

Hochschule Bremen

Labor für Schaltungstechnik

Labor-Bericht

Versuchsbezeichnung : Verstärkergrundsaltungen

Versuchsdatum: 19.05.2003

Verfasser: Axel Schmidt

Mitarbeiter: Andreas Hofmeier

Semester: I2.2

Hochschullehrer: Prof. Dr. W. Rainer

Inhaltsverzeichnis

1. Versuchsbeschreibung	3
2. Diskussion der Messschaltung	3
2.1 Arbeitspunkteinstellung	3
2.2 Realisierung Grundschaltungen	4
2.2.1 Basisschaltung	4
2.2.2 Emitterschaltung	5
2.2.3 Kollektorschaltung	5
2.3 Allgemeine Hinweise	6
3. Messung der Spannungsverstärkung v_u	6
3.1 v_u bei Basisschaltung	6
3.2 v_u bei Emitterschaltung	7
3.3 v_u bei Kollektorschaltung	7
4. Messung Gesamt-Eingangswiderstand r_e	7
4.1 Messanordnung	7
4.2 Messverfahren	8
4.3 Messungen	8
5. Messung Gesamt-Ausgangswiderstand r_a	8
5.1 Messanordnung	8
5.2 Messverfahren	9
5.3 Messungen	9
5.3.1 Eingang offen	9
5.3.2 Eingang auf Masse	9
6. „nutzbare“ Leistungsverstärkung v_p	10
6.1 Erläuterung	10
6.2 Berechnungen	10
6.2.1 Basisschaltung	10
6.2.1 Emitterschaltung	10
6.2.1 Kollektorschaltung	10
7. Vergleich von Mess- und Rechenwerten	11
8. Auswertung	11
8.1 Basisschaltung	11
8.1 Emitterschaltung	11
8.3 Kollektorschaltung	11
8.4 Abweichung von Rechenwerten	12
9. Simulation Multisim	12
9.1 dynamische Betriebsgrößen	12
9.1.1 Arbeitspunkteinstellung	12
9.1.2 Spannungsverstärkung v_U	12
9.1.2.1 Basisschaltung	12
9.1.2.2 Emitterschaltung	13
9.1.2.3 Kollektorschaltung	13
9.1.3 Eingangswiderstand r_e	14
9.1.3.1 Basisschaltung	14
9.1.3.2 Emitterschaltung	14
9.1.3.3 Kollektorschaltung	15
9.1.4 Ausgangswiderstand r_a	15
9.1.4.1 Basisschaltung	15
9.1.4.2 Emitterschaltung	16
9.1.4.3 Kollektorschaltung	16
9.2 Frequenzgang Emitterschaltung	17

1. Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch wird ein bipolarer npn – Transistor (BC 548 B) in den drei Grundschaltungen (Emitter-, Kollektor- und Basisschaltung) auf seine Kleinsignalverstärkung überprüft. Näheres ist den im Anhang beigefügten Aufgabenblättern zu entnehmen

2. Diskussion der Messschaltung

2.1 Arbeitspunkteinstellung

Für den Transistor BC-548B ergibt sich aus den Kenndaten eine Arbeitspunkteinstellung für die Kollektor-Emitter Spannung von 5.00 Volt ($U_{ce} = 5V$). Der Kollektorstrom muss dabei $2mA$ ($I_c = 2mA$) betragen. Weitere Vorgaben sind die Basis-Emitter Spannung von 0,7 Volt ($U_{BE} = 0.7V$) und die Spannung der Basis gegen Masse beträgt ca. 0 Volt ($U_{B0} \approx 0V$).

Aus diesen Kenndaten ergibt sich folgende Berechnung für $+U_B$ und $-U_B$:

$$\begin{aligned} +U_B &= R_c * I_c + U_{CE} - U_{BE} \\ &= 1k\Omega * 2mA + 5V - 0.7V \\ &= 2V + 5V - 0.7V = \quad \quad \quad \mathbf{6,3V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -U_B &= -U_{BE} - I_c * R_E \\ &= -0.7V - 2mA * 2k\Omega \\ &= -0.7V - 4.00V = \quad \quad \quad \mathbf{-4.7V} \end{aligned}$$

Da wir im Labor keine zwei Netzteile zur Verfügung haben, benutzen wir ein Dreifachnetzteil. Da das Netzteil keine negative Spannungen liefern kann, schalten wir zwei positive Spannungen in Reihe, und greifen den gemeinsamen Mittelpunkt als Massepunkt zwischen den beiden positiven Spannungen ab. Dies hat zur Folge, dass das eine Spannungspotential positiv und das andere negativ zur gemeinsamen Masse ist (siehe Abb. 1).

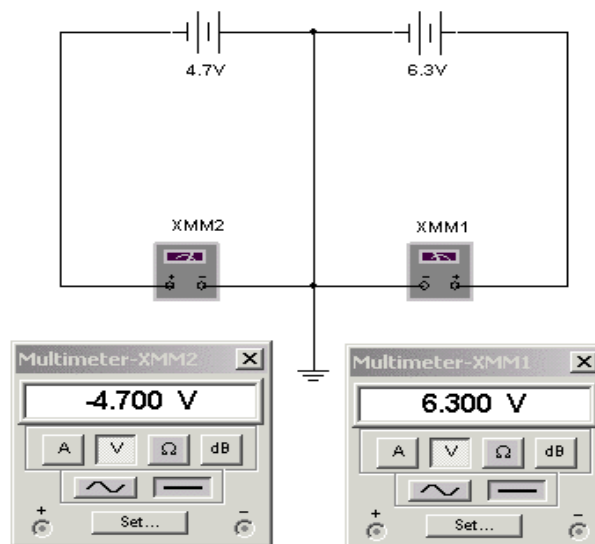


Abb.1:

Spannungsversorgung

Für die Arbeitspunkteinstellung benutzen wir ein Voltmeter zur Messung der Kollektor-Emitter Spannung U_{CE} und ein Amperemeter zur Messung des Kollektorstroms I_C . Wir verstellen die Versorgungsspannung $+U_B$ und $-U_B$ so, bis die geforderten Werte ($U_{CE} = 5.0V$ und $I_C = 2mA$) eingestellt sind. Nach Abklemmen des Amperemeters verändern sich die eingestellten Spannungen leicht: z.B. U_{CE} beträgt nur noch ca. 4,99 Volt. Dies ist mit dem sehr geringen Innenwiderstand des Amperemeters zu begründen.

Zur Kontrolle messen wir auch noch mit einem Voltmeter die Spannung U_{B0} . Sie sollte theoretisch ca. 0 Volt betragen. In unserem Fall beträgt U_{B0} aber 102mV, weil die Basis über einen Widerstand (10 k Ω) nach Masse gelegt ist. Da der Transistor einen Spannungsabfall von ca. $U_{BE} = 0.7V$ hat, muss das Basis-Potential höher liegen, als das Potential am Emitter. Deswegen ist die geringe Spannung zu messen. Würde die Basis direkt nach Masse gelegt werden, stellen sich die $U_{B0} = 0V$ ein.

2.2 Realisierung Grundschaltungen

Für die Durchführung unserer Versuche benötigen wir die drei Schaltungsvarianten (Basis, Emitter und Kollektorschaltung) eines Transistors als Verstärker.

Diese drei Varianten werden durch Schalten der entsprechenden Kondensatoren gegen Masse realisiert. Die Versorgungsspannungen und der Arbeitspunkt der Schaltung werden dabei nicht verändert. Es ist darauf zu achten, dass das Eingangssignal vor dem Kondensator eingespeist wird, weil sich sonst der Arbeitspunkt der Schaltung verändern würde.

2.2.1 Basisschaltung

Bei der Basisschaltung wird der Kondensator an der Basis auf Masse gelegt. Das Eingangssignal wird über den Emitterkondensator eingespeist; das Ausgangssignal nach dem Kollektorkondensator wieder abgegriffen.

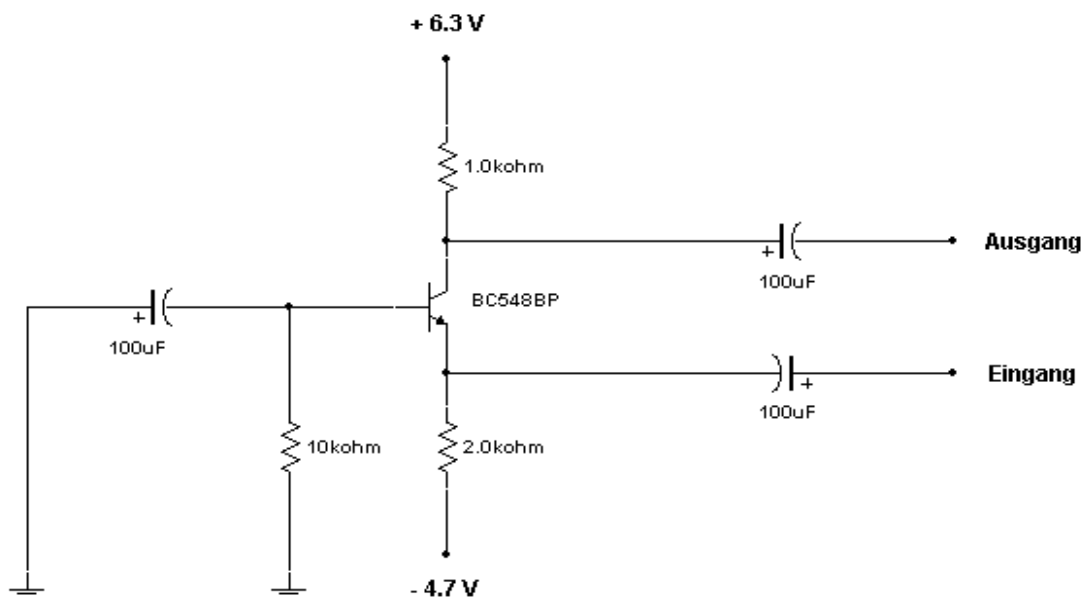


Abb. 2: Basisschaltung

2.2.2 Emitterschaltung

Bei der Emitterschaltung wird der Kondensator an dem Emitter auf Masse gelegt. Das Eingangssignal wird über den Basiskondensator eingespeist; das Ausgangssignal nach dem Kollektorkondensator wieder abgegriffen.

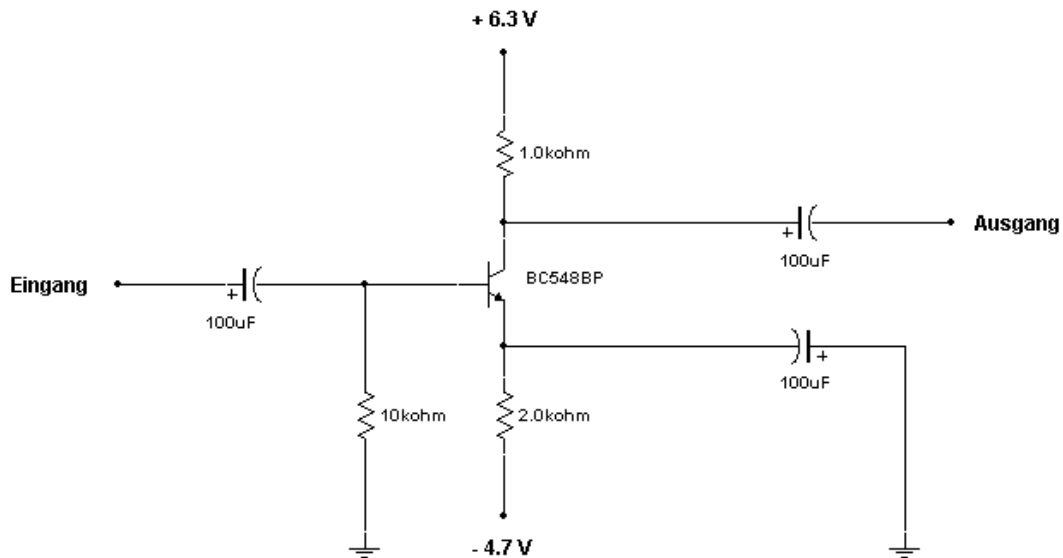


Abb. 3: Emitterschaltung

2.2.3 Kollektorschaltung

Bei der Kollektorschaltung wird der Kondensator an dem Kollektor auf Masse gelegt. Das Eingangssignal wird über den Basiskondensator eingespeist; das Ausgangssignal nach dem Emitterkondensator wieder abgegriffen.

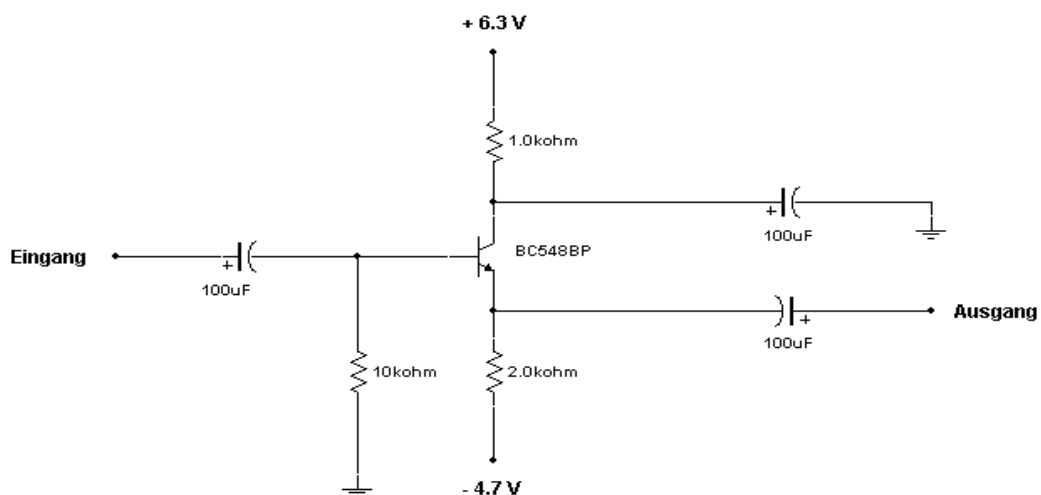


Abb. 4: Kollektorschaltung

2.3 Allgemeine Hinweise

Zur Kontrolle auf Verzerrungsfreiheit des Ausgangssignals ist der jeweils verwendete Ausgang bei den Messungen mit Hilfe des Oszilloskops zu überwachen. Das einzuspeisende Messsignal ist sinusförmig, die Frequenz beträgt 1Khz, bei unterschiedlichen Amplituden. Die Generatorspannungen können zusätzlich bei Bedarf um zwei mal 20dB abgeschwächt werden.

3. Messung der Spannungsverstärkung v_u

Für die Bestimmung der Spannungsverstärkung v_u regeln wir die Amplitude des Eingangskreises so aus, dass am Ausgang eine konstante Spannung $u_a = 100mV$ anliegt (Kontrolle per Multimeter). Das Ausgangssignal wird per Oszilloskop auf Verzerrungsfreiheit kontrolliert. Liegt die korrekte Ausgangsspannung an, wird per Multimeter die Eingangsspannung u_e gemessen.

Der Verstärkungsfaktor lässt sich dann folgendermaßen berechnen:

$$v_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{100mV}{u_e}$$

Falls die erforderliche Eingangsspannung trotz 40dB Abschwächung unter Umständen zu klein ist, muss über einen zusätzlichen Spannungsteiler gegen Masse, das Generatorsignal abgeschwächt werden (siehe Abb. 5).

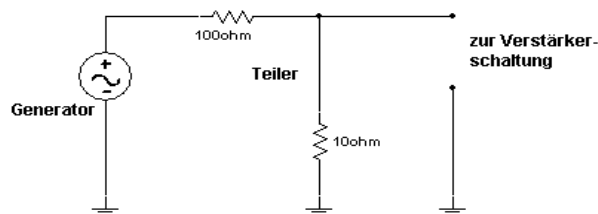


Abb. 5: Spannungsteiler

3.1 v_u bei Basisschaltung

Der Abgleich ($u_a = 100mV$) war ohne zusätzlichen Spannungsteiler durchführbar.

Gemessener Wert: $u_e = 1.52mV$

Spannungsverstärkung:

$$v_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{100mV}{1.52mV} = 65.79$$

3.2 v_u bei Emitterschaltung

Der Abgleich ($u_a = 100\text{mV}$) musste per Spannungsteiler durchgeführt werden.

Gemessener Wert: $u_e = 1.51\text{mV}$

Spannungsverstärkung:

$$v_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{100\text{mV}}{1.51\text{mV}} = 66.23$$

3.3 v_u bei Kollektorschaltung

Der Abgleich ($u_a = 100\text{mV}$) war ohne zusätzlichen Spannungsteiler durchführbar.

Gemessener Wert: $u_e = 101\text{mV}$

Spannungsverstärkung:

$$v_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{100\text{mV}}{101\text{mV}} = 0.99$$

4. Messung Gesamt-Eingangswiderstand r_e

4.1 Messanordnung

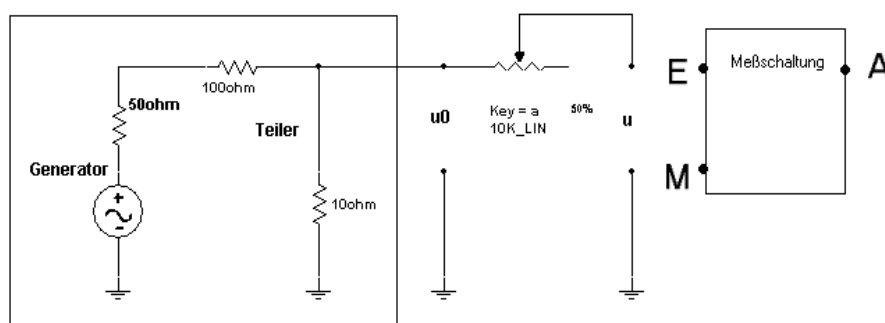


Abb. 6: Messaufbau

4.2 Messverfahren

Für die Bestimmung der Eingangswiderstände wird obiger Messaufbau verwendet. Wir schalten vor die Messschaltung einen zusätzlichen Spannungsteiler. Der Gesamtwiderstand R_G ergibt sich folgendermaßen:

$$R_G = \frac{(R_G + 100\Omega) \cdot 10\Omega}{R_G + 100\Omega + 10\Omega} = \frac{1500\Omega}{160\Omega} = 9.375\Omega$$

Bei abgetrennter Messschaltung wird die Leerlaufspannung $u = u_0$ eingestellt. Nach anschließen der Messschaltung wird das Potentiometer so eingestellt, dass u auf $\frac{u_0}{2}$ zurückgeht. Der Wert des Potentiometers (messbar mit einem Ohmmeter) ergibt dann ungefähr den Eingangswiderstand r_E (für Emitter- und Kollektorschaltung, bei der Basisschaltung muss noch zusätzlich R_G berücksichtigt werden).

4.3 Messungen

Schaltung	u von ... auf ...	gemessene Eingangswiderstände
Basisschaltung	2mV auf 1mV	$r_E = R_{Poti} + R_G = 4.4\Omega + 9.375\Omega = 13.78\Omega$
Emitterschaltung	2mV auf 1mV	$r_E = R_{Poti} = 2.53\text{ k}\Omega$
Kollektorschaltung	100mV auf 50mV	$r_E = R_{Poti} = 9.74\text{ k}\Omega$

5. Messung Gesamt-Ausgangswiderstand r_a

5.1 Messanordnung

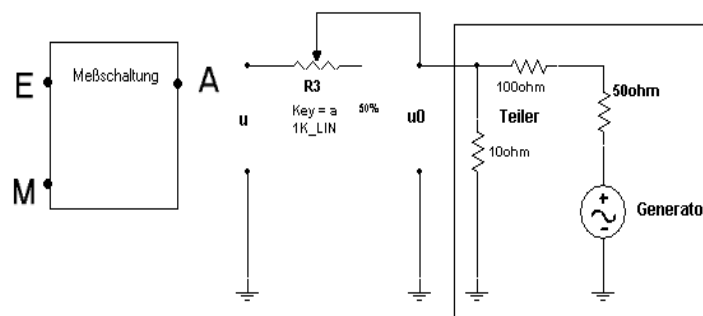


Abb. 7: Messaufbau

5.2 Messverfahren

Für die Bestimmung der Ausgangswiderstände wird obiger Messaufbau verwendet. Wir schalten vor die zu messende Schaltung einen zusätzlichen Spannungsteiler. Der Gesamtwiderstand R_G ergibt sich folgendermaßen:

$$R_G = \frac{(R_G + 100\Omega) \cdot 10\Omega}{R_G + 100\Omega + 10\Omega} = \frac{1500\Omega}{160\Omega} = 9.375\Omega$$

Bei abgetrennter Messschaltung wird die Leerlaufspannung $u = u_0$ eingestellt. Nach anschließen der Messschaltung (Ausgang) wird das Potentiometer so eingestellt, dass u auf $\frac{u_0}{2}$ zurückgeht. Der Wert des Potentiometers

(messbar mit einem Ohmmeter) ergibt dann ungefähr den Ausgangswiderstand r_A (für Emitterschaltung, bei der Basisschaltung und Kollektorschaltung muss noch zusätzlich R_G berücksichtigt werden).

Es erfolgen zwei Messungen: einmal mit kurzgeschlossenem Eingang (Eingang nach Masse) und einmal mit offenem Eingang. Für die Durchführung der Messungen werden für die Emitter- und Basis-Schaltung eine max. Leerlaufspannung von $u_0 = 100\text{mV}$ eingestellt, bei der Kollektorschaltung eine max. Leerlaufspannung von $u_0 = 10\text{mV}$.

5.3 Messungen

5.3.1 Eingang offen

Schaltung	u von ... auf ...	gemessene Ausgangswiderstände
Basisschaltung	100mV auf 50mV	$r_A = R_{\text{Poti}} + R_G = 929\Omega + 9.375\Omega = 938,375\Omega$
Emitterschaltung	100mV auf 50mV	$r_A = R_{\text{Poti}} = 897\Omega$
Kollektorschaltung	10mV auf 5mV	$r_A = R_{\text{Poti}} + R_G = 47.5\Omega + 9.375\Omega = 56,875\Omega$

5.3.2 Eingang auf Masse

Schaltung	u von ... auf ...	gemessene Ausgangswiderstände
Basisschaltung	100mV auf 50mV	$r_A = R_{\text{Poti}} + R_G = 913\Omega + 9.375\Omega = 922,375\Omega$
Emitterschaltung	100mV auf 50mV	$r_A = R_{\text{Poti}} = 908\Omega$
Kollektorschaltung	10mV auf 5mV	$r_A = R_{\text{Poti}} + R_G = 5.2\Omega + 9.375\Omega = 14,375\Omega$

6. „nutzbare“ Leistungsverstärkung v_p

6.1 Erläuterung

Die Formel für die nutzbare Leistungsverstärkung lautet: $v_{pNutz} = \frac{p(R_L)}{p(r_e)} = v_u^2 * \frac{r_e}{R_L}$ mit

$$p(R_L) = U_L * I_L = \frac{U_L^2}{R_L} \quad \text{und} \quad p(r_e) = U_e * I_e = \frac{U_e^2}{r_e}$$

Die Spannungsverstärkung ist das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung: $v_u = \frac{U_a}{U_e}$
daraus folgt unsere Formel für die „nutzbare“ Leistungsverstärkung:

$$v_{pNutz} = \frac{p(R_L)}{p(r_e)} = \frac{\frac{U_L^2}{R_L}}{\frac{U_e^2}{r_e}} = \frac{U_L^2}{U_e^2} * \frac{r_e}{R_L} = v_u^2 * \frac{r_e}{R_L}$$

6.2 Berechnungen

6.2.1 Basisschaltung

$$v_{pNutz} = \frac{p(R_L)}{p(r_e)} = \frac{\frac{U_L^2}{R_L}}{\frac{U_e^2}{r_e}} = \frac{U_L^2}{U_e^2} * \frac{r_e}{R_L} = v_u^2 * \frac{r_e}{R_L} = 65.79^2 * \frac{13.78\Omega}{1k\Omega} = 59.64$$

6.2.1 Emitterschaltung

$$v_{pNutz} = \frac{p(R_L)}{p(r_e)} = \frac{\frac{U_L^2}{R_L}}{\frac{U_e^2}{r_e}} = \frac{U_L^2}{U_e^2} * \frac{r_e}{R_L} = v_u^2 * \frac{r_e}{R_L} = 66.23^2 * \frac{2.53k\Omega}{1k\Omega} = 11097.62$$

6.2.1 Kollektorschaltung

$$v_{pNutz} = \frac{p(R_L)}{p(r_e)} = \frac{\frac{U_L^2}{R_L}}{\frac{U_e^2}{r_e}} = \frac{U_L^2}{U_e^2} * \frac{r_e}{R_L} = v_u^2 * \frac{r_e}{R_L} = 0.99^2 * \frac{9.74k\Omega}{2k\Omega} = 4.77$$

7. Vergleich von Mess- und Rechenwerten

Als dynamische Kenndaten nutzen wir $r_{BE} = 3.6 \text{ k}\Omega$, $r_{CE} = 50 \text{ k}\Omega$, $\beta = 250$

	Basisschaltung			Emitterschaltung			Kollektorschaltung		
	gemessen	errechnet	Fehler	gemessen	errechnet	Fehler	gemessen	errechnet	Fehler
v_u	65,79	69,44	5,20%	66,23	69,44	4,60%	0,99	0,9928	0,28%
r_e	13,78 Ω	14,3 Ω	3,60%	2,53 $\text{k}\Omega$	2,65 $\text{k}\Omega$	4,50%	9,74 $\text{k}\Omega$	9,81 $\text{k}\Omega$	0,71%
$r_{a \text{ offen}}$	938,38 Ω	990 Ω	5,20%	897 Ω	980 Ω	8,50%	56,88 Ω	14,49 Ω	293%
$r_{a \text{ Masse}}$	922,38 Ω	990 Ω	6,80%	908 Ω	980 Ω	7,30%	14,38 Ω	14,49 Ω	0,76%
v_{pNutz}	59,64	68,87	13,00%	11.097,62	12.765,50	13,00%	4,77	4,9	2,65%

Tabelle 1: Mess- und Rechenergebnisse, Abweichung

8. Auswertung

8.1 Basisschaltung

Die Basisschaltung weist durch den Versuch im Gegensatz zu der Kollektorschaltung einen niedrigen Eingangs- und einen hohen Ausgangswiderstand auf.

Zusätzlich verfügt sie über eine hohe Spannungsverstärkung, wie die Emitterschaltung. Diese Schaltung findet oft Verwendung in Hochfrequenzverstärkern, da ihre Rückwirkung zwischen Ausgangs- und Eingangskreis wesentlich geringer ist als bei den anderen beiden Schaltungen.

8.1 Emitterschaltung

Die Emitterschaltung hat eine sehr hohe Spannungsverstärkung. Dies hat zur Folge, dass sie eine sehr hohe „nutzbare“ Leistung besitzt, da der hohe Eingangswiderstand und die Spannungsverstärkung in der Leistungsformel enthalten sind.

Die Polarität des Ausgangs- gegenüber dem Eingangssignal ist gegenphasig.

Aufgrund der hohen Spannungsverstärkung ist die Emitterschaltung die am häufigsten gebrauchte Schaltung von den drei Schaltungen bipolarer Transistoren.

Die meisten Verstärker-, Oszillatoren- und Impulsgeneratorarten basieren auf diesen Emitterschaltungen.

8.3 Kollektorschaltung

Dieser Versuch wies im Grunde keine Spannungsverstärkung (hier ca. 0.99), einen hohen Eingangs- und niedrigen Ausgangswiderstand auf.

Der Verstärker mit einer Kollektorschaltung wird hauptsächlich als Impedanzwandler eingesetzt (aufgrund seines hohen Eingangs- und niedrigen Ausgangswiderstand).

Impedanzwandler bedeutet, dass er als erste Stufe eines Spannungsverstärkers eingesetzt wird, damit er einen hohen Eingangswiderstand schafft.

Er kann auch als Endstufe zur Erzeugung eines hohen Ausgangswiderstandes eingesetzt werden.

8.4 Abweichung von Rechenwerten

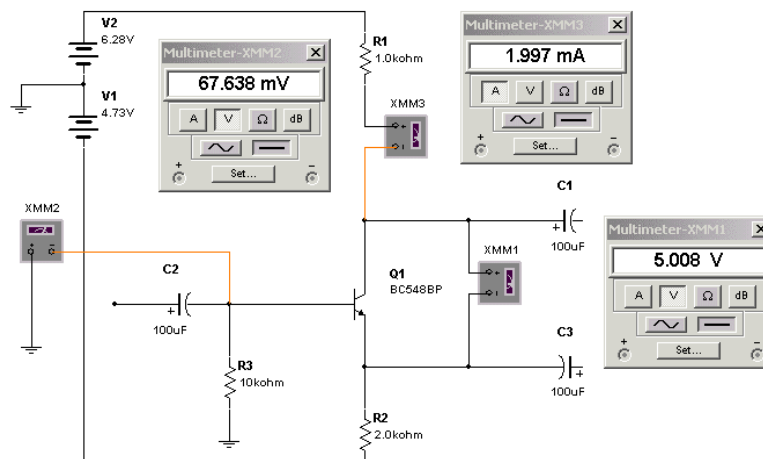
Mögliche hohen Abweichungen von nahezu 13 % kann durch den weiten Aufbau der Schaltung, Verwendung langer Strippen, Toleranzen der Bauteile, Messfehler beim Ablesen etc. kommen.

Die sehr große Abweichung bei der Messung in der Kollektorschaltung (r_a offen), begründet sich aus einem nicht eindeutigen Potential. Dies hat zur Folge, dass der Ausgangswiderstand nicht eindeutig zu bestimmen war.

9. Simulation Multisim

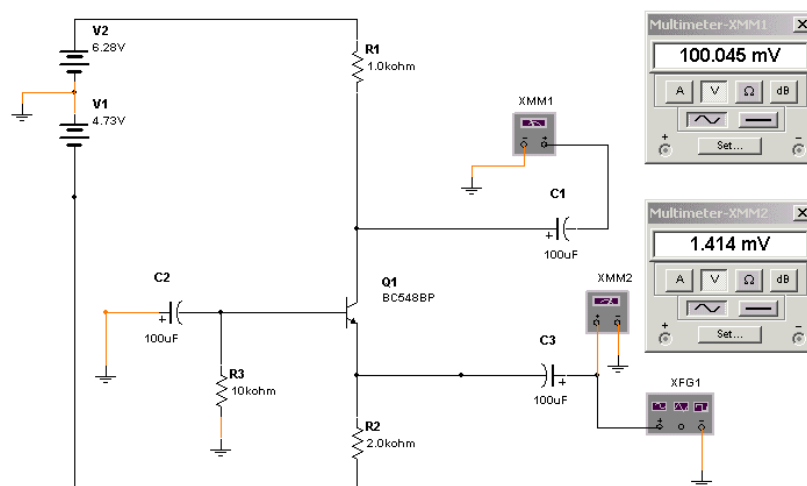
9.1 dynamische Betriebsgrößen

9.1.1 Arbeitspunkteinstellung

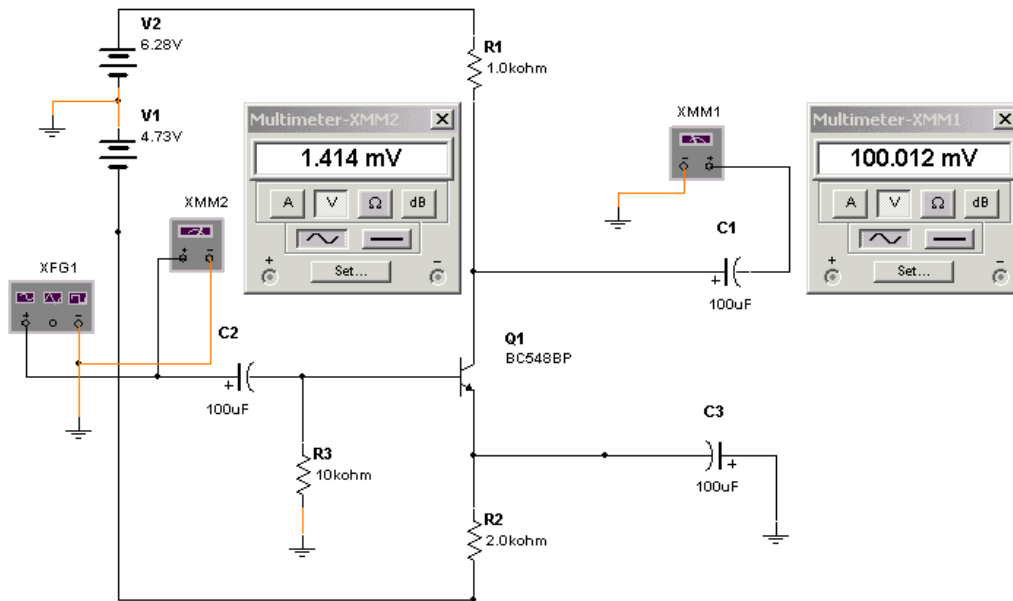


9.1.2 Spannungsverstärkung v_u

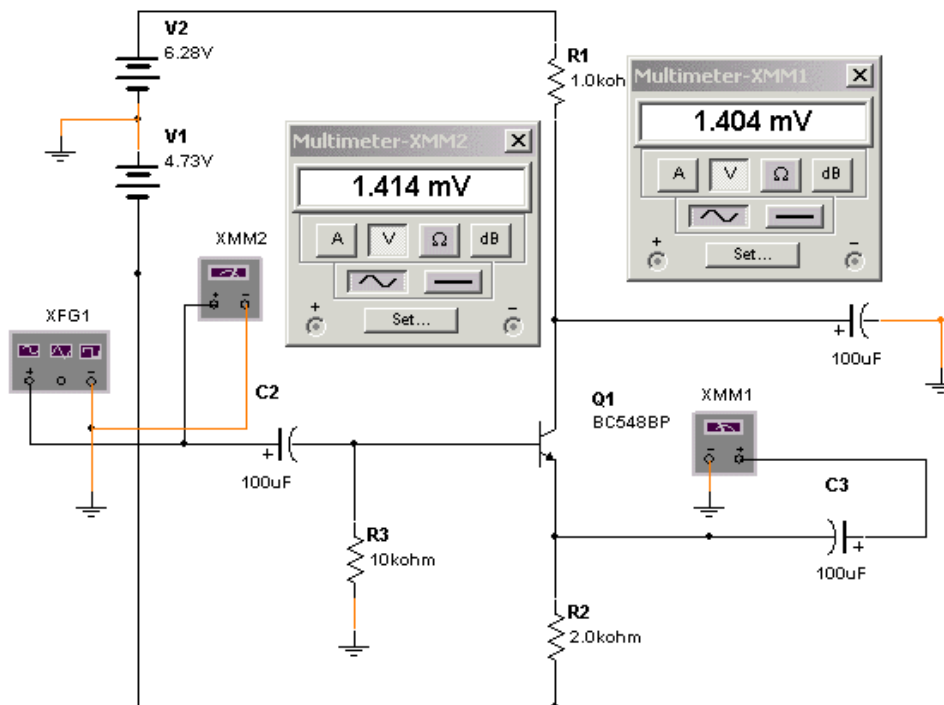
9.1.2.1 Basisschaltung



9.1.2.2 Emitterschaltung

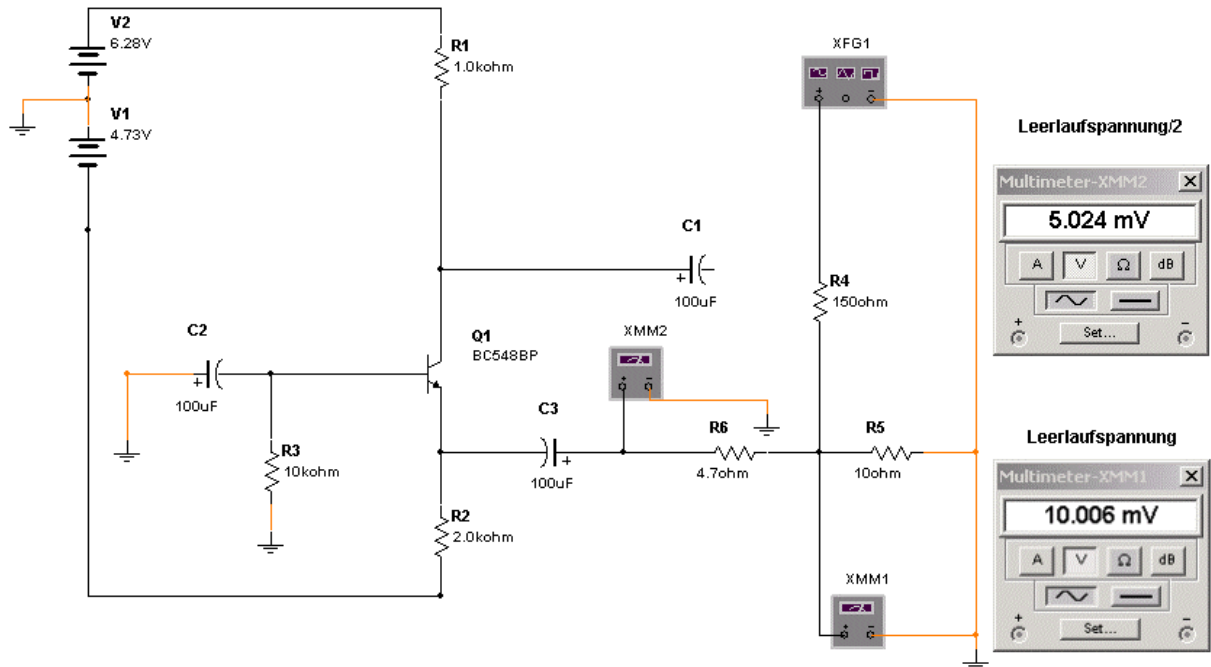


9.1.2.3 Kollektorschaltung

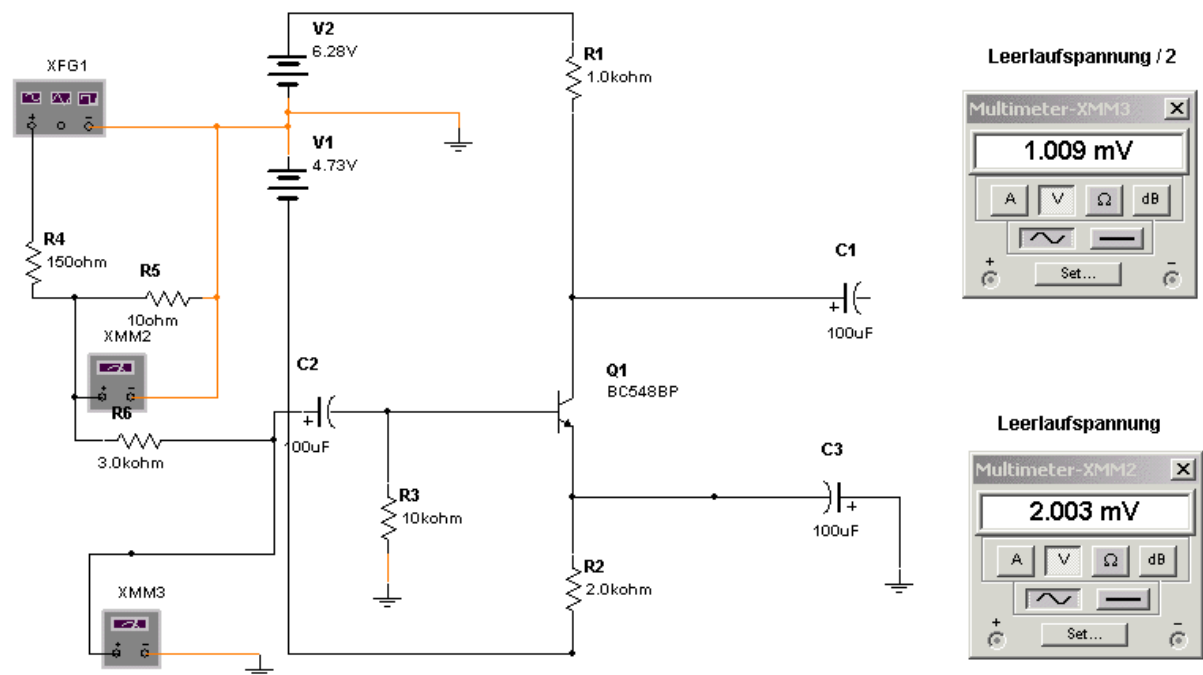


9.1.3 Eingangswiderstand r_e

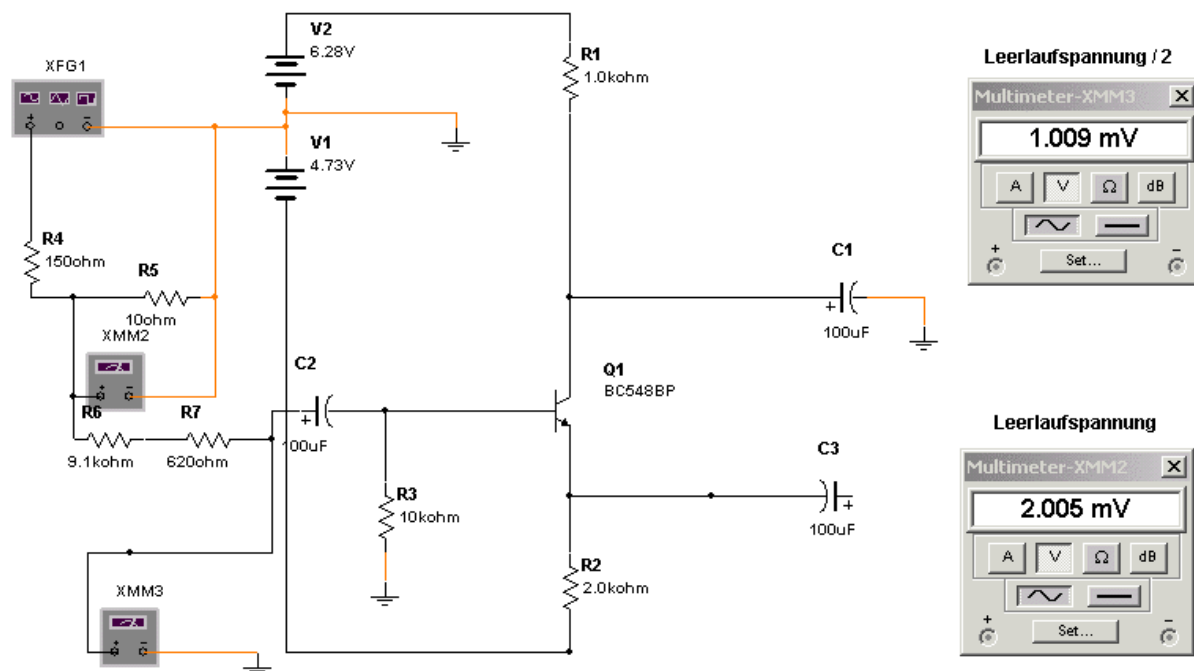
9.1.3.1 Basisschaltung



9.1.3.2 Emitterschaltung

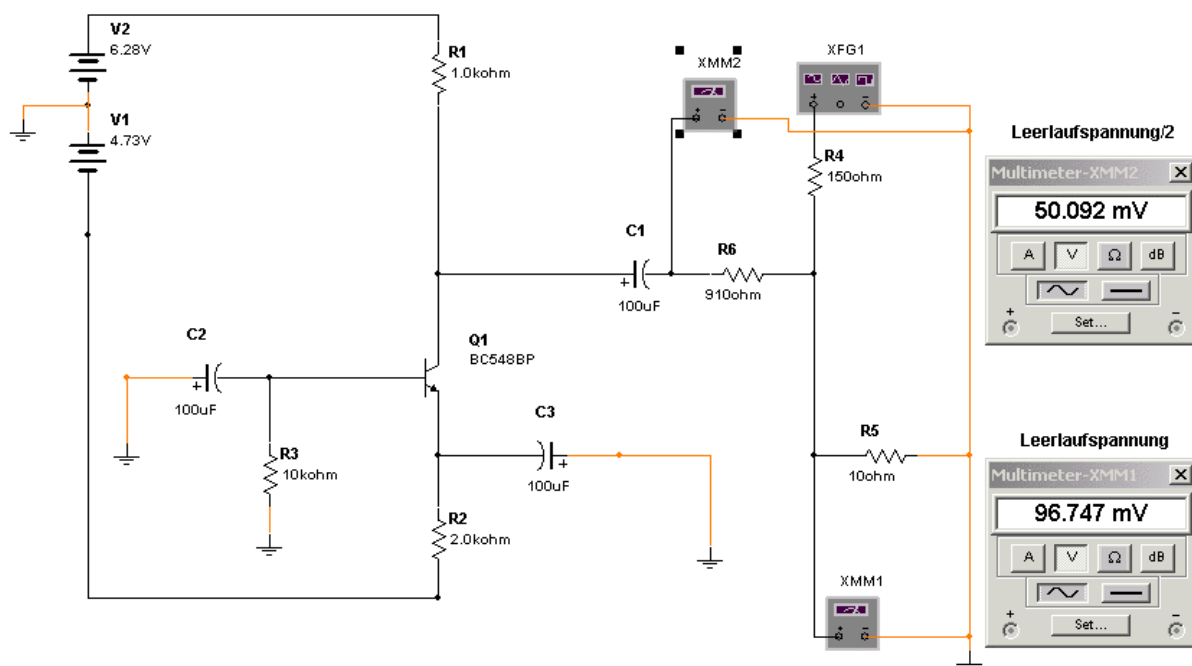


9.1.3.3 Kollektorschaltung

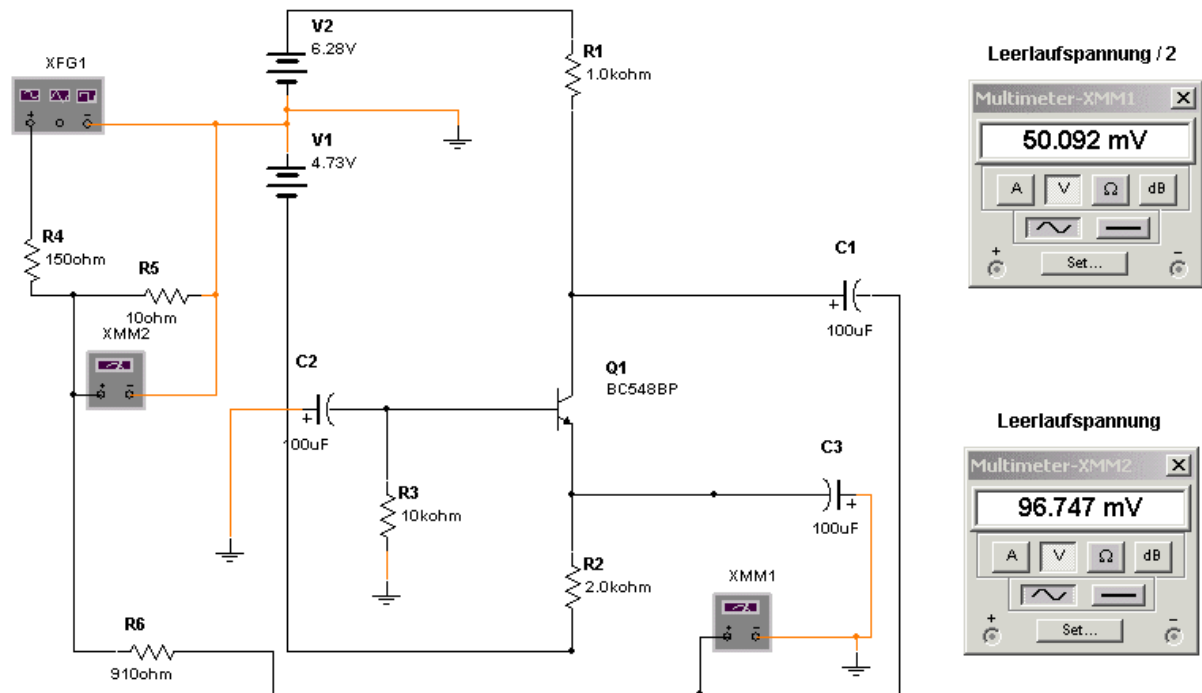


9.1.4 Ausgangswiderstand r_a

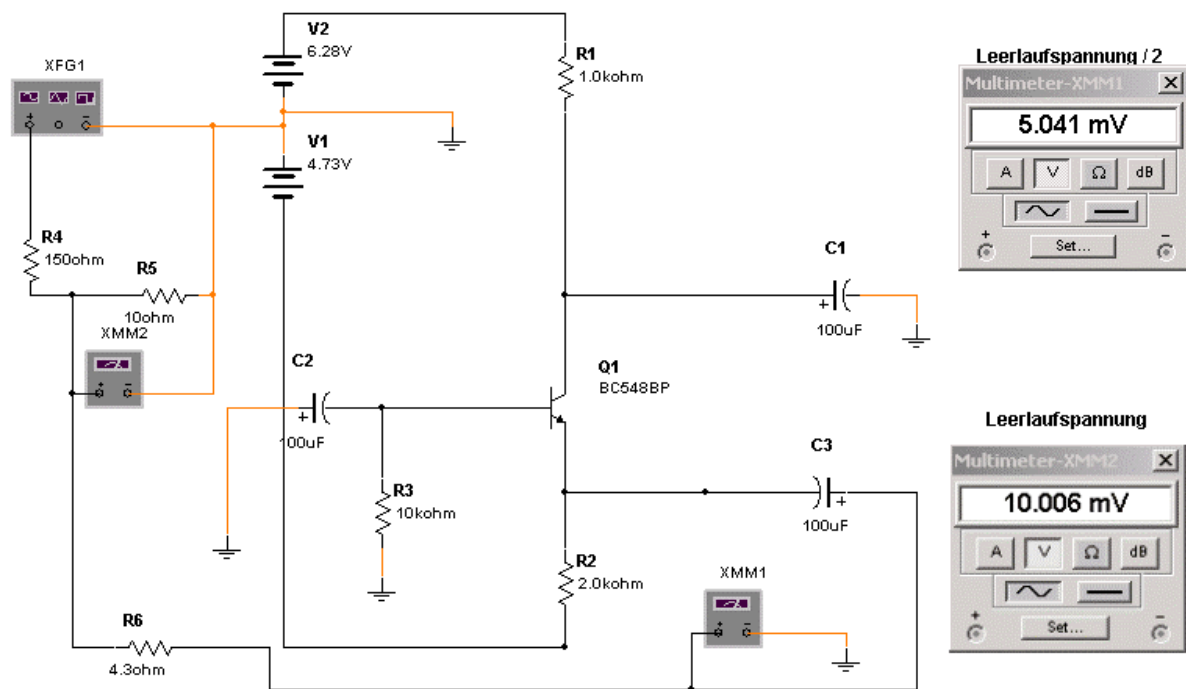
9.1.4.1 Basisschaltung



9.1.4.2 Emitterschaltung



9.1.4.3 Kollektorschaltung



9.2 Frequenzgang Emitterschaltung

