

Versuch P1-50,51,52 - Transistorgrundschaltungen

Vorbereitung

Von Jan Oertlin

4. November 2009

Inhaltsverzeichnis

0. Funktionsweise eines Transistors.....	2
1. Transistor-Kennlinien.....	2
1.1. Eingangskennlinie.....	2
1.2. Ausgangskennlinie.....	2
1.3. Steuerkennlinie.....	3
2. Überlagerungstheorem.....	3
3. Transistorschaltungen.....	3
3.1. Transistor als Schalter.....	3
3.2. Verstärker in Emitterschaltung.....	3
3.3 RC-Oszillator mit Transistorverstärker in Emitterschaltung.....	5

0. Funktionsweise eines Transistors

Ein Transistor besteht aus drei Abschnitten: Dem Emitter (E), der Basis (B) und dem Kollektor (C). Dabei bestehen der Emitter und der Kollektor aus gleich dotierten Halbleitern. In unserem Fall sind Emitter und Kollektor n-Dotiert. Die Basis hingegen ist hier dann p-Dotiert.

Da Halbleiter so gut wie keinen Strom leiten, werden sie gezielt „verunreinigt“, also dotiert, mit Atomen die ein Elektron mehr (n-) oder weniger (p-Dotiert) haben und somit besser Strom leiten.

Setzt man nun einen n- und p-Dotierten Halbleiter zusammen, bildet sich eine dünne Grenzschicht, in der sich der Elektronenüberfluss und -mangel aufheben. Dies nennt man Diode.

Legt man nun an die Diode eine Spannung so an, dass der positive Pol an dem p-dotierten Halbleiter ist, dann wird die Grenzschicht stromdurchlässig. Bei entgegengesetzter Polung fließt so gut wie kein Strom.

Wird nun an den p-Halbleiter noch ein n-Halbleiter gesetzt, nennt man dies einen npn-Transistor. Es bilden sich also zwei Grenzschichten. In unserem Fall ist also der Emitter n-, die Basis p- und der Kollektor n-Dotiert.

Nun kann man an die Emitter-Basis Diode in Durchlassrichtung und an den Kollektor entgegengesetzt der Durchlassrichtung eine Spannung anlegen, wodurch sich der Strom I_C (der am Kollektor) durch den (viel kleineren) Strom I_B steuern lässt.

1. Transistor-Kennlinien

1.1. Eingangskennlinie

Die Eingangskennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen I_B und der Spannung zwischen Emitter und Basis U_{BE} . Da diese Kurve nur eine sehr geringe Abhängigkeit von der Spannung zwischen Kollektor und Emitter U_{CE} aufweist, lässt sich in guter Näherung durch die Diodenkennlinie

$$I_B(U_{BE}) \approx I_B (e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1)$$

darstellen.

Zur Messung dieser Kennlinie nutzen wir ein hochohmiges Spannungsmessgerät und einen variablen Widerstand R_V , mit dem wir den Basisstrom I_B einstellen können. (Hochohmig deshalb, um nur einen kleinen Strom „abzuzweigen“.)

Diese Kennlinie wird in den dritten Quadranten eines Vier-Quadranten-Kennlinienfeldes eingetragen.

1.2. Ausgangskennlinie

Die Ausgangskennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen I_C und U_{CE} bei unterschiedlichen Basisströmen I_B . Diese Kurve steigt erst steil an (Sättigungsbereich, hier nicht von Bedeutung) und verlaufen dann (für größere U_{CE}) im Arbeitsbereich sehr flach und in unterschiedlichen Höhen für unterschiedliche I_B .

Die Messung dieser Kurve wird mittels einem Oszilloskops durchgeführt, auf dem wir die I_C - und U_{CE} -Werte ablesen. Diese wird dann in den ersten Quadranten des Vier-Quadranten-Kennlinienfeldes eingetragen.

1.3. Steuerkennlinie

Die Steuerkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen I_C und I_B . Diese kann durch die aus 1.1. und 1.2. gewonnenen Messdaten in den zweiten Quadranten des Vier-Quadranten-Kennlinienfeldes eingetragen werden. Da diese so gut wie keine U_{CE} -Abhängigkeit hat, müssen unterschiedliche U_{CE} nicht berücksichtigt werden.

2. Überlagerungstheorem

Das Überlagerungstheorem sagt aus (in einer Schaltung mit nur linearen Bauelementen), dass alle einfließenden Ströme zusammen den ausfließenden Strom bilden und dass alle Teilspannungen zusammen die Gesamtspannung ergeben (nach den Kirchhoffschen Regeln).

Dies soll in diesem Versuch experimentell bestätigt werden.

3. Transistorschaltungen

3.1. Transistor als Schalter

- Die Arbeitsgerade beschreibt den Zusammenhang zwischen U_{CE} (die nach dem Spannungsabfall an R_C übrig bleibt) und dem Strom I_C . Es gilt: $U_{CE} = U - I_C R_C$. In einem I_C / U_{CE} -Diagramm wird die Arbeitsweise eines Transistors dargestellt. Die Leistung $P = UI$ wird als Hyperbel dargestellt und sollte nicht über 0,8 W liegen, da sonst der Transistor durch Überhitzung Schaden nehmen könnte. Kurzzeitig kann jedoch die Maximalleistung überschritten werden.
- In der Emitterschaltung wird R_C durch eine Glühlampe ersetzt, wodurch man die Verwendung des Transistors als Schalter gut demonstrieren kann. Außerdem soll die Verlustleistung des Transistors bei verschiedenen Basisvorwiderständen R_V durch Messung von I_C und U_{CE} bestimmt werden.

3.2. Verstärker in Emitterschaltung

Bei der Emitterschaltung wird das Potential am Emitter konstant gehalten.

- Mittels dem variablen Widerstand R_V können wir den Spannungsabfall am Transistor und an R_C so einstellen, dass er je 6 V beträgt.
- In das Kennlinienfeld werden die Arbeitsgerade und der Arbeitspunkt eingetragen und die dynamischen Transistorkenngrößen r_B (Basis-Emitter-Widerstand), r_C (Kollektor-Emitter-Widerstand) und β (Stromverstärkungsfaktor).

Diese sind gegeben durch:

$$r_B = \frac{u_{BE}}{i_B}, \quad r_C = \frac{u_{CE}}{i_C}, \quad \beta = \frac{i_C}{i_B}$$

- c) Aus den schon bestimmten Transistor Kenngrößen und den Werten der Widerstände sollen die dynamischen Schaltungskenngrößen v (Spannungsverstärkung), Z_e (Eingangsimpedanz) und Z_a (Ausgangsimpedanz) berechnet werden.

Diese sind gegeben durch:

$$Z_e = \frac{u_e}{i_e} = R_B + r_B$$

$$Z_a = \frac{u_a}{i_a} = \left[\frac{1}{r_C} + \frac{1}{R_C} \right]^{-1}$$

$$v = \frac{u_a}{u_e} = \beta \frac{Z_a}{Z_e}$$

Mit den aus der Vorbereitungsmappe entnommenen Werten für $\beta=133$, $r_B=500 \Omega$ und $r_C=7,5 \text{ k}\Omega$ ergeben sich folgende Werte:

1. $R=0 \Omega$: $Z_e=500 \Omega$, $Z_a=882,4 \Omega$, $v=234,7$
2. $R=680 \Omega$: $Z_e=1180 \Omega$, $Z_a=882,4 \Omega$, $v=99,5$

- d) Nun werden die dynamischen Schaltungskenngrößen aus c) für $R_B=0 \Omega$ und $R_B=680 \Omega$ gemessen und mit den berechneten Werten aus c) verglichen. Dazu verwenden wir eine 1 kHz – Rechteckspannung von den kleinsten Werten bis zum Auftreten deutliche Nichtlinearität. Aus der Messung der u_e - und u_a - Werte, kann v bestimmt werden. Die Eingangs- und Ausgangsimpedanz kann man bestimmen, indem man regelbare Widerstände in Reihe zum Ein- bzw. Ausgang schaltet und diese so einstellt, dass die ursprüngliche Spannung um die Hälfte abfällt. Dann ist die Impedanz gleich dem eingestellten Widerstand.
- e) Nun wird ein Kondensator mit der Kapazität C_1 vor den Emitter geschaltet. Wir wollen nun erst rechnerisch C_1 so ermitteln, dass der Dachabfall der Rechteckspannung nicht größer als 2% ist.

Es gilt für den Spannungsabfall am Kondensator:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

In diesem Fall ist $C := C_1$ und $R := r_B$.

Nach der Zeit $\tau = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} f^{-1} = \frac{1}{2000} \text{ s}$ soll die Spannung also nur um 2% abgefallen sein.

Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}U(\tau) &> 0,98U_0 \\ &\Leftrightarrow \\ e^{-\frac{\tau}{r_B C_1}} &> 0,98 \\ \Rightarrow C_1 &> -\frac{\tau}{r_B \ln(0,98)} > 49,5 \mu\text{F}\end{aligned}$$

Unter den aufgeführten Kondensatoren erfüllt nur einer, nämlich der mit 120 μF , diese Bedingung.

Dies wird nun noch experimentell verifiziert.

3.3 RC-Oszillator mit Transistorverstärker in Emitterschaltung

Hier wird eine dreistufige RC – Kette mit einer Emitterschaltung aufgebaut. Die RC – Bausteine verschieben das Signal um 180° , ebenso wie die Emitterschaltung. Dadurch entsteht die Oszillation. Dies geschieht aber nur bei einer bestimmten Frequenz, in unserem Fall bei:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \approx 955,5 \text{ Hz}$$

Außerdem folgt für $\frac{u_2}{u_1}$:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left[1 - \frac{5}{(\omega RC)^2} \right]^{-1} \approx -\frac{1}{29}$$