



Übungs-Nr.:	12	Übungsbezeichnung:
Übungsdatum:	12.Jänner 2015	
Lehrer:	Dipl.-Ing. Dr. Peter Zaniat	Spannungsstabilisierung
Gruppe:	3	Mitglieder:
Klasse:	4 AHET	Labenbacher Michael, Kieninger Dominik, Ibrahim Ibragimov

Protokollführer	Unterschriften	Note
Labenbacher		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Verwendete Geräte & Betriebsmittel	5
3	Spannungsstabilisierung	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Spannungsstabilisierung mit Z-Diode	8
3.2.1	Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung Teil 1	8
3.2.2	Vorberechnungen & Festlegungen	9
3.2.3	Messvorgang & Auswertung	10
3.2.4	Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung Teil 2	14
3.2.5	Vorberechnungen & Festlegungen	15
3.2.6	Messvorgang & Auswertung	16
3.2.7	Messbericht	17
3.3	Spannungsstabilisierung mit Z-Diode & Bipolartransistor (Serienstabilisierung)	18
3.3.1	Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung	18
3.3.2	Vorberechnungen & Festlegungen	19
3.3.3	Messvorgang & Auswertung	20
3.3.4	Messbericht	22
4	Literatur- und Quellenverzeichnis	23

Tabellenverzeichnis

1	Geräte & Betriebsmittel	5
2	Messtabelle zur Ermittlung der Stabilisierungsfaktoren (Z-Diode)	10
3	Messtabelle zur Ermittlung der Stabilisierungsfaktoren (Z-Diode & Bipolartransistor)	20

Abbildungsverzeichnis

1	Schaltzeichen einer Zener-Diode	6
2	Ersatzschaltbild einer Zener-Diode	6
3	Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit Z-Diode	8
4	Kennlinie der Ausgangsspannung $U_a = f(U_e)$ (Z-Diode)	11
5	Kennlinie des relativen Stabilisierungsfaktors $S = f(U_e)$ (Z-Diode)	12
6	Schaltung zur Ermittlung des dynamischen Zener-Dioden Widerstandes	14
7	Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit Z-Diode & Bipolartransistor	18
8	Kennlinie der Ausgangsspannung $U_a = f(U_e)$ (Z-Diode & Bipolartransistor)	21
9	Kennlinie des relativen Stabilisierungsfaktors $S = f(U_e)$ (Z-Diode & Bipolartransistor)	22

1 Einleitung

Das Projekt hat den Zweck, die Kenntnisse von den theoretischen Fächern (in Informationselektronik IE, Energiesysteme ES1, ...) auch praktisch umsetzen zu lernen, um so die einzelnen Komponenten (Dioden, Transistoren, ...) der Schaltungen besser verstehen zu lernen.

Bei allen zwei Übungen handelt es sich darum eine Eingangsspannung, so zu Stabilisieren, dass die Ausgangsspannung möglichst konstant bleibt. Es soll damit auch eine Möglichkeit für die Dimensionierung von Bauteilen aufgezeigt werden und auch das Entwerfen von Messschaltungen ist zu erläutern.

Kurz gesagt: Das Ziel dieser Arbeit ist es, Schaltungen zur Stabilisierung von Spannungen entwerfen, aufbauen und überprüfen zu lernen.

2 Verwendete Geräte & Betriebsmittel

Bezeichnung/Nr.	Gerät/Betriebsmittel	Beschreibung/Typ	Geräte-Nr.
N1	Netzgerät	Manson Switching Mode Power Supply 1-32V DC 30A HCS-3602	—
V1	Digitalmultimeter	KEW 1012 TrueRMS	I3-3/12
V2	Digitalmultimeter	Mastech MY-68	I5-4/13
R_{Leist1}	Leistungswiderstand	Benedikt & Jäger Typ:SW50/8 32Ω 4,6A	I11-3/2
R_{Leist2}	Leistungswiderstand	Benedikt & Jäger Typ:SW50/8 32Ω 4,6A	I11-3/3
ZPD_1	Z-Diode	ZPD5V1 0,5W ¹	—
T_1	Transistor	SI 60V 15A hps 9117.3 ²	—

Tabelle 1: Geräte & Betriebsmittel

¹Weitere Informationen über die verwendete Z-Diode, welche in diesem Protokoll nicht angeführt sind, sind entweder dem beigelegtem Datenblatt zu entnehmen, bzw. steht dieses auch online, unter http://www.datasheetcatalog.net/de/datasheets_pdf/Z/P/D/5/ZPD5.1.shtml, zur Verfügung.

²Weitere Informationen über dem Transistor sind dem beigelegtem Datenblatt zu entnehmen bzw. auf der Adresse: <http://hps-systemtechnik.com/>

3 Spannungsstabilisierung

3.1 Allgemeines

Zur Stabilisierung der Spannung wird meist eine Z-Diode verwendet, welche folgendes Schaltbild aufweist.

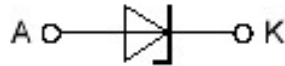


Abbildung 1: Schaltzeichen einer Zener-Diode

Das dazugehörige, modellierte Ersatzschaltbild besteht aus einem Widerstand r_Z und einer Spannungsquelle U_Z , folgender Form:

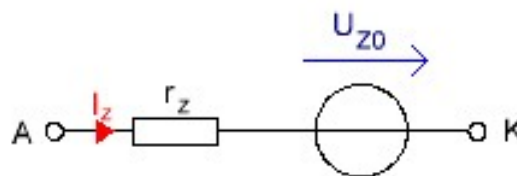


Abbildung 2: Ersatzschaltbild einer Zener-Diode

A	Anode
K	Kathode
r_Z	differentieller Zener-Dioden Widerstand
U_{Z0}	Zenerspannung (ab dieser nimmt der Zenerstrom schlagartig zu!)
I_Z	Zenerstrom

Eine solche Zener-Diode alleine wird in der Regel zum einfachen Stabilisieren verwendet. Will man eine Schaltung jedoch zB. mit mehr Strom belasten, so kann man sich mittels einem Transistor, Operationsverstärkers... weiterhelfen.

Im Wesentlichen gibt es für die Beurteilung der Spannungsstabilisierungsqualität folgende Kenngrößen:³

$$G = \frac{\Delta U_e}{\Delta U_a} \quad \text{bei Nennlast} \quad (1)$$

$$S = G \cdot \frac{U_a}{U_e} \quad \text{bei Nennlast} \quad (2)$$

$$r_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_L} \quad \text{bei } U_e = \text{const.} \quad (3)$$

G	Absoluter Stabilisierungsfaktor
S	Relativer Stabilisierungsfaktor
r_i	dynamischer Innenwiderstand
U_e	Eingangsspannung
U_a	Ausgangsspannung
ΔU_e	Differenz der Eingangsspannung
ΔU_a	Differenz der Ausgangsspannung
ΔI_L	Differenz des Laststromes

Dies lässt eindeutig erkennen, dass der absolute & relativer Stabilisierungsfaktor möglichst groß sein sollte, hingegen der Innenwiderstand eher klein, damit eine gute belastungsunabhängige Spannungsstabilisierung vorliegt.

³Einige Formeln werden in diesem Protokoll nicht hergeleitet, da diese aus dem Theorieunterricht entnommen werden können.

3.2 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

3.2.1 Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung Teil 1

Diese Methode zur Stabilisierung ist im Prinzip die einfachste und es kann die Spannung in einem relativ weiten Bereich konstant gehalten werden. Das wichtigste dabei ist, dass die maximale Verlustleistung der Z-Diode nicht überschritten wird, da sonst die Diode zerstört werden kann.

Die Aufgabe besteht im Allgemeinen darin, die Stabilisierungsfaktoren mittels Messungen zu berechnen, um so die Qualität der Schaltung beurteilen zu können.

Im Anschluss darauf ist der dynamische Innenwiderstand der Schaltung durch Messungen zu bestimmen. Folgende Schaltung wurde nun zur Stabilisierung verwendet:

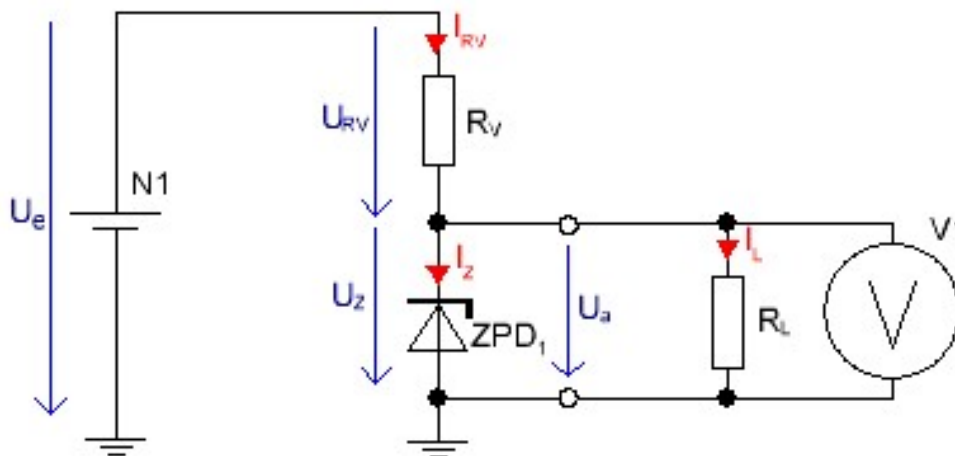


Abbildung 3: Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

Die dazugehörigen Bezeichnungen:

U_e	Eingangsspannung (Spannung vom Netzgerät N1)
U_{RV}	Spannung am Vorwiderstand
U_Z	Spannung an der Z-Diode
U_a	Ausgangsspannung (Die zu stabilisierende Spannung am Lastwiderstand.)
I_{RV}	Strom über den Vorwiderstand (Gesamtstrom)
I_Z	Strom über die Z-Diode (Zener-Diodenstrom)
I_L	Strom über den Lastwiderstand (Laststrom)
R_L	Lastwiderstand
R_V	Vorwiderstand

Falls bei Spannungen bzw. Strömen zusätzlich noch die Bezeichnung $_{min}$ bzw. $_{max}$ auftreten, bezieht sich dies auf den kleinst, bzw. größt zulässigen Wert in denen die Schaltung „einwandfrei“ arbeitet.

3.2.2 Vorberechnungen & Festlegungen

Die nun im Kapitel 3.2.1 entworfene Schaltung muss nun natürlich noch berechnet werden, sodass keine Bauteile überlastet werden. Die dazu verwendenden Bauteile sind:

$U_Z = 5,1V$	Dieser Wert kann aus dem Datenblatt entnommen werden, bzw. steht direkt auf der Z-Diode oben. (Datenblattangabe: 4,8V - 5,4V (=schwankender Bereich))
$I_{Zmin} = 5mA$	Dies ist der minimale Zener-Diodenstrom welcher laut Datenblatt über die Z-Diode fließen soll, damit diese einwandfrei arbeiten kann.
$P_{TOTZ} = 400mW$	Datenblattangabe: $P_{TOTZ} = 500mW$ bei $25^\circ C$, um nun die Z-Diode nicht zu zerstören wurde aus Sicherheitsgründen mit einer niedrigeren maximalen Leistung gerechnet.
$R_V = 390\Omega$	Der Vorwiderstand sollte bei der höchsten Eingangsspannung den Diodenstrom auf den maximal erlaubten Zenerstrom begrenzen.
$R_L = 820\Omega$	Dieser ist so zu wählen, dass der Zener-Diodenstrom die minimalen bzw. maximalen Werte nicht unter- bzw. überschreiten. (ca. $100\Omega < R_L < 1k\Omega$)

Nun muss die minimale und maximale Eingangsspannung zur späteren Messung berechnet werden. Dabei gilt für den Gesamtstrom:

$$I_{RVmin} = I_L + I_{Zmin} = \frac{U_Z}{R_L} + I_{Zmin} = \frac{5,1V}{820\Omega} + 5 \cdot 10^{-3} A = 11,22mA$$

Daraus folgt nun die minimale Eingangsspannung, nach der Maschenregel:

$$U_{emin} = U_{RVmin} + U_Z = R_V \cdot I_{RVmin} + U_Z = 390\Omega \cdot 11,22 \cdot 10^{-3} A + 5,1V = 9,48V$$

Prinzipiell analog dazu der maximale Gesamtstrom über den Vorwiderstand und die dazugehörige Eingangsspannung:

$$I_{RVmax} = I_L + I_{Zmax} = \frac{U_Z}{R_L} + \frac{P_{TOTZ}}{U_Z} = \frac{5,1V}{820\Omega} + \frac{400 \cdot 10^{-3} W}{5,1V} = 78mA$$

$$\rightarrow U_{emax} = U_{RVmax} + U_Z = R_V \cdot I_{RVmax} + U_Z = 390\Omega \cdot 78 \cdot 10^{-3} A + 5,1V = 38,11V$$

Da das verwendete Spannungsversorgungsgerät N1 nur maximal 32V DC liefern kann, ist die Obergrenze dadurch vorgegeben und zusammenfassend ergibt sich nun folgender Messbereich:

U_{emin}	U_{emax}
[V]	[V]
10	32

3.2.3 Messvorgang & Auswertung

Nachdem nun der zu messende Bereich festgestellt wurde, konnte mit dem Aufbau der Schaltung begonnen werden.⁴ Dabei wird jeweils mittels dem Voltmeter V1 die Ausgangsspannung gemessen, wobei die Eingangsspannung in 1V-Schritten von 10V-32V stufenweise erhöht wird. Dies ergab bei uns, mit den dazugehörigen Formeln 1 & 2, folgende Auswertung:

U_e [V]	U_a [V]	G [—]	S [—]
10	5,16	—	—
11	5,18	50	24
12	5,20	50	22
13	5,21	100	40
14	5,23	50	19
15	5,24	100	35
16	5,25	100	33
17	5,27	50	16
18	5,28	100	29
19	5,29	100	28
20	5,30	100	27
21	5,31	100	25
22	5,32	100	24
23	5,33	100	23
24	5,34	100	22
25	5,35	100	21
26	5,36	100	21
27	5,37	100	20
28	5,38	100	19
29	5,39	100	19
30	5,40	100	18
31	5,41	100	17
32	5,42	100	17

Tabelle 2: Messtabelle zur Ermittlung der Stabilisierungsfaktoren (Z-Diode)

⁴Es ist vielleicht noch anzumerken, dass wir eigentlich eine ZPD9,1V verwenden wollten, jedoch beim Aufbau der Schaltung den Vorwiderstand, durch Unaufmerksamkeit, kurzgeschlossen hatten und somit die Zener-Diode bei der Inbetriebnahme zerstört wurde und keine weitere ZPD9,1V mehr zur Verfügung stand.

Im Anschluss auf die Messungen noch eine graphische Darstellung vom Stabilisierungsfaktor & der Ausgangsspannung jeweils in Abhängigkeit der Eingangsspannung:

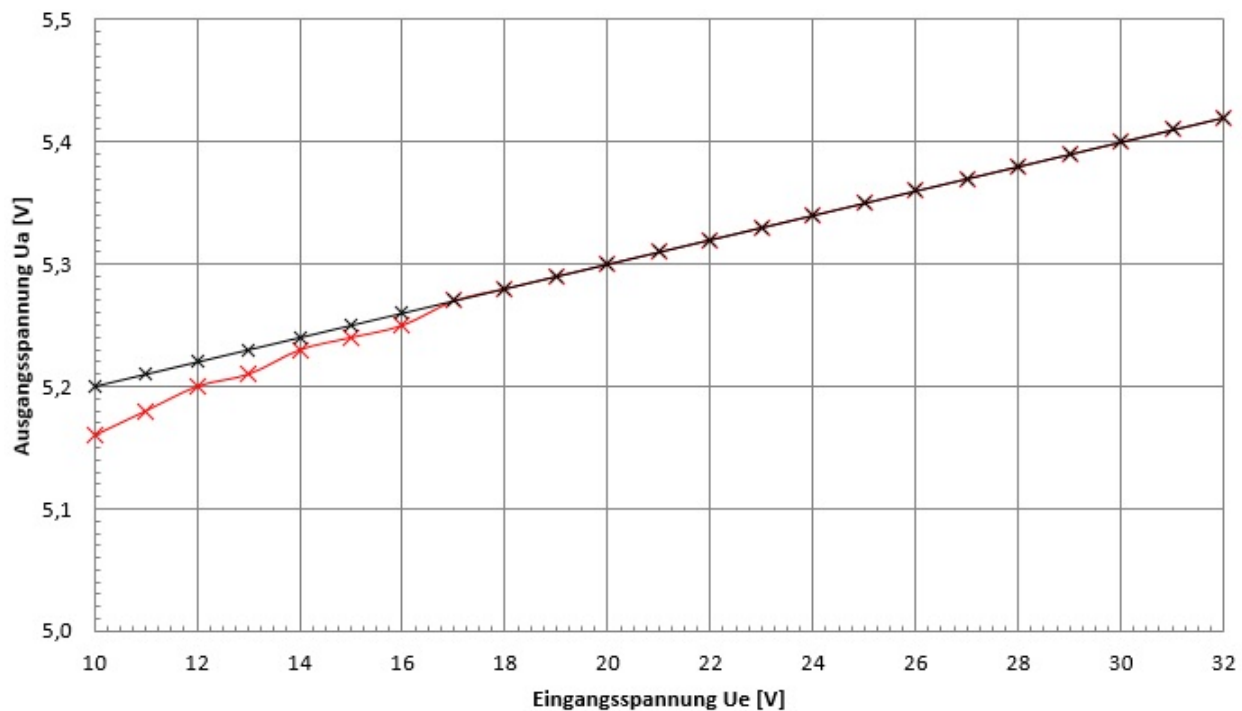


Abbildung 4: Kennlinie der Ausgangsspannung $U_a = f(U_e)$ (Z-Diode)

Es sind in dieser Abbildung 4 zwei Kennlinien ersichtlich. Die rote Kennlinie stellt die gemessenen Werte graphisch dar, und die schwarze ist eine Art Näherungskennlinie.

Man kann im Allgemeinen erkennen, dass die Ausgangsspannung im gewählten Bereich von ca. $5,15V - 5,45V$ schwankt, wobei natürlich bei größerer Eingangsspannung, und somit größerem Zener-Diodenstrom, der differentieller Widerstand immer mehr an Einfluss gewinnt und er somit die gesamte Ausgangsspannung um das Produkt von ca. $r_z \cdot I_Z$ anhebt

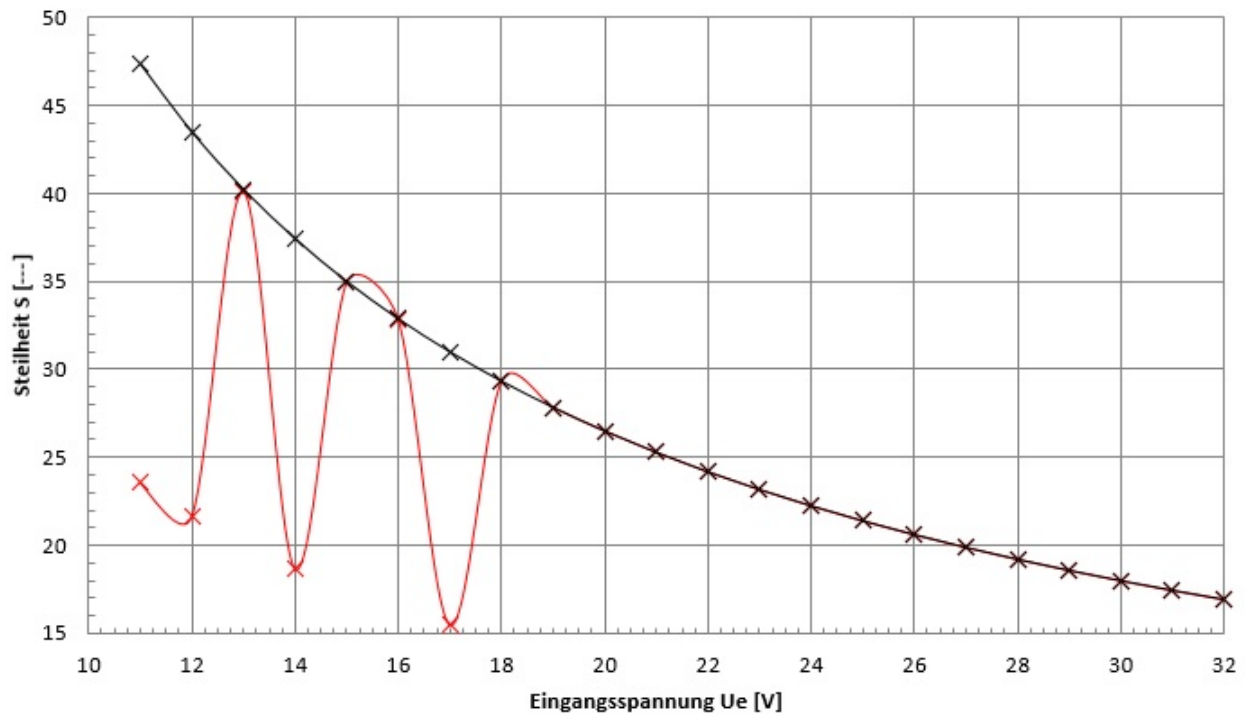


Abbildung 5: Kennlinie des relativen Stabilisierungsfaktors $S = f(U_e)$ (Z-Diode)

Hier ergibt sich die rote Kennlinie aus den gemessenen Spannungen und die schwarze stellt erneut einen näherungsweisen Verlauf dar.

Vor allem im unteren Spannungsbereich änderte sich die Ausgangsspannung viel deutlicher als im oberen, was in der Abbildung 5 durch die größere Änderung von der Steilheit ersichtlich ist.

Nun ist noch der dynamische Innenwiderstand der Schaltung durch Messung der Ausgangsspannung mit dem Voltmeter V1 bei unterschiedlichen Belastungen zu ermitteln.

Insgesamt wurden folgende zwei Messungen, bei einer konstanten Eingangsspannung von 21V ($= \frac{U_{emax} + U_{emin}}{2}$) durchgeführt:

Lastwiderstand	gemessene Ausgangsspannung	berechneter Laststrom
$R_{L1} = 820\Omega$	$\rightarrow U_{a1} = 5,32V$	$\rightarrow I_{L1} = \frac{U_{a1}}{R_{L1}} = \frac{5,32V}{820\Omega} = 6,49mA$
$R_{L2} = 820\Omega 390\Omega$	$\rightarrow U_{a2} = 5,26V$	$\rightarrow I_{L2} = \frac{U_{a2}}{R_{L2}} = \frac{5,26V}{820\Omega 390\Omega} = 19,90mA$

Nun lässt sich daraus der dynamische Innenwiderstand der Schaltung Abb.3 mit der Formel 3 ermitteln:

$$r_i = \frac{|U_{a1} - U_{a2}|}{|I_{L1} - I_{L2}|} = \frac{5,32V - 5,26V}{6,49 \cdot 10^{-3}A - 19,90 \cdot 10^{-3}A} = 4,47\Omega$$

Dieser differentielle Widerstand r_i von ca. $4,5\Omega$ der Schaltung ergibt sich im Wesentlichen durch die Steilheit der Z-Dioden-Kennlinie.

3.2.4 Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung Teil 2

Die zweite Aufgabe bestand im Wesentlichen darin, eine Schaltung zu entwickeln, um den dynamischen Zener-Dioden Widerstand r_z im mittleren Messspannungsbereich zu erfassen.

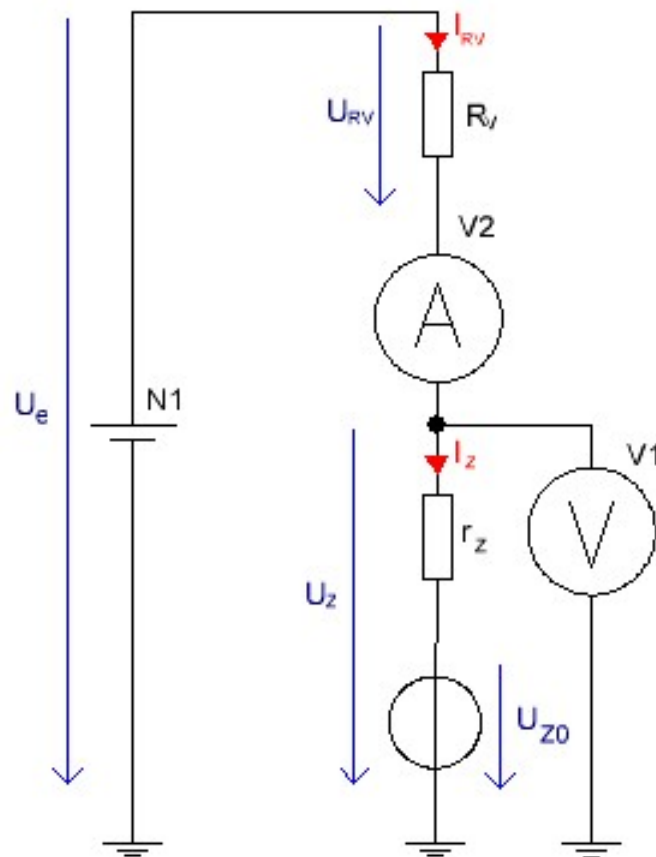


Abbildung 6: Schaltung zur Ermittlung des dynamischen Zener-Dioden Widerstandes

Bei dieser Messschaltung wurde die Z-Diode durch dessen Ersatzschaltbild zur Übersichtlichkeit des Vorhabens ersetzt. Es gilt:

$$r_z = \frac{|U_{Z1} - U_{Z2}|}{|I_{Z1} - I_{Z2}|} \quad (4)$$

Dabei müssen zwei Messungen ($U_{Z1,Z2} \dots$ mit dem Voltmeter V1 & $I_{Z1,Z2} \dots$ mit dem Amperemter V2) bei unterschiedlichen Eingangsspannungen U_{ex} durchgeführt werden. Es wurde dabei der Strom über dem Voltmeter (=hochohmig) vernachlässigt.

3.2.5 Vorberechnungen & Festlegungen

Natürlich muss noch zuvor der Vorwiderstand richtig dimensioniert werden. Für die Messung selbst wurde eine Eingangsspannung von $15V - 16V$ gewählt. Der mindestens zu verwendende Vorwiderstand wäre somit:

$$R_V = \frac{U_{emax} - U_Z}{I_{Zmax}} = \frac{U_{emax} - U_Z}{\frac{P_{TOTZ}}{U_Z}} = \frac{16V - 5,1V}{\frac{400 \cdot 10^{-3}W}{5,1V}} = 138,98\Omega$$

Aus Gründen der Sicherheit und auch da die Temperaturbeeinflussung gering sein soll, wurde ein wesentlich höherer Vorwiderstand R_V von 220Ω verwendet.

Durch diesen Vorwiderstand wird somit der Zener-Dioden Strom auf einen kleineren Wert, als zulässigen begrenzt.

3.2.6 Messvorgang & Auswertung

Nach dem erfolgreichen Aufbau der Schaltung Abb.6 kann mit den Messungen begonnen werden.

Messung 1:

Am Beginn wurde die Eingangsspannung mittels dem Netzgerät N1 konstant auf 16V eingestellt und es konnten folgende Spannungen & Ströme mittels den Messgeräten V1 & V2 erfasst werden:

$$I_{RV1} \approx I_{Z1} = 49,60mA \quad U_{Z1} = 5,30V$$

Messung 2:

Analog zur 1.Messung wurde nun eine Eingangsspannung von 15V eingestellt und ergab somit folgende Anzeigen auf den Digitalmultimetern:

$$I_{RV2} \approx I_{Z2} = 44,70mA \quad U_{Z2} = 5,28V$$

Messung 3:

Nun ergab eine 3.Messung mit einer Eingangsspannung von 14V folgende Messwerte:

$$I_{RV3} \approx I_{Z3} = 40,10mA \quad U_{Z2} = 5,26V$$

Auswertung:

Aus den gewonnenen Messdaten kann nun, wie folgt, der dynamische Zener-Dioden Widerstand (näherungsweise) bestimmt werden:

Aus den ersten beiden Messungen folgt mit der Formel 4:

$$r_{z1} = \frac{|U_{Z1} - U_{Z2}|}{|I_{Z1} - I_{Z2}|} = \frac{|5,30V - 5,28V|}{|49,60 \cdot 10^{-3}A - 44,70 \cdot 10^{-3}A|} = 4,08\Omega$$

Danach folgt noch als Kontrolle, oder zur besseren Bestimmung die zweite Berechnung aus den letzten beiden Messungen:

$$r_{z2} = \frac{|U_{Z2} - U_{Z3}|}{|I_{Z2} - I_{Z3}|} = \frac{|5,28V - 5,26V|}{|44,70 \cdot 10^{-3}A - 40,10 \cdot 10^{-3}A|} = 4,35\Omega$$

Aus diesen Messungen lässt sich somit näherungsweise sagen, dass der differentieller Zener-Dioden Widerstand r_z im Bereich von $4\Omega - 4,5\Omega$ liegt.

3.2.7 Messbericht

Zusammenfassend stellten wir fest, dass der absolute Stabilisierungsfaktor im Prinzip annähernd gleich bleibt, bzw. bleiben soll, hingegen der relative mit steigender Eingangsspannung abnimmt. Der bestimmte differentielle Widerstand der Diode ist relativ gering und deswegen eignet sich diese Zener-Diode sehr gut für Spannungsstabilisierung. Im Anschluss werden nochmals alle gewonnenen Daten zur Übersichtlichkeit zusammengefasst.

Zusammenfassend:

U_e [V]	U_a [V]	G [—]	S [—]	r_i [Ω]	r_z [Ω]
10 – 38	5,15 – 5,45	≈ 100	$\approx 50 – 15$	$\approx 4,5\Omega$	$\approx 4\Omega – 4,5\Omega$

3.3 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode & Bipolartransistor (Serienstabilisierung)

3.3.1 Aufgabenstellungen & Schaltungsentwicklung

Bei diesem Stabilisierungsverfahren wird nun im Prinzip zusätzlich ein Transistor in Kollektorschaltung, sozusagen als Stromverstärker, eingesetzt. Dabei ist erneut die ZPD5,1V Zener Diode zu verwenden. Die Aufgabe besteht darin die Funktion und Wirkungsweise von dieser Schaltung kennen zu lernen und Messungen durchzuführen, um die Stabilisierungsfaktoren berechnen zu können.

Folgende bekannte Schaltung ist dabei zu verwenden:

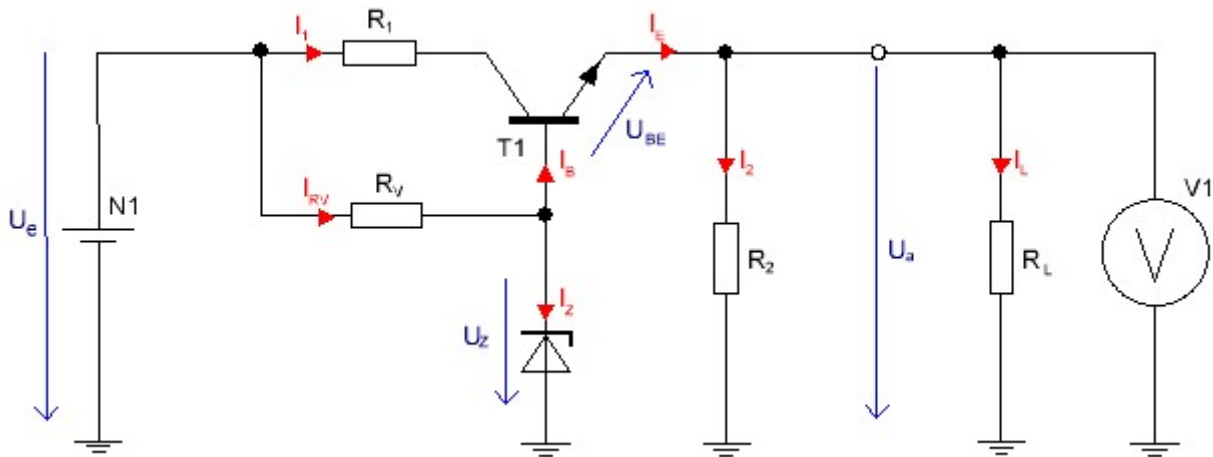


Abbildung 7: Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit Z-Diode & Bipolartransistor

Die dazugehörigen Bezeichnungen:

U_e	Eingangsspannung (Spannung vom Netzgerät N1)
U_{BE}	Basis-Emitterspannung
U_Z	Spannung an der Z-Diode
U_a	Ausgangsspannung (Die zu stabilisierende Spannung am Lastwiderstand.)
I_1	Strom über den Schutzwiderstand
I_{RV}	Strom über den Vorwiderstand
I_Z	Strom über die Z-Diode (Zener-Diodenstrom)
I_B	Basisstrom
I_E	Emitterstrom
I_2	Strom über den Leerlaufwiderstand
I_L	Strom über den Lastwiderstand (Laststrom)
R_1	Schutzwiderstand / Kollektorwiderstand (Dieser soll den Transistor bei einem Kurzschluss schützen, jedoch nicht auf Dauer.)
R_V	Vorwiderstand
R_2	Leerlaufwiderstand / Emitterwiderstand (Sorgt im Wesentlichen dafür, dass die Schaltung ohne Last ebenfalls funktioniert.)
R_L	Lastwiderstand

3.3.2 Vorberechnungen & Festlegungen

Die im vorherigen Kapitel entworfene Schaltung muss natürlich noch richtig dimensioniert werden. Dabei ist anzumerken, dass aus zeitlichen Gründen dies von unserem Dipl.-Ing. Dr. Peter Zaniat übernommen wurde.

Folgende Bauteile sind verwendet worden:

$U_Z = 5,1V$	Dieser Wert kann aus dem Datenblatt entnommen werden, bzw. steht direkt auf der Z-Diode oben. (Datenblattangabe: 4,8V - 5,4V (=schwankender Bereich))
$I_{Zmin} = 5mA$	Dies ist der minimale Zener-Diodenstrom welcher laut Datenblatt über die Z-Diode fließen soll, damit diese einwandfrei arbeiten kann.
$P_{TOTZ} = 400mW$	Datenblattangabe: maximale Verlustleistung an der Z-Diode $P_{TOTZ} = 500mW$ bei $25^\circ C$.
$I_C = I_1 = 15A$	maximaler Kollektorstrom des Transistors T1 laut Angabe im Datenblatt.
$U_{CE0} = I_1 = 60V$	maximale Kollektor-Emitter-Spannung im Leerlauf von T1 (Datenblattangabe)
$P_{TOTT1} = 12W$	Datenblattangabe des gewählten NPN-Transistors 9117.3 aus Silizium
$R_V = 220\Omega$	Der Vorwiderstand sollte bei der höchsten Eingangsspannung den Diodenstrom auf den maximal erlaubten Zenerstrom begrenzen.
$R_1 = 4\Omega$	Dieser ist so zu wählen, dass der Transistor T1 vor einem kurzzeitigen Kurzschluss geschützt ist. (Leistungswiderstand R_{Leist1} verwenden!, da sehr hohe Ströme fließen)
$R_2 = 1k\Omega$	Dieser Leerlaufwiderstand sollt möglichst groß gegenüber dem Lastwiderstand sein, so dass er im Betrieb als vernachlässigbar angesehen werden kann.
$R_L = 6,8\Omega$	Dieser wurde so gewählt, dass rechnerisch ein maximaler Laststrom von $I_L = 0,7A$ auftritt.

Aus diesen Kenntnissen kann nun mit dem Aufbau der Schaltung Abb.7 begonnen werden.

3.3.3 Messvorgang & Auswertung

Der Bereich der Eingangsspannung betrug $9V - 23V$, wobei wieder in $1V$ -Schritten gemessen wurde. Mit diesen Erkenntnissen konnte mit dem Messen der Ausgangsspannung begonnen werden und ergab mit den Formeln 1 & 2 folgende Auswertung:

U_e [V]	U_a [V]	G [—]	S [—]
9	4,55	—	—
10	4,57	50	23
11	4,59	50	21
12	4,61	50	19
13	4,63	50	18
14	4,65	50	17
15	4,67	50	16
16	4,69	50	15
17	4,71	50	14
18	4,73	50	13
19	4,75	50	13
20	4,77	50	12
21	4,79	50	11
22	4,81	50	11
23	4,83	50	10

Tabelle 3: Messtabelle zur Ermittlung der Stabilisierungsfaktoren (Z-Diode & Bipolartransistor)

Bei diesen Messungen ist unbedingt zu beachten, dass zuerst die gewünschte Eingangsspannung eingestellt und die dazugehörige Messung erst nach ca. 30s durchgeführt werden sollten, da sich die Ausgangsspannung während dieser Zeit noch ein wenig ändert!, was einerseits auf die Temperaturabhängigkeit der einzelnen Bauteile rückzuschließen ist.

Die Graphische Darstellung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Eingangsspannung ergibt nun folgendes:

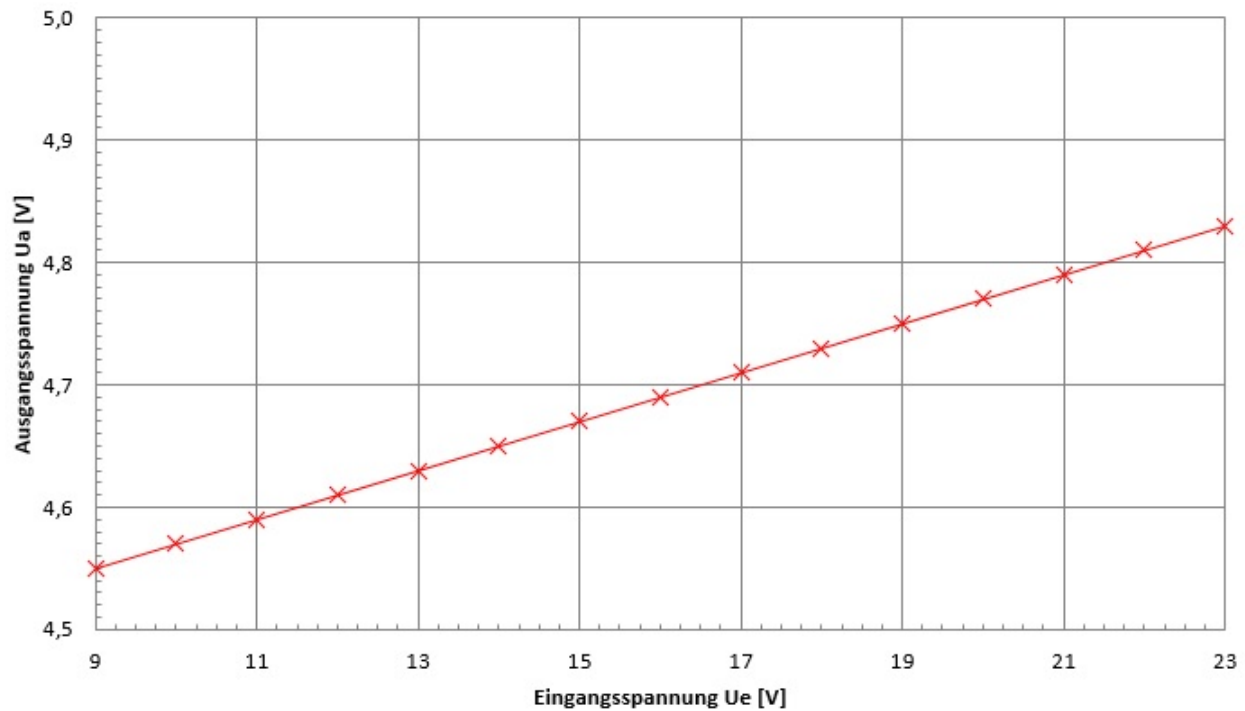


Abbildung 8: Kennlinie der Ausgangsspannung $U_a = f(U_e)$ (Z-Diode & Bipolartransistor)

Die Ausgangsspannung schwankt im Bereich von ca. $4,5V - 4,9V$ und es ist deutlich erkennbar, dass gilt: $U_a = U_Z - U_{BE} \approx U_Z - 0,7V$.

Nun folgt noch der relative Stabilisierungsfaktor der Schaltung Abb.7:

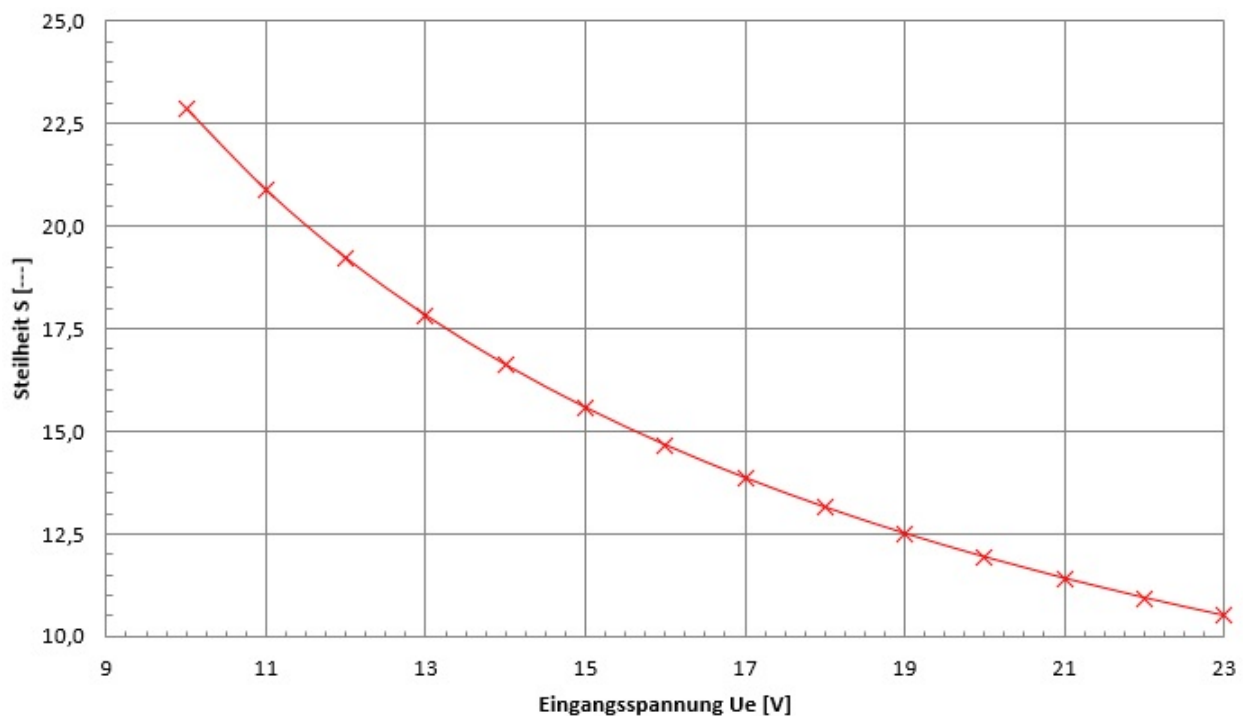


Abbildung 9: Kennlinie des relativen Stabilisierungsfaktors $S = f(U_e)$ (Z-Diode & Bipolartransistor)

3.3.4 Messbericht

Die Ausgangsspannung wird im Wesentlichen durch die Z-Diode (und natürlich durch U_{BE}) bestimmt, und es zeigt sich, dass diese Spannungsstabilisierung auch für größere Ströme sehr gut geeignet ist, jedoch die Verlustleistung auch dementsprechend größer ist.

Zusammenfassend:

U_e	U_a	G	S
[V]	[V]	[—]	[—]
9 – 23	4,5 – 4,9	≈ 50	$\approx 25 – 10$

4 Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] <http://www.elektronik-kompodium.de/>

[2] <http://elektroniktutor.oszkim.de/>

+ diverse Unterlagen aus dem Theorieunterricht, von unserem Dipl.-Ing. Dr. Thomas Mayer.