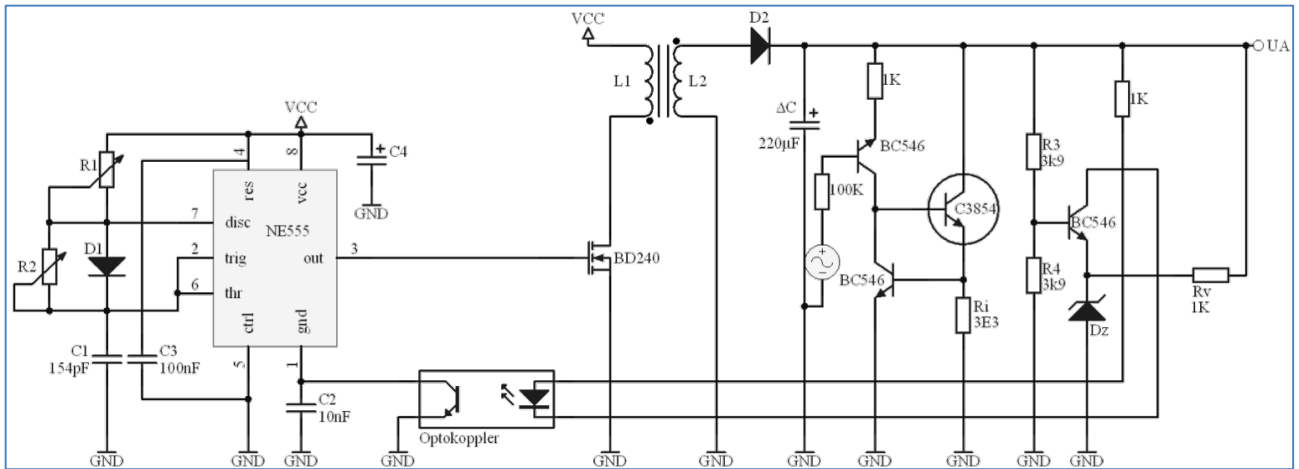
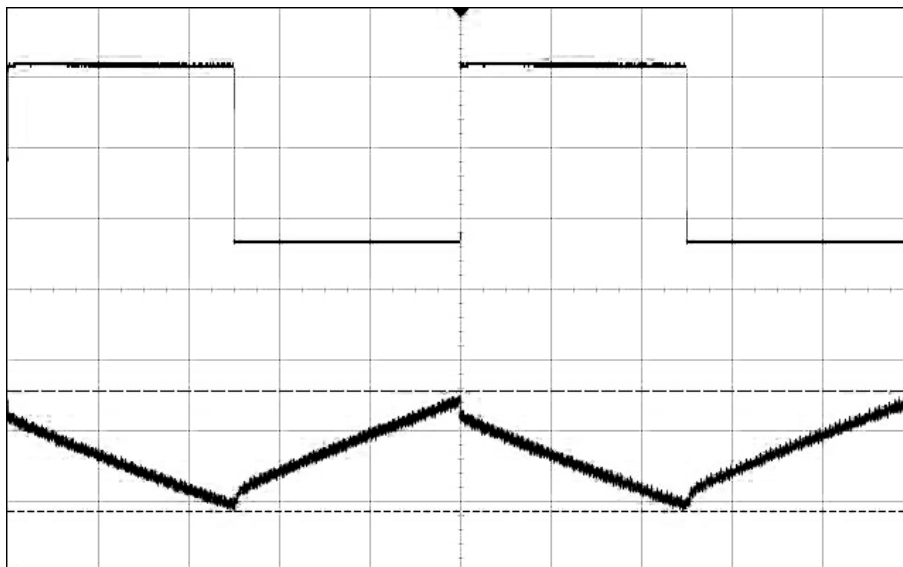


Abbildung 37. – Schaltung für dynamische Last

12.2 Messergebnis



Signalinformationen

Ch1: $U_{fG}(t)$

Ch2: $U_A(t)$

Trigger: Ch1

Ch1: 2 V pro Div.

Ch2: 1 V pro Div.

Zeit: 200 µs pro Div.

Messwerte

	Ch1	Ch2
\hat{U}	5,03 V	1,704 V
f	1 kHz	

Abbildung 38. – Messung der dynamischen Last

13.3.1 Amplitude response ($j\omega$)

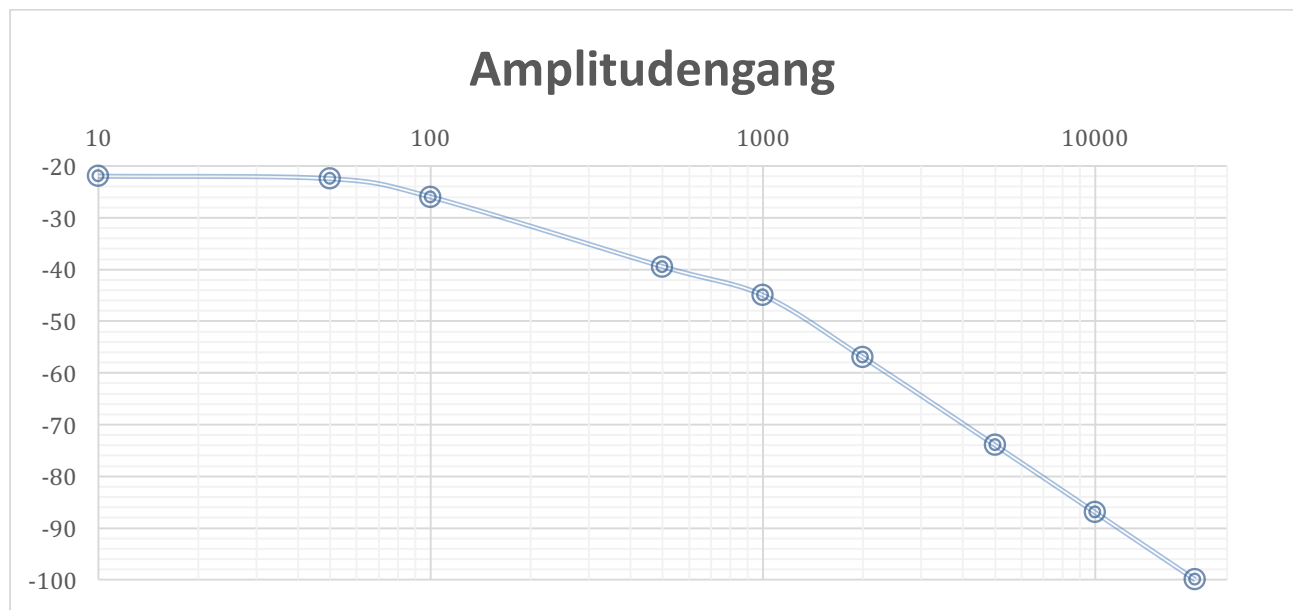


Abbildung 40. – Amplitudengang des Sperrwandlers

13.3.2 Phasengang

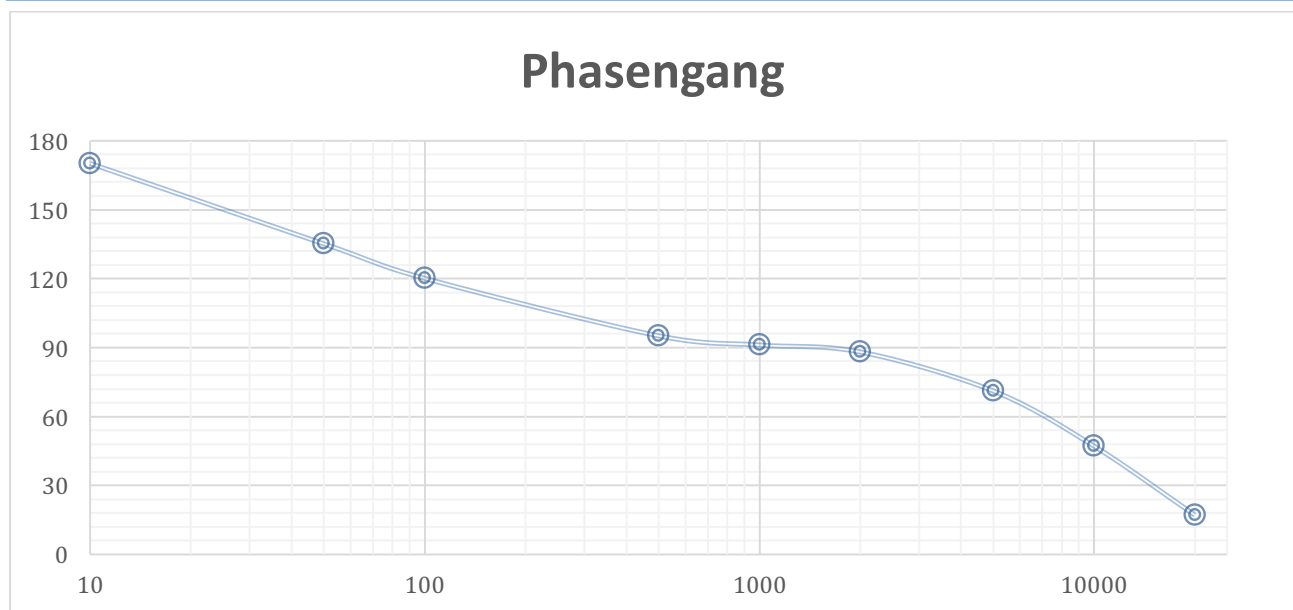


Abbildung 41. – Phasengang des Sperrwandlers

14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. – Grundprinzip eines Sperrwandlers.....	5
Abbildung 2. – Grundaufbau des Impulsgenerators (NE555).....	6
Abbildung 3. – Standard Z-Diode	7
Abbildung 4. – Aufbau einer Power-Zener-Diode	7
Abbildung 5. – Verwendete Power-Z-Diode.....	7
Abbildung 6. – Verwendetes Power-Z Symbol	7
Abbildung 7. – Wickelrichtung/ Polung beider Spulen.....	9
Abbildung 8. – Schaltplan Äquivalentsymbol.....	9
Abbildung 9. – Komplette Schaltung des Sperrwandler	10
Abbildung 10. – Messaufbau zur Strommessung.....	10
Abbildung 11. – Darstellung des Streuflusses	11
Abbildung 12. – Messung der Streuinduktivität.....	11
Abbildung 13. – Power-Z-Diode	12
Abbildung 14. – Kennlinie der Power-Zener-Diode.....	12
Abbildung 15. – Messschaltung für einen Schaltregler mit geringer Last	13
Abbildung 16. – Messungen am NE555.....	13
Abbildung 17. – Messungen am Transistor	14
Abbildung 18. – Messungen an der Primärspule	14
Abbildung 19. – Messungen an der Sekundärspule	15
Abbildung 20. – Messungen an der Diode	15
Abbildung 21. – Messungen am Kondensator	16
Abbildung 22. – Messschaltung für einen Schaltregler mit voller Last	17
Abbildung 23. – Messungen am NE555.....	17
Abbildung 24. – Messungen am Transistor	18
Abbildung 25. – Messungen an der Primärspule	18
Abbildung 26. – Messungen an der Sekundärspule	19
Abbildung 27. – Messungen an der Diode	19
Abbildung 28. – Messungen am Kondensator	20
Abbildung 29. – CNY17 Pinning	21
Abbildung 30. – Messschaltung für eine Rückkopplung mit Optokoppler	21
Abbildung 31. – Messungen am NE555.....	21
Abbildung 32. – Messungen am Transistor	22
Abbildung 33. – Messungen an der Primärspule	22
Abbildung 34. – Messungen an der Sekundärspule	23
Abbildung 35. – Messungen an der Diode	23
Abbildung 36. – Messungen am Kondensator	24
Abbildung 37. – Schaltung für dynamische Last.....	25
Abbildung 38. – Messung der dynamischen Last	25
Abbildung 39. – Schaltung zur Messung der Übertragungsfunktion.....	26
Abbildung 40. – Amplitudengang des Sperrwandlers	27
Abbildung 41. – Phasengang des Sperrwandlers	27