

Messbericht

Transistor als Schalter

Felix Schiller
Sebastian Littau
E1FS2

Reutlingen, am 12.04.2016

Inhaltsverzeichnis

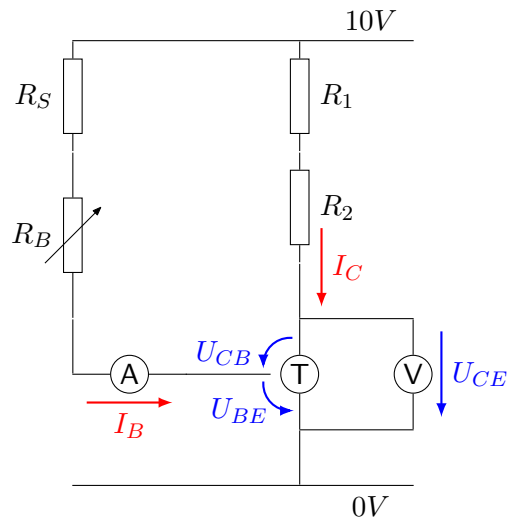
1	Messaufgabe	2
2	Messung	3
2.1	Messschaltung	3
2.2	Aufbau der Schaltung	3
2.3	Messwerttabelle	4
2.4	Berechnung der Gleichstromverstärkung B und Verlustleistung P_V	4
2.5	Übersteuerungsgrenze	5
2.6	Zweifache Sättigung	5
2.7	Ruhestrom im Transistor	5
2.8	Durchlass- und Sperrwiderstand	5
3	Auswertung und Erkenntnisse	6
3.1	Grafische Darstellung der Messwerte	6
3.2	Warum erreicht die Kennlinie die X-Achse nicht?	6
3.3	An welchem Punkt der Arbeitsgeraden tritt die größte Verlustleistung auf? .	6
4	Anwendungen	7
4.1	Schaltverstärker	7
4.2	Bistabile Kippstufe	8
4.3	Astabiler Multivibrator	8
4.3.1	Schaltung	8
4.3.2	Aufbau der Schaltung	8
4.3.3	Funktionsweise der astabilen Kippstufe	8
4.3.4	Veränderungen der Kapazitäten und Widerstände	9

1 Messaufgabe

Um das prinzipielle Schaltverhalten eines Transistors zu bestimmen, kann man diesen über den Basisstrom ansteuern und dann die Werte im Hauptstromkreis ermitteln. Dabei erkennt man die Funktionsweise des Transistors im Schaltbetrieb.

2 Messung

2.1 Messschaltung



2.2 Aufbau der Schaltung

In der oben gezeichneten Schaltung wird die Gleichstromverstärkung eines 2N3055 Transistors getestet. Als Schutzwiderstand vor der Basis des Transistors dient R_s mit 10Ω und $2W$ Leistung. Mit der Widerstandsdekade R_B wird der Eingangsstrom in die Basis fein justiert. Der Strom I_B , der durch diese Strecke fließt wird mit einem Tischmultimeter von Agilent gemessen.

In der Collector-Emitter Strecke ist ein Lastwiderstand R_L mit 11Ω und $8W$ Leistung vorgeschaltet. Der Laststrom wird hier mit dem Unigor A43 Analogmultimeter gemessen. Die Spannungen U_{CB} , U_{BE} und U_{CE} werden mit dem Fluke Multimeter gemessen.

2.3 Messwerttabelle

I_B in mA	I_C in mA	U_{CE} in V	U_{BE} in V	B	P_V in mW
0	0.049	10.01	0.031	n/a	n/a
1	56.2	9.3	0.683	56.2	532
2	115	8.63	0.7	57.5	1009
3	176	7.9	0.72	58.6	1342
4	239	7.17	0.74	59.75	1742
5	300	6.48	0.75	60	1976
6	368	5.77	0.77	61.3	2157
7	430	5.02	0.78	61.4	2193
8	490	4.3	0.8	61.25	2141
9	550	3.6	0.81	61.1	2012
10	610	2.9	0.82	61	1798
11	668	2.24	0.84	60.7	1520
12	717	1.67	0.86	59.7	1217
13	770	1.0	0.87	59.23	783
14	802	0.64	0.88	57.2	522
15	816	0.47	0.89	54.4	390
16	822	0.38	0.91	51.37	318
17	827	0.35	0.9	48.64	295
18	830	0.325	0.9	46.11	275
19	831	0.31	0.91	43.73	263
20	832	0.21	0.91	41.6	247

2.4 Berechnung der Gleichstromverstärkung B und Verlustleistung P_V

Der Transistor verstärkt das Basisstrom, der über die Widerstandsdekade als Eingangssignal angelegt wird. Auf der Kollektor-Emmitter-Strecke fließt der verstärkte Strom. Diese Gleichstromverstärkung B lässt sich berechnen.

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

Der Transistor hat einen veränderlichen Innenwiderstand. An diesem fällt ein Teil der Spannung ab und wird in Wärme umgewandelt diese Verlustleistung berechnet sich zu

$$P_V = U_{CE} \cdot (I_C + I_B)$$

2.5 Übersteuerungsgrenze

Die Übersteuerungsgrenze des Transistors ist erreicht, wenn die Spannung U_{CB} auf 0 abfällt. In der oben aufgebauten Schaltung ist das bei den folgenden Werten der Fall:

$$\begin{aligned}U_{BE} &= 0.89V \\U_{CE} &= 0.83V \\I_B &= 13,95mA \\I_C &= 785mA \\P_V &= 663.12mW\end{aligned}$$

2.6 Zweifache Sättigung

Im nächsten Schritt wird der Basisstrom I_B verdoppelt. Die folgenden Werte können gemessen werden:

$$\begin{aligned}U_{BE} &= 0.926V \\U_{CE} &= 0.25V \\I_B &= 27.6mA \\I_C &= 835mA \\P_V &= 215.65mW\end{aligned}$$

Mit steigender Übersteuerung sinkt die Kollektor-Emitter-Spannung und damit auch der Durchlasswiderstand und die Verlustleistung. Der Transistor wird zum fast spannungsfreien Leiter. Obwohl der Durchlasswiderstand mit steigender Übersteuerung kleiner wird, ist die Übersteuerung nicht immer anzustreben, weil sie die Ausschaltzeit des Transistors stark erhöht.

2.7 Ruhestrom im Transistor

Um den Ruhestrom durch den Transistor messen zu können wird die Verbindung zwischen R_B und der Basis gekappt. In unserem Aufbau lag er bei $I_C = 49nA$.

2.8 Durchlass- und Sperrwiderstand

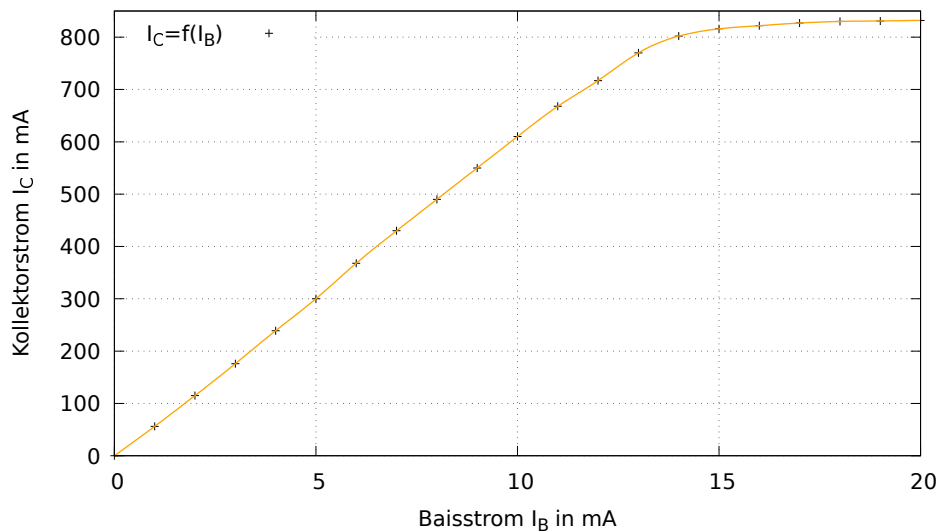
Aus den Messwerten von 2.6 und 2.7 kann der Durchlasswiderstand R_D und der Sperrwiderstand R_S der Kollektor-Emitter-Strecke errechnet werden.

$$\begin{aligned}R_D &= \frac{U_{CE}}{I_C + I_B} = \frac{0.926V}{835mA + 27.6mA} = 1.07\Omega \\R_S &= \frac{U_{CE}}{I_C + I_B} = \frac{10V}{49nA} = 204M\Omega\end{aligned}$$

3 Auswertung und Erkenntnisse

3.1 Grafische Darstellung der Messwerte

Der bei jedem eingestellten Basisstrom gemessene Kollektorstrom lässt sich in einem Diagramm darstellen. Gut zu erkennen ist der Sättigungsbereich des Transistors oberhalb von ca. 13mA Basisstrom.



3.2 Warum erreicht die Kennlinie die X-Achse nicht?

Es ist im Diagramm zwar schwer zu erkennen, aber der erste Punkt im Diagramm liegt nicht auf der X-Achse. Er entspricht dem Kollektorstrom von bei uns gemessenen 49nA bei nicht verbundener Basis.

3.3 An welchem Punkt der Arbeitsgeraden tritt die größte Verlustleistung auf?

Mit Blick in die Messwerttabelle stellt man fest, dass die größte Verlustleistung in der mitte der Arbeitsgeraden, bei ca 7mA , auftritt.

4 Anwendungen

4.1 Schaltverstärker

Eine Glühlampe für 12V mit 1W Leistung soll über einen Transistor geschaltet werden. Zur Ansteuerung der Basis wird ein Taster verwendet.

Schaltung

Platzhalter Schaltplan

Es gibt zwei Möglichkeiten die Schaltung aufzubauen: als Verstärkerschaltung oder in der Sättigung. Je nach Variante ist ein anderer Basiswiderstand R_B notwendig.

Verstärkung

Zum optimalen Betrieb der Lampe ist $I_C = 0.166A$ notwendig. Bei einer angenommenen Gleichstromverstärkung von $B = 58$ ist folgender Basisstrom notwendig:

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{0.166A}{58} = 2.86mA$$

Der Basiswiderstand R_B muss nun passend dimensioniert werden.

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{U_{RB}}{I_B} \\ &= \frac{12V - U_{BE}}{2.86mA} \\ &= \frac{12V - 0.74V}{2.86mA} \\ &= 3937\Omega \Rightarrow R_B = 4.7k\Omega \end{aligned}$$

Sättigung

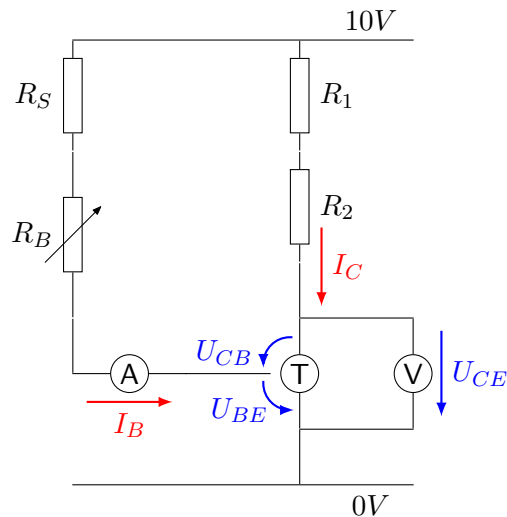
Alternativ kann der Transistor in zweifacher Sättigung betrieben werden. Die Basis-Emitter-Spannung bei zweifacher Sättigung wurde vorher zu $U_{BE} = 0.72V$ gemessen, der Basisstrom zu $I_B = 27.6mA$. Damit lässt sich der Basiswiderstand R_B anpassen.

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{U_{RB}}{I_B} \\ &= \frac{12V - 0.72V}{27.6mA} \\ &= 408\Omega \Rightarrow R_B = 470\Omega \end{aligned}$$

In beiden Varianten kommt man zu identischen Ergebnissen. die an der Lampe H_1 gemessene Spannung beträgt beides mal $U_{H_1} \approx 11.7V$.

4.2 Bistabile Kippstufe

Schaltplan



Folgende Bauteile wurden in der Schaltung verwendet:

$$T_1 = T_2 = BC140, R_2 = R_3 = 1k\Omega, R_1 = R_4 = 470\Omega, U_B = 7V$$

Aufbau der Schaltung

In dem Moment in dem eine Versorgungsspannung an die Schaltung gelegt wird, gibt es noch keinen definierten Zustand. Es ist dem Zufall überlassen, ob T_1 oder T_2 zuerst durchschaltet. Angenommen, T_1 würde zuerst durchschalten, dann würde zunächst einmal die LED L_2 leuchten. An ihr liegt die nötige Spannung an, da T_2 sperrt. Dafür wird der Basisanschluss von T_2 auf Massepotential gebracht, da er über R_2 mit dem Kollektor des durchgeschalteten T_1 verbunden ist und damit quasi auf Masse liegt. Die LED L_1 leuchtet nicht, da beide Anschlüsse auf dem selben Potential liegen. Wird nun der Schalter S_1 gedrückt, liegt die Basis von T_1 auf Massepotential. T_1 sperrt, L_1 leuchtet auf, und die Basis von T_2 kann über R_2 mit Strom versorgt werden, T_2 schaltet. Auch beim Loslassen von S_1 bleibt dieser Zustand erhalten, da nun die Basis von T_1 durch T_2 auf Massepotential gebracht wird. Der gleiche Vorgang ist natürlich auch umgekehrt mit dem Schalter S_2 möglich. Dieser kann die LED L_2 einschalten und L_1 ausschalten.

4.3 Astabiler Multivibrator

4.3.1 Schaltung

Platzhalter Schaltplan

Folgende Bauteile wurden in der Schaltung verwendet:

$$T_1 = T_2 = BC140, R_1 = R_2 = 1k\Omega, R_2 = R_3 = 15k\Omega, C_1 = C_2 = 47\mu F, U_B = 7V$$

4.3.2 Aufbau der Schaltung

Der astabile Multivibrator ist fast identisch zur bistabilen Kippstufe. Die Schalter werden nun aber durch RC-Glieder ersetzt.

4.3.3 Funktionsweise der astabilen Kippstufe

Da es keinen definierten Ausgangszustand gibt, wird zunächst davon ausgegangen, dass der Transistor T_1 gerade durchschaltet. Wenn der Transistor T_1 durchschaltet, dann erlischt zunächst einmal die LED L_1 . Gleichzeitig wird der Transistor C_1 auf der T_1 zugewandten Seite auf Masse gezogen. Dieser negative Spannungssprung (von 7V, wenn T_1 sperrt auf 0V wenn T_1 leitet) wird über den Kondensator C_1 (der Spannungssprung ist wie eine kurzzeitige Wechselspannung, kann also den Kondensator durchdringen) auf die Basis von T_2 übertragen, welcher somit sperrt. Die LED L_2 leuchtet also. Während nun der T_1 leitet, wird C_1 über R_2 langsam aufgeladen und sobald der Kondensator eine Spannung von 0,7V erreicht hat, schaltet T_2 durch. Die LED L_2 erlischt und gleichzeitig wird C_2 am Anschluss bei T_2 auf 0V gezogen und überträgt dadurch wiederum einen negativen Spannungssprung auf die Basis von T_1 . Dieser sperrt, L_1 leuchtet auf. Nun wird C_2 über R_3 langsam aufgeladen und beim Erreichen von 0,7V leitet T_1 wieder, der Kreislauf beginnt von vorne.

4.3.4 Veränderungen der Kapazitäten und Widerstände

- Bei Verdoppelung der Kapazitäten C_1 und C_2 blinken die LEDs mit deutlich niedrigerer Frequenz. Die größeren Kondensatoren brauchen eine längere Zeit, bis sie auf die Schaltspannung der Transistoren aufgeladen sind.
- Bei Halbierung der Widerstandswerte R_2 und R_3 blinken die LEDs in deutlich höherer Frequenz. Durch die niederohmigeren Widerstände fließt ein höherer Aufladestrom in die Kondensatoren. Die Transistoren schalten nach kürzerer Zeit durch.
- Bei asymmetrischer Änderung der Widerstandswerte und Kapazitäten ändert sich auch die Frequenz hin zum asymmetrischen. Halbiert man z.B. nur R_1 und C_2 , belässt aber R_3 und C_1 auf den ursprünglichen Werten, so blinkt L_2 immer nur kurz auf, während L_1 unverändert lange leuchtet.