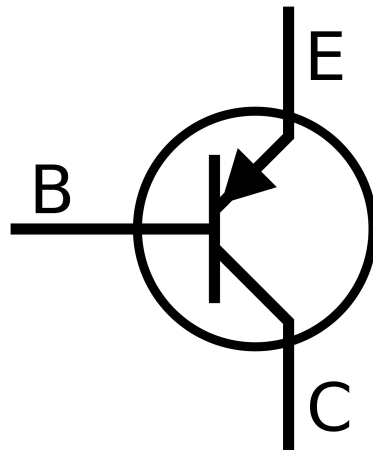




BERGISCHE **EP-b: EP3**
UNIVERSITÄT **Der Transistor**
WUPPERTAL 8. März 2021

Alexander Adam **Friedrich Jahns**
1946255 1960002



Zielsetzung des Versuchs

In diesem Versuch wird versucht sich Transistoren, welche heutzutage eine der bedeutendsten Bauteile in der Elektronik sind, näher kennen zu Lernen. Dies geschieht indem zuerst die elektrische Eigenschaften des Transistors, durch Aufnahme von einer Kennlinien, charakterisiert wird. Es wird dann durch verwenden der Transistoren in verschiedenen Schaltungen, ihre Fähigkeit der Strom und Spannungsverstärkung näher kennengelernt. Zuletzt werden noch Feldeffekttransistor betrachtet, im Gegensatz zu den bisher verwendeten Bipolartransistor, welche benutzt werden zur Gleichspannungsstabilisierung.

Geräte

- Gleichspannungsquelle und Funktionsgenerator von Hameg
- Oszilloskop von Tektronix mit zwei Kanälen
- mindestens zwei Digitale Multimeter
- Transistoren (Typ BC550, BD137 und BS170)
- Lautsprecher (8Ω)
- Diverse Potentiometer, Widerstände, Kondensatoren und Diode(n) (siehe Schaltpläne)
- Optional: Rastersteckplatten von Leybold mit Zubehör

Inhaltsverzeichnis

1	Kennlinie des Transistors	4
1.1	Die Eingangskennlinie	4
1.1.1	Aufbau der Schaltung	4
1.1.2	Resultat	5
1.2	Stromverstärkung	5
1.2.1	Umbau der Schaltung	6
1.2.2	Resultat	6
1.3	Die Ausgangskennlinie	7
1.3.1	Anpassung der Schaltung	7
1.3.2	Resultat	8
2	Spannungsverstärkung mit Transistoren	8
2.1	Resultat	9
2.2	Anwendung mittels Lautsprecher	10
3	Emitterfolger-Schaltung	11
3.1	Aufbau der Schaltung	11
3.2	Resultat	12
3.3	Integration des Emitterfolger in den Spannungsverstärkung	13
3.4	Vergleich zum Spannungsverstärkung ohne Emitterfolger	13
4	Feldeffekttransistoren	14
4.1	Schaltplan zur Vermessung des MOSFET	14
4.2	Resultat	15
5	Spannungsstabilisierung mit Transistoren	16
5.1	Schaltplan zur Spannungsstabilisierung	16
5.2	Resultat	17
6	Zusammenfassung	18
7	Anhang	19

1 Kennlinie des Transistors

Um sich mit dem Transistor vertraut zu machen beginnt die Versuchsreihe mit der Messung von den elektrischen Eigenschaften des Transistor BC550 welcher in den folgenden Schaltungen unter anderem verwendet wird. Die elektrischen Eigenschaften lassen sich Charakterisieren durch vier Kennlinien wobei im folgenden drei dieser vier Kennlinien vermessen werden. Die vierte entfällt da die beschriebene elektrische Eigenschaft eine geringe Relevanz besitzt, für den Anwendungsbereich des Transistors in der Versuchsreihe.

1.1 Die Eingangskennlinie

Die Eingangskennlinie des Transistors trägt dessen Basis-Emitterspannung U_{BE} gegen seinen Basisstrom I_B auf. Die zu erwartende Kennlinie ist dabei identisch zu der einer Diode da der Strom im Transistor von Basis zu Emitter lediglich einen einzelnen p-n-Übergang durchläuft. Dabei ist außerdem mit dem bereits aus dem versuch EP2 bekannten Spannungsabfall von 0,7V einer Diode zu rechnen.

1.1.1 Aufbau der Schaltung

Die Schaltung besteht aus zwei einzelnen Stromkreisen. Das in Abbildung 1 linke Netzteil speist seinen Strom in einen durch ein Potentiometer Variablen Spannungsteiler ein. Aus diesem fließt der Strom über einen Vorwiderstand durch die Basis eines Transistors zu dessen Emitter und danach zur Masse. Gleichzeitig liegt parallel über Basis und Emitter auch ein Voltmeter zur Messung der Basisemitterspannung U_{BE} sowie bei bedarf ein Kleiner Kondensator an, welcher hilft hochfrequente Schwingungen im Schaltkreis auszuglätten. Über das Potentiometer kann nun die Spannung variiert werden um die Kennlinie aufzunehmen. Auf der rechten Seite der Schaltung befindet sich ein weiteres Netzteil welches lediglich eine konstante Kollektor-Emitterspannung von 5V liefert.

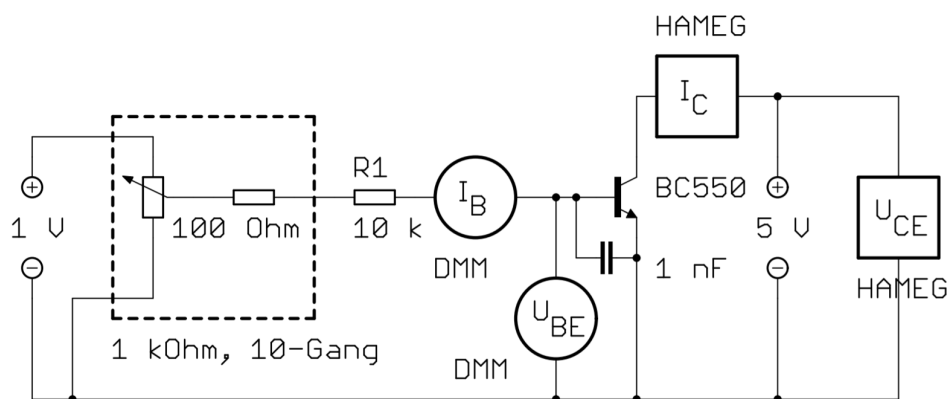


Abbildung 1: Schaltplan zur Messung der Eingangskennlinie

1.1.2 Resultat

Wie schon in 1.1 vermutet, ähnelt die ermittelte Kennlinie sehr stark der einer Diode. Mit steigender Basis-Emitterspannung gibt es leichte Leckströme des Basisstroms im Transistor und ab der Überschreitung einer bestimmten Schwellenspannung einen exponentiellen Anstieg des Basisstroms. Aus Abbildung 2 wird für die Schwellenspannung dieses Spezifischen Transistors ein wert von c.a. 0,6V deutlich.

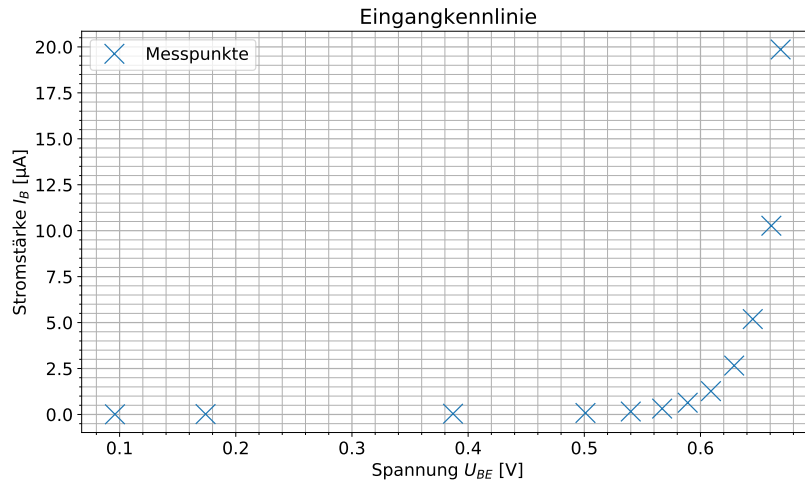


Abbildung 2: Eingangskennlinie des Transistors BC550

1.2 Stromverstärkung

Die Kennlinie der Stromverstärkung des Transistors trägt dessen Basisstrom I_B gegen den resultierenden Kollektorstrom I_C auf. Dabei ist I_C proportional abhängig von I_B . Dies geschieht ,da ,durch den Basisstrom, die Ladungsträger aus dem Emitter versuchen sich mit den Ladungsträger aus der Basis zu vereinigen, wie bei einer üblichen Diode. Da die Basis jedoch zu klein ist gelangt ein Großteil der Ladungsträger in den Kollektor, während nur ein Bruchteil der Ladungen sich in der Basis vereinigen. Dieser Effekt resultiert in einem deutlich größeren Kollektorstrom als Basisstrom, wobei der Kollektorstrom vom Basisstrom abhängt.

1.2.1 Umbau der Schaltung

Im Vergleich zu 1.1.1 Ändert sich am grundsätzlichen Aufbau der Schaltung nichts. Lediglich das ehemalige Voltmeter wird nun verwendet um den Kollektorstrom zu messen. Außerdem werden nun am "linken" Netzteil variable Spannungen bis 20V verwendet.

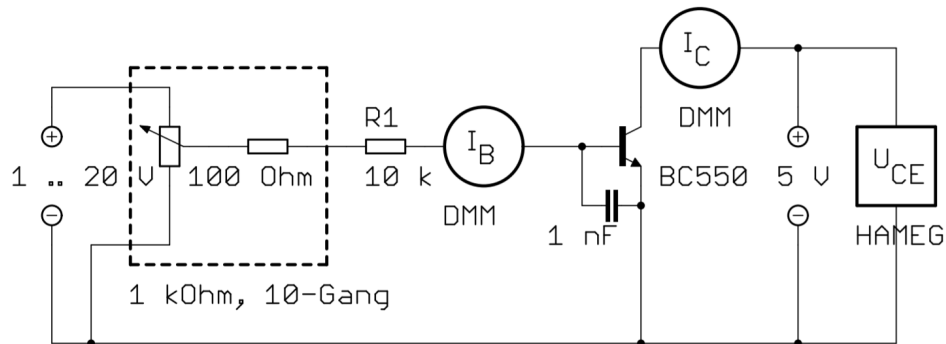


Abbildung 3: Schaltplan zur Messung der Stromverstärkung

1.2.2 Resultat

Für eine konstante Kollektor-Emitterspannung von 5V ist der Kollektorstrom proportional Abhängigkeit vom Basisstrom (siehe Abbildung 4) mit einem Proportionalitätsfaktor bzw. einer konstanten Stromverstärkung des Basisstroms von c.a. 500.

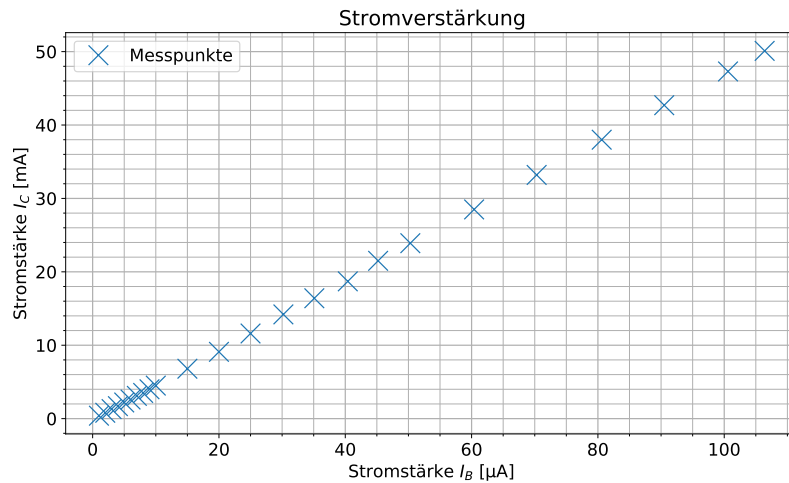


Abbildung 4: Stromverstärkung des Transistors BC550

1.3 Die Ausgangskennlinie

Die Ausgangskennlinie bzw. Kennlinien des Transistors tragen dessen Kollektor-Emitterspannung U_{CE} gegen seinen Kollektorstrom I_C für verschiedene konstante Basisströme I_B auf. Sie zeigt ab welchem Wert die Kollektor-Emitterspannung in der Lage ist nahezu alle Ladungsträger abzusaugen. Für Spannung unter diesem Wert ist ein steigt der Strom stark an in Abhängigkeit der Spannung. Nach dem Wert befindet man sich im Sättigungsbereich welcher annähernd konstant ist.

1.3.1 Anpassung der Schaltung

Das "linke" Netzteil wird nun auf einen konstanten wert von 20V eingestellt und vor der Basis des Transistors durch einen Konstanten großen Widerstand reguliert. Dabei wird für jeden der Widerstände bei R_1 ($0,5M\Omega, 1M\Omega, 2M\Omega$) eine eigene Kennlinie aufgenommen da diese den Basisstrom I_B festlegen. Das "rechte" Netzteil wird nun variabel zwischen 0-20V verwendet und zusätzlich über ein Potentiometer reguliert. Die beiden Multimeter werden zur Messung des Kollektorstroms I_C und Parallel zu Kollektor und Emitter des Transistors zur Messung der Kollektor-Emitterspannung U_{CE} verwendet.

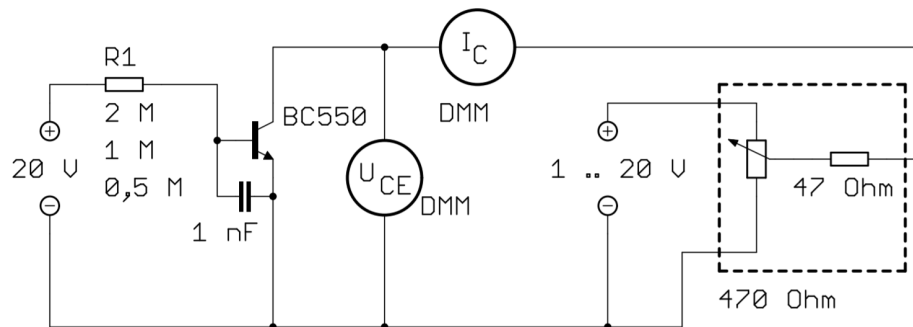


Abbildung 5: Schaltplan zur Messung der Ausgangskennlinie

1.3.2 Resultat

Die verschiedenen Kennlinien verlaufen als Sättigungskurven deren maximaler Sättigungsstrom offenbar vom im Vorfeld festgelegten Basisstrom I_B abhängt. Die grüne Kennlinie in Abbildung 6 mit einem Basisstrom von $I_B = 38,2\mu A$ scheint keine gewöhnliche Sättigungskurve wie die anderen beiden Kurven zu sein, was auf die Erwärmung des Transistors zurückzuführen ist welche bei höheren Strömen auftritt und seine Leitfähigkeit beeinflussen kann.

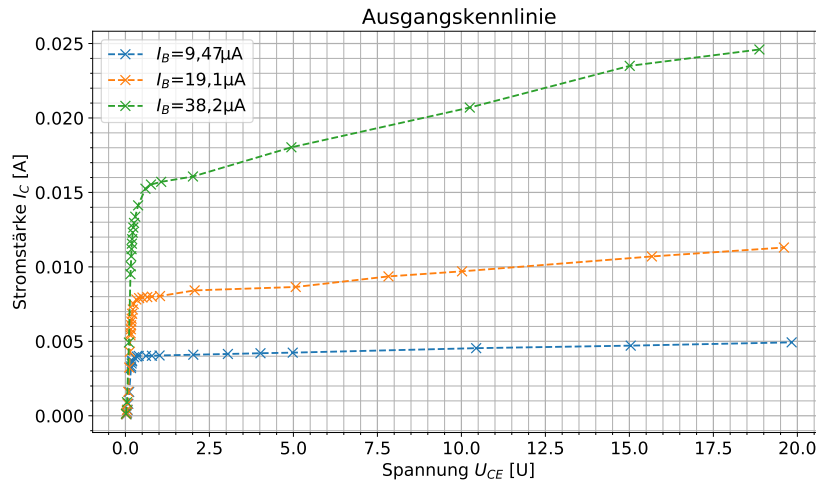


Abbildung 6: Ausgangskennlinie des Transistors BC550

2 Spannungsverstärkung mit Transistoren

Eine Gleichspannungsquelle mit einer Spannung von 10V wird über einen Widerstand R_4 mit dem Kollektor eines Transistors und über einen Widerstand R_2 zur Basis des Transistors und einem Potentiometer zur Masse verbunden. Dieser Aufbau fungiert als Spannungsteiler über welchen sich die Kollektorspannung regulieren lässt. Dabei ist idealerweise ein Wert von $\frac{U_0}{2}$ also 5V anzustreben um einer eingehenden Spannung eine maximale Verstärkung in beide Richtungen (+5V/-5V) zu ermöglichen. Die Wechselspannung wurde in diesem Fall von einem Funktionsgenerator erzeugt. Die ausgehende Wechselspannung wird über einen Kondensator C_1 und einen Widerstand R_1 zum Knotenpunkt aus Basis des Kondensators, R_2 und P_1 verbunden. Dieser Aufbau fungiert zusätzlich als Tiefpassfilter welcher für eine Grenzfrequenz von $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$ sorgt. Das Oszilloskop zeichnet nun die Spannungskurve der Ursprünglichen Wechselspannung des Funktionsgenerators sowie die resultierende Spannungskurve zwischen dem Kollektor und der Masse auf. Dabei wird zwischen Kollektor und Oszilloskop ein weiterer Kondensator C_2 geschaltet, der zusätzliche Gleichspannungsanteile aus der Wechselspannung herausfiltert. Liegt nun ein kleiner Wechselstrom an der Basis des Transistors an, so wird dieser wie in 1.2.2 gezeigt am Kollektor des Transistors stark verstärkt. Nach dem Ohmschen Gesetz fällt/steigt somit antiproportional die Spannung nach dem Widerstand R_4 . Dabei können für R_4 entweder $1k\Omega$ oder $10k\Omega$ verwendet werden. Zum Beispiel erzeugt ein kleiner Anstieg im Basisstrom, ein großen Anstieg im Kollektorstrom. Dies Erzeugt einen großen Abfall der Spannung über R_4 welches letztendlich zu einer geringen Spannung nach R_4 führt.

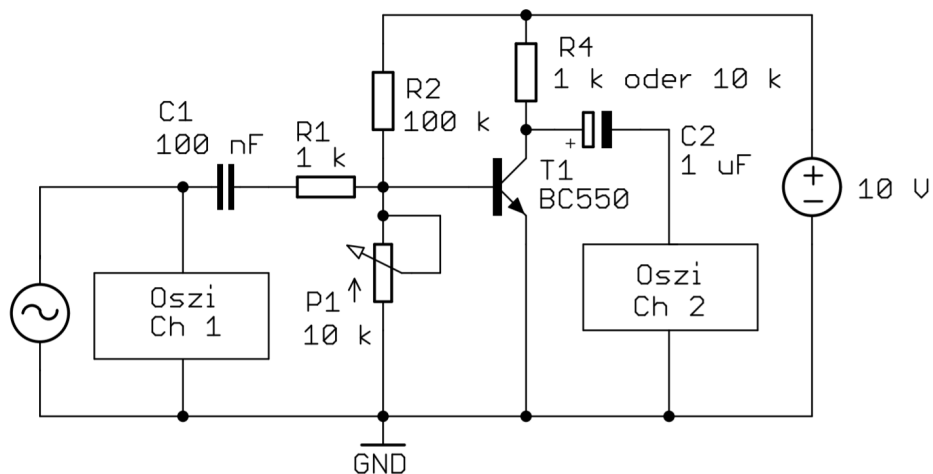
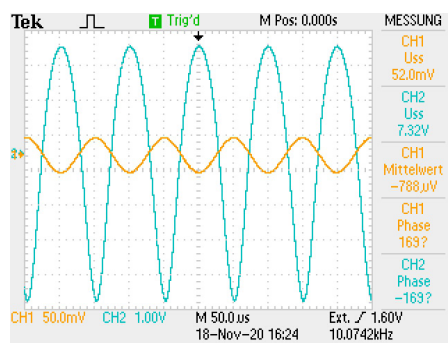


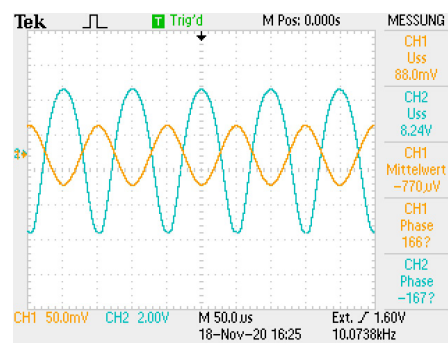
Abbildung 7: Schaltplan zur Verstärkung von Wechselspannung

2.1 Resultat

Aus Abbildung 8 wird die schon in 2 beschriebene antiproportionale Verstärkung der Spannung deutlich, wobei die gelbe Kurve immer die Spannung des Funktionsgenerators und die blaue Kurve immer die der verstärkten Spannung nach der Schaltung darstellt. Es wird zudem deutlich dass die antiproportionale Spannungsverstärkung zu einer Phasenverschiebung von ca. 180 Grad führt. Bei Benutzung des 10 k Ω Widerstandes wird eine Verstärkung der Spannung von ca. 140 erreicht, während bei dem 1 k Ω Widerstand nur eine Verstärkung von ca. 94 erreicht werden konnte.



(a) $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$



(b) $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$

Abbildung 8: Spannungsverstärkung

2.2 Anwendung mittels Lautsprecher

Nun wird ein 8Ω parallel zum channel 2 des Oszilloskops geschaltet. In der Folge bricht wie in Abbildung 9 deutlich wird das verstärkte Signal zusammen. Dies liegt daran, dass der Vorwiderstand R_4 zusammen mit dem Widerstand des Lautsprechers einen Spannungsteiler bildet bei dem unter Belastung wegen dem Verhältnis von 8Ω zu $1k\Omega$ die meiste Spannung über R_4 abfällt. Dadurch reicht die Restspannung nicht mehr für den Betrieb des Lautsprechers.

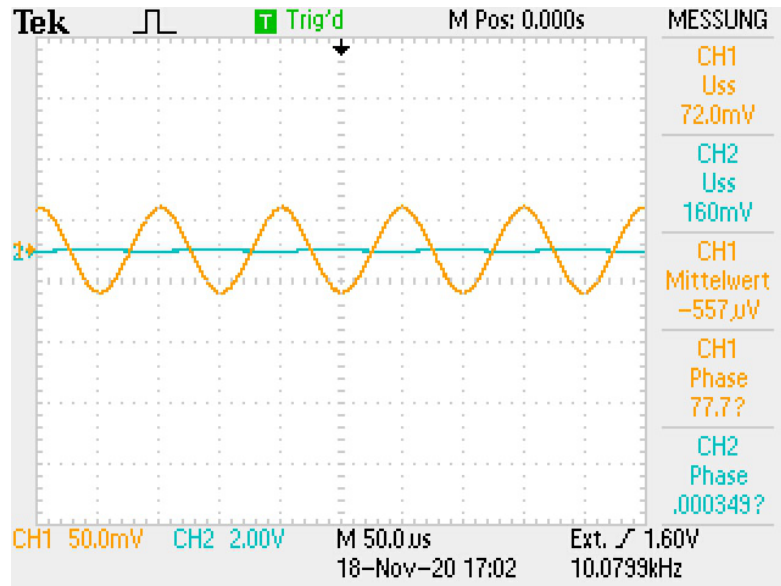


Abbildung 9

3 Emitterfolger-Schaltung

Um mit der vorherig benutzten Schaltung nun eine Last zu betreiben benötigt man eine Stromverstärkung. Für dies eignet sich eine Emitterfolger-Schaltung.

3.1 Aufbau der Schaltung

Die Emitterfolger-Schaltung zur Stromverstärkung ähnelt der Schaltung zur Spannungsverstärkung mit den bedeutenden Unterschieden, dass der vormals dem Kollektor vorgeschaltete Widerstand nun dem Emitter nachgeschaltet ist und nur noch einen Widerstand von 100Ω hat.

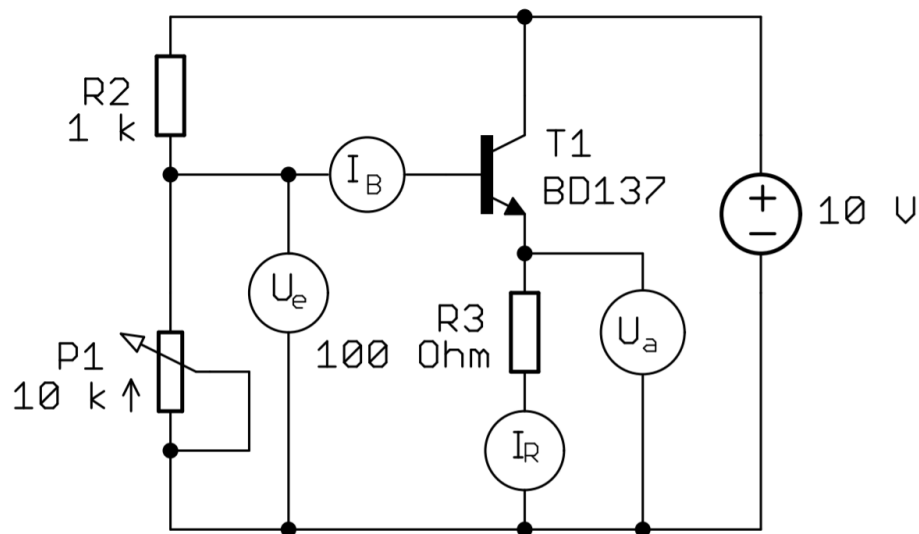
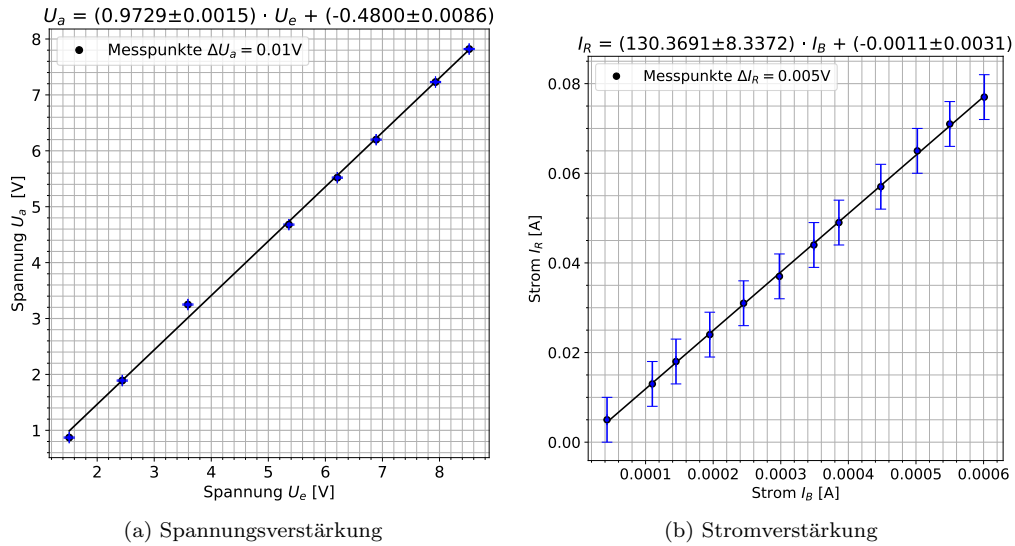


Abbildung 10: Schaltplan zur Stromverstärkung

Die eingehende Spannung lässt sich durch den Spannungsteiler aus R_2 und P_1 kontrollieren, wobei die Spannung nach dem Emitter immer um die Schwellspannung der Basis-Emitterdiode, welche unabhängig von dem fließenden Strom ist, reduziert wird. Es resultiert somit in keiner Spannungsverstärkung. Der Strom wiederum wird verstärkt, dies ist erkennbar durch betrachten der Formel $I_E = I_B + I_C$ welche sich durch betrachten der Spannungspotenziale ergibt. Der Basisstrom kann nun vernachlässigt werden und der Kollektorstrom kann approximiert werden durch $I_C = \beta I_B$. Dies zeigt dass der Basisstrom um den Stromverstärkungsfaktor β , welche eine charakteristische Größe des Transistors ist, verstärkt wird: $I_E = \beta I_B$

3.2 Resultat

Durch messen der Ein- und Ausgangsspannung als auch des Basisstrom (Eingehender Strom) und dem Resultierenden Strom lassen sich die zuvor beschriebenen Verstärkungen Quantisieren:



Durch die Steigung der linearen Regression lassen sich die Verstärkungswerte experimentell approximieren. Für die Spannungsverstärkung ergibt sich wie erwartet einen Proportionalitätsfaktor von ≈ 1 . Die Stromverstärkung zeigt eine 130-fache Verstärkung des eingehenden Stromes. Der Emitterfolger ermöglicht es somit ein Eingehenden Strom zu verstärken wobei es lediglich in einer geringen Verschiebung der Spannung von ca. 0.5V-0.7V resultiert.

3.3 Integration des Emitterfolgers in den Spannungsverstärkung

Nun wird der Emitterfolger aus 3.1 in den Spannungsverstärker aus 2 eingebaut. Für die Basisspannung des Emitterfolgers wird nun anstatt eines Spannungsteilers die Spannungsverstärkung aus 2 angeschlossen. Außerdem kann nun dank des Emitterfolgers nun der Lautsprecher parallel zu dem auf den Emitter folgenden Widerstand betrieben werden ohne das es zu einem Spannungsabfall kommt. Der Kondensator C_2 wird dabei vor den Lautsprecher geschaltet und nicht wie ursprünglich direkt am Ausgang der Spannungsverstärkung betrieben.

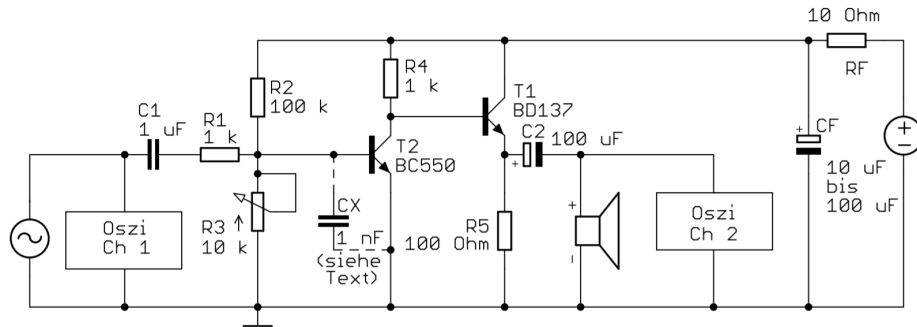


Abbildung 11: Schaltplan der verbesserten Spannungsverstärkung

3.4 Vergleich zum Spannungsverstärkung ohne Emitterfolger

Im Vergleich zur Spannungsverstärkung ohne Emitterfolger fällt auf, dass es keinen Starken Spannungsabfall gab und der Lautsprecher wie gewünscht betrieben werden kann. Dies wird dadurch bestätigt das in der Durchführung nach Anschluss des Lautsprechers ein deutlicher Ton zu hören war wohingegen dieser in der Spannungsverstärkung ohne Emitterfolger kaum hörbar war.

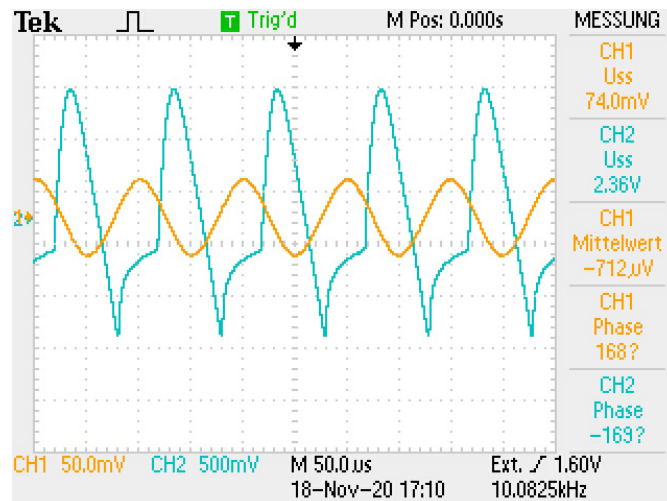


Abbildung 12

4 Feldeffekttransistoren

Der Stromfluss in einer Schaltung lässt sich jedoch nicht nur mit einem Bipolar Transistor steuern, welche wir bisher verwendet haben, sondern ebenfalls mit einem Feldeffekttransistor (FET). Der FET besitzt ebenfalls drei Anschlüsse welche Source, Drain und Gate genannt werden. Der Stromfluss über Source und Drain wird hier durch das Gate gesteuert wobei eine der Besonderheiten des FET ist, dass der Gatestrom, aufgrund der Bauart, um Größenordnungen kleiner ist verglichen zum Basisstrom des Bipolar Transistors. Um nun den FET charakterisieren zu können wird zuerst der Stromfluss durch den Transistor in Abhängigkeit der Gatespannung vermessen; als zweites wird versucht den Gatestrom zu vermessen.

4.1 Schaltplan zur Vermessung des MOSFET

Um den MOSFET betreiben zu können wird zuerst eine 10V Spannungsquelle, mit einem Stromlimitierenden Widerstand von $1\text{ k}\Omega$, an Source und Drain angeschlossen. Das Gate wird dann mit einer variabel Spannungsquelle betrieben. Zur Vermessung der der MOSFET Eigenschaften werden an mehreren Positionen, welche im folgenden Schaltplan zu sehen sind, Multimeter eingebaut.

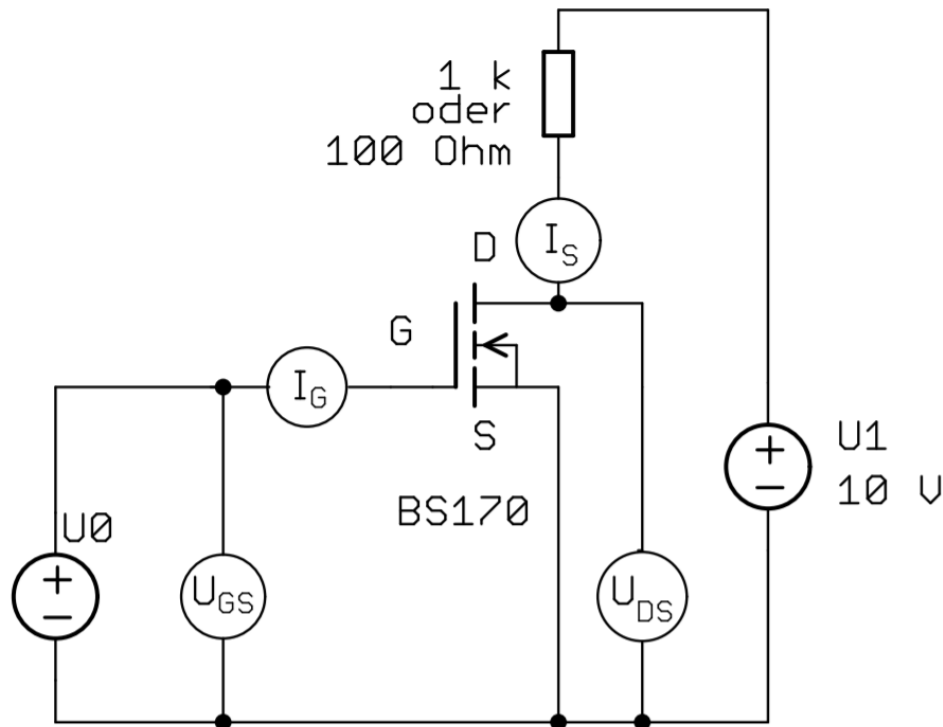


Abbildung 13: Schaltplan der MOSFET Schaltung

4.2 Resultat

Durch Auftragen von des Stromfluss in den Transistor (I_S) gegen die korrespondierende Gate U_{GS} Spannung erhält man die folgende Kurve:

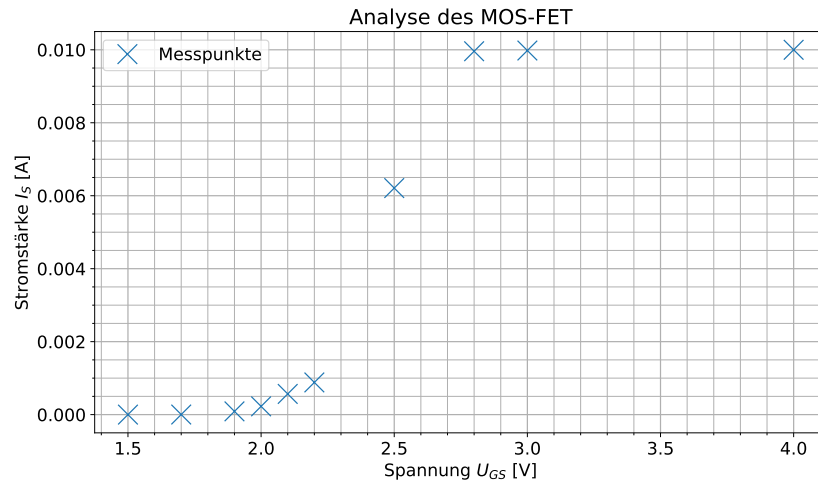


Abbildung 14: Spannungsbereich der Gatespannung

Es zeigt sich deutlich, dass zwischen 2V und 3V anliegender Gatespannung, der Stromfluss deutlich steigt bis er konstant auf 0.01A liegt, währenden der Stromfluss vor 2V nahezu nicht existent ist. Ein Gatestrom konnte nicht gemessen werden, welches vermutlich ein Resultat davon ist, dass dieser laut Datenblatt im 10pA Bereich liegt.

5 Spannungsstabilisierung mit Transistoren

Man kann mit Transistoren ebenfalls die Spannungsstabilisierung einer Zenerdiode signifikant verbessern welches im folgenden untersucht wird. Das Grundprinzip dieser Schaltung ist es, eine Zenerdiode zu verwenden um eine konstante Spannung zu erzeugen (siehe Versuch EP2). Es wird dann der Ausgangsstrom der Zenerdiode verstärkt durch einen Transistor (siehe Emitterfolger) welches zu einer stabilen Spannung, selbst unter Last, führt.

5.1 Schaltplan zur Spannungsstabilisierung

Die Spannungsstabilisierung wird realisiert in dem begonnen wird mit einer Zenerdiode und ihrem Vorwiderstand. Zu der Zenerdiode wird parallel die Last geschaltet mit einem jeweiligen Amper- und Voltmeter. Final wird ein Transistor hinzugeschaltet dessen Basis zwischen der Zenerdiode und dem Vorwiderstand liegt; Sein Kollektor, ebenso wie der Vorwiderstand werden an die positive Seite der Spannungsquelle angeschlossen; Der Emitter wird an den parallel Stromkreis bezüglich der Zenerdiode verbunden während die Verbindung der Zenerdiode durch einen Kondensator unterbrochen wird, welcher zusätzlich hochfrequente Schwingungen die bei einigen Netzgeräten auftreten verhindert.

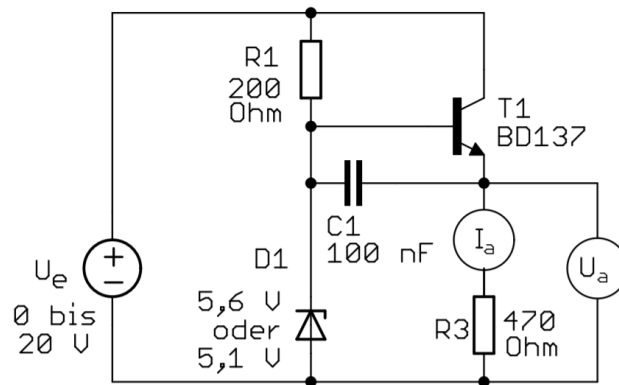


Abbildung 15: Schaltung zur Spannungsstabilisierung

5.2 Resultat

Die Spannungsstabilisierung lässt sich überprüfen indem die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Eingangsspannung und dem Ausgangsstrom untersucht wird.

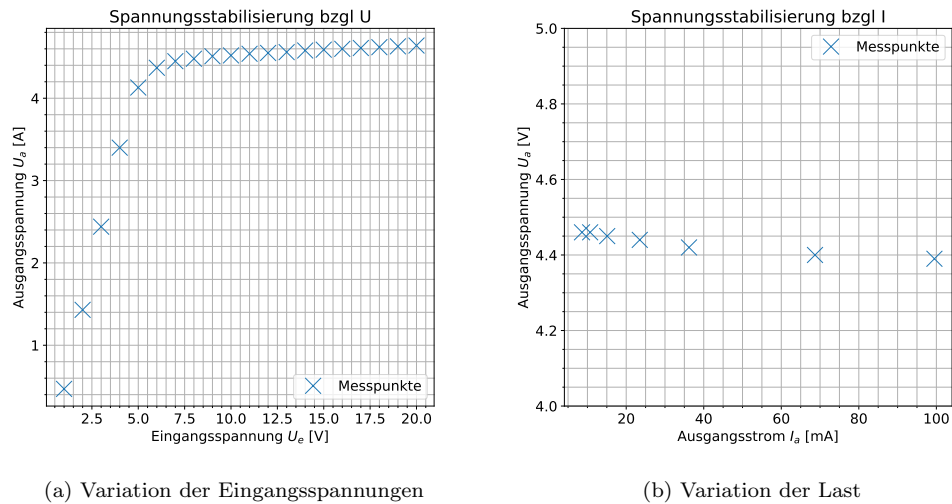


Abbildung 16: Spannungsverhalten bei

Es zeigt sich, dass oberhalb der Zenerspannung, die Ausgangsspannung nahezu unabhängig von der Eingangsspannung ist. Außerdem kann durch Erhöhen des Ausgangsstromes die Ausgangsspannung nicht signifikant verändert werden. Konkret heißt das, dass für Lasten von c.a. 50mA die Ausgangsspannung nicht anfängt einzubrechen wie es beispielsweise bei der Spannungsstabilisierung ohne Transistor aus dem Versuch EP2 der Fall war.

6 Zusammenfassung

Um die elektrischen Eigenschaften des Transistors zu charakterisieren wurden 3 Kennlinien des Transistors erfolgreich aufgenommen. Sie zeigten das Diodenverhalten von dem Basis-Emitterübergang mit einer Schwellspannung von ca. 0.6V-0.7V; Das ein Basisstrom in einem Kollektor-Emmitterstrom resultiert welcher 500-fach stärker ist; Das eine Kollektor-Emitterspannung von einem Volt zur Sättigung des Kollektorstromes führt.

Um allgemein eine beliebige variable Spannungsquelle zu verstärken kann mithilfe eines Transistors eine wie in 2 beschriebene Spannungsverstärkung erreicht werden wobei speziell diese Schaltung aufgrund ihrer Tiefpassfilter für die Verstärkung von reinen Wechselströmen effizient ist. Dabei beläuft sich die Spannungsverstärkung der Schaltung auf einen Faktor von c.a. 94. Alleine funktioniert diese Schaltung allerdings nicht unter Last da diese einen Starken Spannungsabfall zufolge hat.

Um einen Wechselstrom zu verstärken kann eine Emitterfolger-Schaltung verwendet werden, welche einen beliebig gewählten Basisstrom um den Faktor β zum Emitter verstärkt ($I_E = \beta I_B$).

Will man nun den Ursprünglichen Spannungsverstärker unter Last verwenden so kann anstelle eines Verbrauchers eine Emitterfolger-Schaltung eingebaut werden in welche wiederum der gewünschte Verbraucher (z.B.Lautsprecher) eingebaut wird. Mit dieser Konstellation sind nun höhere Lasten durch den Verbraucher möglich ohne das es zu einem vollkommenen Spannungsabfall kommt.

Weiterhin wurde gezeigt, dass zur Stromflussregulierung außerdem ein Feldeffekttransistor verwendet werden kann, wobei sein Gatestrom im pico Ampere Bereich liegt und somit für viele Anwendung geeignet ist.

Zuletzt wurde untersucht, inwiefern ein Transistor zur Spannungsstabilisierung einer Zenerdiode hinzufügen kann. Es zeigte sich, dass der Transistor den Lastbereich der Zenerdiode durch verstärken des Stromes verbessern konnte.

7 Anhang

Tabelle 1: Eingangskennlinie

Spannung U_{UB} [V]	Stromstärke I_B [μ A]
0.096	0.01
0.174	0.02
0.387	0.04
0.501	0.08
0.540	0.16
0.567	0.32
0.589	0.64
0.609	1.27
0.629	2.66
0.645	5.19
0.661	10.27
0.669	19.86

Tabelle 2: Stromverstärkung

Strom I_C [mA]	Stromstärke I_B [μ A]
0.4	1
0.8	2
1.3	3
1.7	4
2.2	5
2.6	6
3.1	7
3.5	8
4.0	9
4.5	10
6.8	15
9.1	20
11.6	25
14.2	30
16.4	35
18.7	40
21.5	45
23.9	50
28.5	60
33.2	70
38.0	81
42.7	90
47.3	101
50.1	106

Messwerte bezüglich der Ausgangsspannung:

Tabelle 3: $R=2\text{ M}\Omega$ $A=9.47\text{ }\mu\text{A}$

Tabelle 4: $R=1\text{ M}\Omega$ $A=19.1\text{ }\mu\text{A}$

Tabelle 5: $R=0.5\text{ M}\Omega$ $A=38.2\text{ }\mu\text{A}$

U_{CE} [V]	I_C [mA]
0.035	0.10
0.048	0.20
0.065	0.40
0.086	0.80
0.112	1.60
0.165	3.20
0.171	3.31
0.184	3.51
0.195	3.65
0.198	3.70
0.256	3.93
0.336	3.98
0.395	4.02
0.611	4.02
0.789	4.03
1.016	4.05
2.020	4.10
3.050	4.15
4.020	4.20
4.980	4.24
10.440	4.54
15.040	4.71
19.830	4.93

U_{CE} [V]	I_C [mA]
0.021	0.10
0.032	0.20
0.046	0.40
0.064	0.81
0.085	1.61
0.114	3.24
0.132	4.30
0.150	5.40
0.156	5.54
0.162	5.81
0.170	6.08
0.177	6.33
0.184	6.52
0.200	6.85
0.220	7.14
0.245	7.51
0.326	7.81
0.408	7.90
0.507	7.94
0.650	7.97
0.788	8.00
1.029	8.04
2.060	8.42
5.070	8.65
7.830	9.36
10.020	9.70
15.670	10.70
19.600	11.30

U_{CE} [V]	I_C [mA]
0.016	0.14
0.047	0.91
0.104	4.92
0.150	9.51
0.162	10.04
0.173	10.71
0.183	11.19
0.192	11.56
0.201	11.86
0.218	12.30
0.235	12.64
0.256	12.95
0.293	13.37
0.378	14.13
0.596	15.25
0.760	15.53
1.065	15.71
2.010	16.07
4.940	18.03
10.250	20.70
15.010	23.50
18.870	24.60

Tabelle 6: Stromverstärkung des Emitters

Strom I_B [μA]	Strom I_R [mA]
43 \pm 5	5 \pm 5
110 \pm 5	13 \pm 5
145 \pm 5	18 \pm 5
195 \pm 5	24 \pm 5
245 \pm 5	31 \pm 5
298 \pm 5	37 \pm 5
349 \pm 5	44 \pm 5
386 \pm 5	49 \pm 5
448 \pm 5	57 \pm 5
502 \pm 5	65 \pm 5
550 \pm 5	71 \pm 5
601 \pm 5	77 \pm 5

Tabelle 7: MOS-FET

Spannung U_{GS} [V]	Stromstärke I_S [mA]
2.0	0.23
3.0	9.98
4.0	10.00
1.5	0.00
1.7	0.00
1.9	0.09
2.1	0.57
2.2	0.88
2.5	6.21
2.8	9.96

Tabelle 8: Spannungsstabilisierung

Eingangsspannung U_e [V]	Ausgangsspannung U_a [V]
1.0	0.470
2.0	1.430
3.0	2.440
4.0	3.400
5.0	4.130
6.0	4.370
7.0	4.450
8.0	4.480
9.0	4.510
10.0	4.520
11.0	4.540
12.0	4.550
13.0	4.560
14.0	4.580
15.0	4.590
16.0	4.600
17.0	4.610
18.0	4.620
19.0	4.630
20.0	4.640

Tabelle 9: s

val1	val2	val3
10.00±1.00	10.00±2.00	20.00±1.00
10.00±1.00	10.00±2.00	10.10±2.00
10.00±1.00	10.00±2.00	10.20±3.00

Tabelle 10: s

val1	val2	val3
10.00±1.00	10.00±2.00	20.00±1.00
10.00±1.00	10.00±2.00	10.10±2.00
10.00±1.00	10.00±2.00	10.20±3.00