

Bei diesem Versuch geht es um den Transistor als herausragendes elektronisches Bauteil mit besonderen Eigenschaften. Diskrete Bauelemente werden immer mehr durch integrierte Schaltungen ersetzt, aber die Kennlinien und Grundschaltungen lassen sich am Einzelbauteil am besten studieren. Die beim Versuch vorkommenden Begriffe und Schaltungen werden in einer Vorbereitungshilfe erläutert, die als 'roter Faden' durch den Stoff dienen soll.

Bei diesem Transistor-Versuch sollen die Experimente am Versuchstag nicht nur protokolliert sondern auch gleich ausgewertet und kommentiert werden. Die Protokollabgabe kann dann schon am Versuchstag erfolgen, denn Fehlerbetrachtungen und eine weitergehende Ausarbeitung sind nicht erforderlich. Dies rechtfertigt den etwas höheren Zeitaufwand verglichen mit anderen P1-Versuchen.

Hinweis: Im Experiment lässt sich der Transistor leicht durch Fehlbedienung über seine Belastungsgrenze bringen so dass er kaputt geht. Wenn Sie beim ersten Einschalten einer Aufgabe einen Finger an das Transistorgehäuse legen, können Sie das Bauteil durch schnelles Abschalten vor dem Wärmestrom bewahren

Aufgaben:

1. Transistor-Kennlinien.

1.1 Eingangskennlinie: Messen Sie Punkt für Punkt die I_B/U_{BE} -Kennlinie eines npn-Transistors. Verwenden Sie die Schaltung nach Bild 13. Der Widerstand R_C ($1k\Omega$) begrenzt die Transistor-Verlustleistung $U_{CE}I_C$ und verhindert damit eine zu starke Erwärmung des Transistors, die sowohl die Messung stören (veränderte Transistoreigenschaften) als auch den Transistor zerstören würde. Durch diese Vorsichtsmaßnahme ändert sich von Messpunkt zu Messpunkt die Kollektor-Emitterspannung, was aber die Eingangskennlinie nur vernachlässigbar wenig beeinflusst, solange $U_{CE} > 0,2V$ gilt. Der Widerstand R_V ($1M\Omega$ variabel) dient zur Einstellung des Basisstromes I_B , der mit einem μA -Meter gemessen wird. I_B soll $100\mu A$ nicht überschreiten. Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} wird mit dem Oszilloskop (oder einem hochohmigen Voltmeter) gemessen. Tragen Sie die Eingangskennlinie in den dritten Quadranten eines Vier-Quadranten-Kennlinienfeldes ein (Spannungsnullpunkt unterdrückt und Bereich ca. $0,55V$ bis $0,80V$ gespreizt).

1.2 Ausgangskennlinien: Stellen Sie auf dem Schirm eines Oszilloskops im X-Y-Betrieb I_C/U_{CE} -Kennlinien eines npn-Transistors bei verschiedenen Basisströmen I_B dar. Schließen Sie nach Bild 14 die Basis über R_V ($1M\Omega$ variabel) an Gleichspannung U_{GI} ($+12V$) an (Messung I_B mit Multimeter). Schließen Sie ferner den Kollektor an die Halbwellenspannung U_{HW} (Spitzenspannung $+12V$) an. Zwischen Emitter und Masse wird als 'Strommesswiderstand' R_E (2Ω) eingefügt. Weil es die Masseanschlüsse der Geräte nicht anders zulassen, muss zur X-Ablenkung die Summenspannung $u_{CE} + u_{RE}$ statt u_{CE} allein verwendet werden. Überzeugen Sie sich davon, dass die Verfälschung tolerabel ist.

Wählen Sie I_B so, dass $I_C \approx 30 mA$ im Plateaubereich erreicht. Stellen Sie ebenso die Ausgangskennlinien bei $20 mA$ und $10 mA$ dar. Übertragen Sie die Kurven in den ersten Quadranten des Vier-Quadranten-Kennlinienfeldes. Die Darstellung sollte so groß sein, dass man ihr später Kenndaten entnehmen kann. Erläutern Sie die vorgegebene Schaltung für die Kennliniendarstellung.

1.3 Steuerkennlinie: Zeichnen Sie in den zweiten Quadranten des Kennlinienfeldes die I_C/I_B -Kennlinie ein, die keiner weiteren Messung bedarf. Wegen der bei den meisten Transistoren im Arbeitsbereich geringen Abhängigkeit des Kollektorstromes von der Kollektor-Emitterspannung kommt es kaum darauf an, ob Sie Kollektorströme bei einer festen Kollektor-Emitterspannung (z.B. $1V$) ablesen oder längs einer Arbeitsgeraden (z.B. zu $1k\Omega$).

2. Überlagerungstheorem: Überprüfen Sie die Gültigkeit des Überlagerungstheorems experimentell. Verwenden Sie in der Schaltung nach Bild 15 $R_1 = 1 k\Omega$, $R_2 = 1,5 k\Omega$, $R_3 = 330\Omega$, $u_{re} = \pm 8 V$ $1 kHz$ -Rechteckspannung ($R_i = 50\Omega$) und $U_{GI} = +12 V$ Gleichspannung ($R_i \cong 0\Omega$). Vergleichen Sie die experimentell (oszilloskopisch) bestimmte Spannung U_{R3} , die über R_3 abfällt, mit der berechneten für die Fälle, dass keine / die eine / die andere Spannungsquelle durch ihren Innenwiderstand ersetzt ist. (Auch diese Schaltung ohne Transistor kann auf der Steckplatte realisiert werden!)

3. Transistorschaltungen

3.1 Transistor als Schalter:

a) Beschreiben Sie das Funktionieren des Transistors als Schalter anhand einer Arbeitsgeraden ($R_C=25\Omega$; $U=12V$ und einer Leistungshyperbel ($P = 0,8W$) in einem I_C/U_{CE} -Diagramm (Achsen bis 12V bzw. 500mA). Wo dürfen Schaltzustände liegen? Wieso darf die Arbeitsgerade bei dieser Betriebsart die Hyperbel maximaler Transistor-Verlustleistung schneiden?

b) Demonstrieren Sie das Schalten mit einem Glühlämpchen (12V, 3W; kein stromunabhängiger Widerstand!) als geschaltetem Verbraucher (R_C in der Emitterschaltung), indem Sie U_{BE} mit Hilfe des Potentiometers entsprechend variieren. Bestimmen Sie die Verlustleistung des Transistors bei den drei Basisvorwiderständen $R_V = 1k\Omega$; $10k\Omega$ und $220k\Omega$.

3.2 Verstärker in Emitterschaltung:

a) Stellen Sie in der Schaltung nach Bild 2 den **Arbeitspunkt** mittels R_V ($1M\Omega$, variabel) so ein, daß die Betriebsspannung (12V) je etwa zur Hälfte am Transistor und am Kollektorwiderstand ($R_C = 1k\Omega$) abfällt.

b) Zeichnen Sie die zugehörige **Arbeitsgerade** und den **Arbeitspunkt** in das Kennlinienfeld ein. Entnehmen Sie dem Kennlinienfeld für diesen Arbeitspunkt **die dynamischen Transistorkenngrößen** Basis-Emitterwiderstand r_B , Kollektor-Emitterwiderstand r_C und Stromverstärkungsfaktor β .

c) Berechnen Sie anhand der Transistorkenngrößen und der Werte der Widerstände in der Schaltung **die dynamischen Schaltungskenngrößen** Spannungsverstärkung v , Eingangsimpedanz Z_e und Ausgangsimpedanz Z_a . Die Rechnung ist für $R_B = 0\Omega$ und für $R_B = 680\Omega$ auszuführen. Geben Sie den erwarteten Aussteuerbereich der Schaltung an. (Das sind die Eingangsspannungsgrenzen, innerhalb derer die Spannungsverstärkung v nur um einen von Ihnen vorzugebenden Prozentsatz variiert.)

d) Messen Sie die dynamischen Schaltungskenngrößen für beide R_B -Werte und vergleichen Sie sie mit den Rechenergebnissen. Verwenden Sie für die Messungen 1 kHz-Rechteckspannung von kleinsten Werten bis zum Auftreten deutlicher Nichtlinearitäten. Für die u_e - und u_a -Messungen wird das Oszilloskop benutzt.

e) Überlegen Sie sich im Voraus und bestätigen Sie dann experimentell, welcher der vorhandenen Kondensatoren (0,1 bis $120\mu F$) als Eingangskoppelkondensator C1 groß genug ist, damit der Dachabfall des verstärkten 1kHz-Rechtecks unter 2% bleibt ($R_B = 0$).

3.3 RC-Oszillator mit Transistorverstärker in Emitterschaltung: Bauen Sie den RC-Oszillator gemäß Bild 12 mit der vorgegebenen dreistufigen RC-Kette ($R=1 k\Omega$, $C=68 nF$) und der Emitterschaltung ($R_V = 220 k\Omega$, $R_C = 1 k\Omega$, $R_B = 680\Omega$) auf. Vergleichen Sie die gemessene und die berechnete Oszillatorfrequenz.

4. Zusatzaufgaben: Falls Sie noch Zeit haben, führen Sie noch die folgenden Versuche durch:

4.1 Kollektorschaltung: Stellen Sie in der Schaltung nach Bild 9 den Arbeitspunkt so ein, dass die Betriebsspannung je etwa zur Hälfte am Transistor und am Emitterwiderstand ($R_E = 1k\Omega$) liegt. Berechnen, messen und vergleichen Sie die dynamischen Schaltungskenngrößen v , Z_e und Z_a . Führen Sie die Überlegung und Messung wie bei Aufgabe (3.2e) aus.

4.2 Stromgegengekoppelter Verstärker: Stellen Sie in der Schaltung nach Bild 5 ($R_C = 1k\Omega$, $R_E = 100\Omega$) den Arbeitspunkt sinnvoll ein. Berechnen, messen und vergleichen Sie die dynamischen Schaltungskenngrößen v , Z_e und Z_a . Überzeugen Sie sich von der verbesserten Linearität dieser Schaltung im Vergleich zur Emitterschaltung.

Zubehör:

Steckplatte (Bild 0) für die Schaltungen mit Bananenbuchsen für Steckelemente und Anschlussleitungen, Transistorsockel und $100\mu F$ -Ausgangskoppelkondensatoren;

Spannungsversorgungsgerät für Gleichspannung (12V) und Halbwellenspannung ($12V_s$) mit gemeinsamem Minuspol;

Signalgenerator (Sinus/Rechteck/Dreieck; max. 6MHz; max. $\pm 10V$ im Leerlauf; $R_i = 50\Omega$) mit Frequenzmesser;

Zweikanal-Oszilloskop (Empfindlichkeit und Zeitachse geeicht; Eingangsimpedanz $1M\Omega||25pF$; XY-Betrieb möglich);

2 Digital-Multimeter für alle gängigen Spannungen, Ströme und Widerstandswerte (Beschreibung am Versuchsplatz);

RC-Kette (dreistufig; je 68nF Längskapazität und 1k Ω Querwiderstand);
 Kabel (diverse, mit Bananenstecker, Koaxialstecker und gemischt);
 2 Vorsteckwiderstände (1,2k Ω ; vorgesehen für Oszilloskopzuleitungen);
 Glühlämpchen (12V/3W);
 Einstellwiderstand 1M Ω (mit 1k Ω Serienfestwiderstand);
 Widerstände 2; 33; 100; 330; 680 Ω ; 1; 1; 1,5; 3,3; 10; 33; 220k Ω ;
 Kondensatoren 0,1; 1; 10; 120 μ F;
 4 Kurzschlussstecker.
 Transistoren (2N2219A, npn, Si, 800mW)
 Kenngrößen: $\beta = 133$, $r_B = 500\Omega$, $r_C = 7.5k\Omega$;

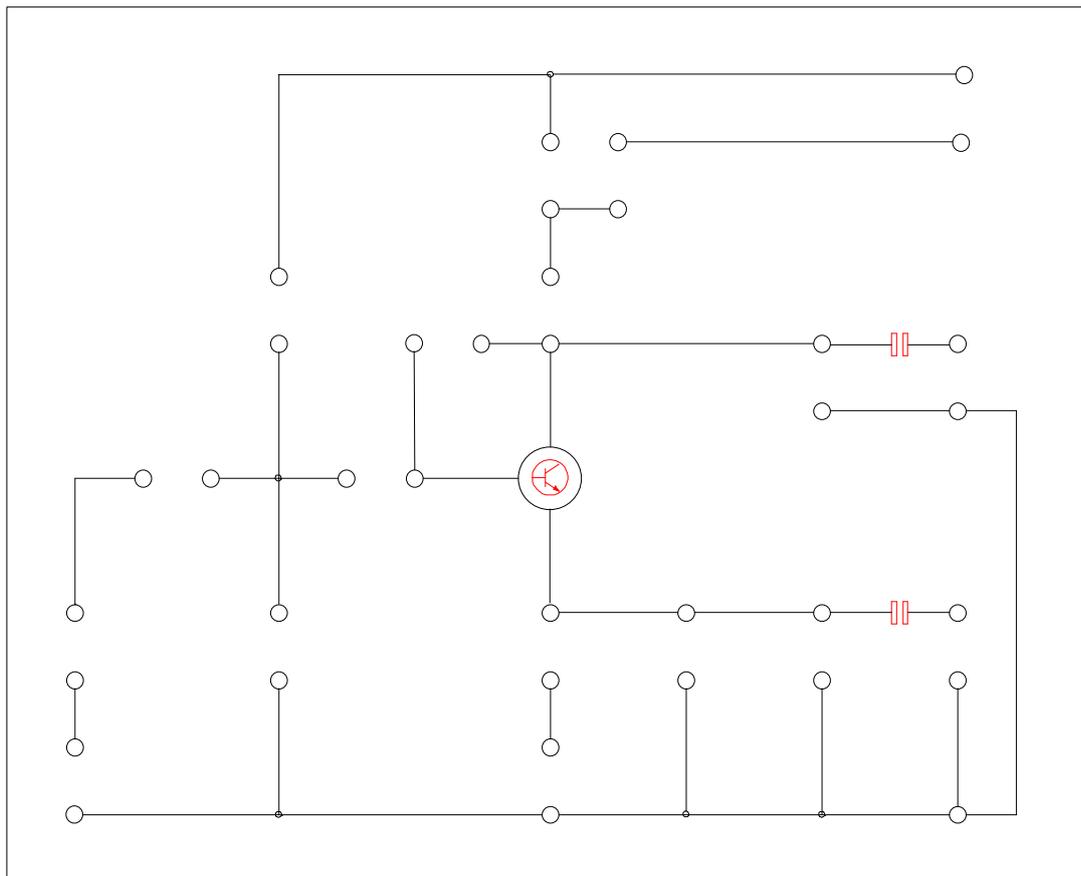


Bild 0: Steckplatte für die Schaltungen. Die kleinen Kreise markieren 4mm-Bananenbuchsen.

Literatur:

J.G.Lehmann: *Dioden und Transistoren*

H.Böger, F.Kähler, G.Weigt: *Bauelemente der Elektronik und ihre Grundsaltungen*

J.Pütz: *Einführung in die Elektronik*

F.Moeller, H.Fricke: *Grundl. der Elektrotechnik, Band 1* (Kap.5.5 für Interessierte an Halbleitung und Bändermodell)

Weddigen, Jüngst: *Elektronik*

Jüngst: Vorbereitungshilfe zum Transistorversuch