

Praktikum Elektronik

Versuch RC-Verstärker

1 Allgemeine Hinweise

Die Aufgaben zur Versuchsvorbereitung sind vor dem Versuchstermin von jedem Praktikumssteilnehmer als **Hausaufgaben schriftlich** auszuführen. Sie sind Bestandteil des Protokolls und werden in die Bewertung des Versuches einbezogen. Ebenso zur Vorbereitung des Praktikums gehört, sich über **alle Versuchsaufgaben** zu informieren und diese, soweit das möglich ist, theoretisch vorzubereiten (Formeln, Diagramme, Tabellen, Literatur). Die im Versuch geforderten Diagramme sind auf Millimeterpapier zu zeichnen oder computergestützt anzufertigen und dem Protokoll beizufügen.

Bei der Versuchsdurchführung sind die Mess-Schaltungen mit Hilfe der am Versuchsplatz vorliegenden Versuchsanordnung (siehe Bild 4.1) aufzubauen. Dazu werden die Bauelemente, die auf Adaptern befestigt sind, in die an der Frontplatte befindlichen Buchsen gesteckt und die Messgeräte, Stromversorgungsgeräte sowie die Zusatzelemente über (möglichst kurze!) Schaltschnüre mit der Versuchsanordnung verbunden.

Beachten Sie:

- Auf- und Abbau der Mess-Schaltungen und alle Veränderungen an der Mess-Schaltung dürfen nur im spannungslosen Zustand vorgenommen werden.
- Die Polarität der unsymmetrischen (einseitig geerdeten) elektronischen Messgeräte ist zu beachten.
- Die Messbereiche der Messgeräte dürfen nicht überschritten werden. Bei unbekanntem Messgrößen ist zunächst der höchste Messbereich einzustellen.
- Elektrolytkondensatoren sind gepolte Bauelemente, ermitteln Sie **vor** Einbau die korrekte Polaritätsrichtung.

2 Versuchsziel

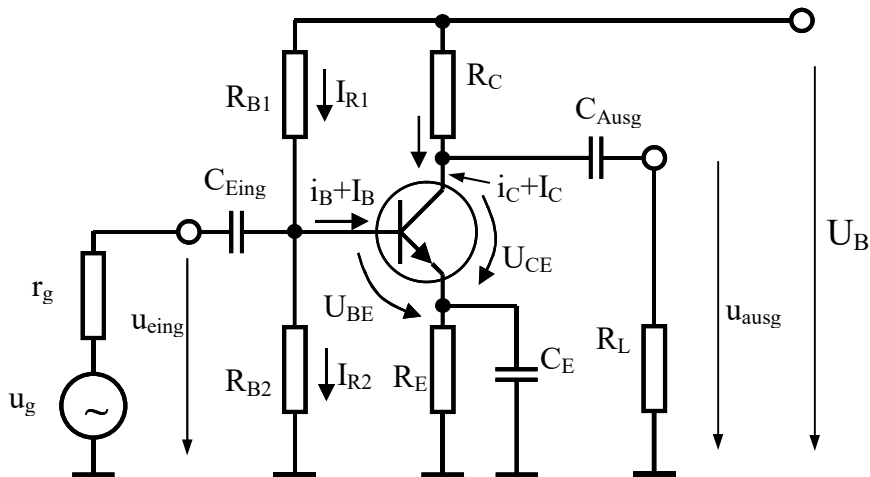
Kennenlernen des Zusammenwirkens von aktiven und passiven Bauelementen am Beispiel eines RC-Verstärkers. Dabei wird das Gleich- und Wechselstromverhalten der Schaltung nach folgenden Gesichtspunkten untersucht:

- Arbeitspunkteinstellung
- Spannungsverstärkung und Aussteuerung
- Ein- und Ausgangswiderstände der Schaltung
- Einfluss von Strom- und Spannungsgegenkopplung auf die Eigenschaften des Verstärkers

3 Vorbereitungsaufgaben

- 3.1 Dimensionieren Sie die nachstehend skizzierte Schaltung des einstufigen RC-Verstärkers, wenn die folgenden Werte bekannt sind:

Betriebsspannung $U_B = 15V$,
 Arbeitspunkt: $U_{BE} = 0,7V$, $U_{CE} = 6V$, $I_B = 0,1mA$, $I_C = 20mA$
 Wählen Sie $I_{RB2} = 5 I_B$ (Basisspannungsteilerwiderstände).
 Der Spannungsabfall über dem Emitterwiderstand soll $3 U_{BE}$ betragen.
 Es werden Widerstände der Reihe E 24 verwendet (Toleranz?).



Hinweis: Zeichnen Sie alle Bauelemente mit ihren berechneten oder vorgegebenen Werten in das Bild 4.1 ein!

- 3.2 Erklären Sie mit Hilfe der Kennlinienfelder des Transistors die Aussteuerungsverhältnisse am Ausgang der Schaltung (vor Koppel-C).

- 3.3 Zeichnen Sie die dynamische Ersatzschaltung und kennzeichnen Sie alle Elemente!

- 3.4 Berechnen Sie
- | | |
|-----------------------------|-----------|
| a) die Spannungsverstärkung | V_U |
| b) die Leistungsverstärkung | V_P |
| c) die untere Grenzfrequenz | f_{gru} |

wenn die nachstehenden Daten zur Berechnung benutzt werden:

Transistor: $h_{11e} = 750\Omega$
 $1/h_{22e} = 1,5K\Omega$
 $h_{21e} = 200$

Generatorinnenwiderstand $r_g = 50\Omega$,
 Koppelkondensatoren $C_{Eing} = C_{Ausg} = 0,47\mu F$,
 Lastwiderstand $R_L = 330\Omega$
 Emitterkondensator soll als unendlich angenommen werden.

- 3.5 Wie groß ist die obere Grenzfrequenz f_{gro} des Verstärkers, wenn die Eingangskapazitäten vernachlässigbar klein gegen die resultierenden Ausgangskapazitäten ΣC_P sind. Die Kapazität ΣC_P wird mit 100pF angenommen.
Hinweis: Zeichnen Sie ΣC_P parallel zu R_L ein.

- 3.6 Gegeben sind von einem Verstärker die Werte:

Eingangsspannung $u_{\text{eing}} = 5\text{mV}$,
Ausgangsspannung $u_{\text{ausg}} = 850\text{mV}$
dynamischer Eingangswiderstand $r_{\text{eing}} = 200\Omega$,
Lastwiderstand $R_L = 75\Omega$

Berechnen Sie

- die Spannungsverstärkung absolut und in dB
- die Leistungsverstärkung absolut und in dB
- die Ausgangsleistung (Leistung im Lastwiderstand) in dBm.

- 3.7 Geben Sie schaltungstechnische Möglichkeiten zur Einstellung und Stabilisierung des Arbeitspunktes mit den dazugehörigen Schaltungen an.
Geben Sie die Vor- und Nachteile der jeweiligen Schaltung an.

- 3.8 Erläutern Sie den Begriff Klirrfaktor. Wie wird er gemessen?

- 3.9 Informieren Sie sich über die Verwendung, Arbeitsweise und Bedienung von Oszilloskopen und Funktionsgeneratoren.

---> *Hinweis zu 3.7 und 3.8 u.a.:* [http://de.wikipedia.org/...](http://de.wikipedia.org/)

---> *Anleitungen und zusätzliche Unterlagen zu den Praktika:*
www.htw-dresden.de/~hkuehn
www.htw-dresden.de/~daniel

4 Versuchsaufgaben

Ergänzen Sie die Versuchsanordnung zur Schaltung eines einstufigen RC-Verstärkers, dessen Arbeitspunkt mittels eines Basisspannungsteilers eingestellt wird.

Zeichnen Sie die notwendigen Bauelemente zur Realisierung der Schaltung nach 3.1 mit ihren errechneten Werten in das Bild 4.1 ein.

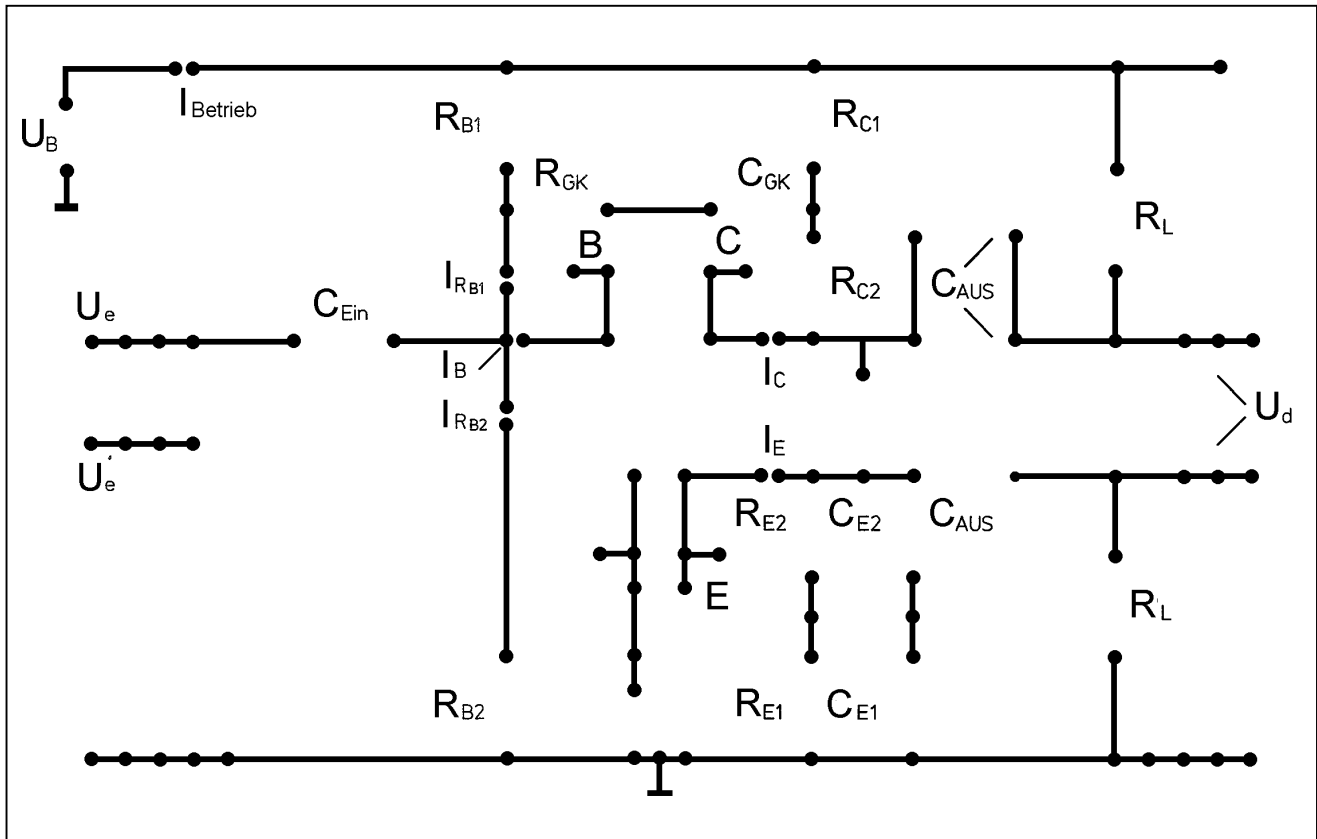


Bild 4.1 Versuchsaufbau RC-Verstärker mit Basisspannungsteiler und Emitterwiderstand

Tragen Sie die Ergebnisse der Aufgaben 4.1 bis 4.4 in die Tabelle auf der folgenden Seite ein:

- 4.1 Messen Sie die tatsächlichen Widerstandswerte R_{ist} von R_{B1} , R_{B2} , R_C , R_E und $R_L = 330\Omega$
- 4.2 Messen Sie die Spannungsabfälle ΔU über R_{B1} , R_{B2} , R_C und R_E , wenn der Widerstand $R_L = 330\Omega$ über einen Kondensator $C_{\text{Ausz}} = 470\text{nF}$ angekoppelt ist und berechnen Sie die Ströme.
- 4.3 Messen Sie die Ströme lt. Tabelle direkt und vergleichen Sie die Messwerte mit den in Aufgabe 4.2 errechneten Werten. Erklären Sie eventuell auftretende Abweichungen.
- 4.4 Koppeln Sie $R_L = 330\Omega$ mit einem Elektrolytkondensator $C_{\text{Ausz}} = 100\mu\text{F}$ an und wiederholen Sie die Messungen nach 4.2. Erklären Sie eventuelle Unterschiede.

| | R_{ist} in [Ω] | Spannungs- abfall über R U in [V] | I in [mA] (aus U berechnet) | I in [mA] (direkt gemessen) | Spannungs- abfall über R U in [V] | I in [mA] (aus U berechnet) |
|----------|---------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| | | bei $C_{Ausg} = 470nF$ | | | bei $C_{Ausg} = 100\mu F$ | |
| R_{B1} | | | | | | |
| R_{B2} | | | | | | |
| R_C | | | | | | |
| R_E | | | | | | |
| R_L | | | | | | |
| I_B | | | (berechnen!) | | | |

Erklärung für eventuelle Abweichungen zwischen Messung und Rechnung (zu 4.2 und 4.3)

Erklärung der eventuellen Abweichungen bei unterschiedlichen C_{Ausg} (zu 4.4)

4.5 Berechnen Sie mit den in den Aufgaben 4.1 und 4.2 ermittelten Werten den realen Arbeitspunkt und die Gleichstromverstärkung B des Transistors.

| |
|--|
| Werte des realen Arbeitspunkts: |
| Berechnung der Gleichstromverstärkung: |

Bei den folgenden Aufgaben (dynamisches Verhalten) gilt:

- *es ist der Emitterwiderstand $R_E=100\Omega$ mit einem Kondensator $C_E = 1000 \mu F$ zu überbrücken,*
- *sofern nicht anders angegeben, ist $C_{Eing} = C_{Ausg} = 0,47\mu F$ zu verwenden,*
- *der Ausgang des Funktionsgenerators ist mit $Z=50\Omega$ abzuschließen (Anpassung!).*
- *Die obere Grenzfrequenz einiger Multimeter ist ggf. nicht ausreichend. Verwenden Sie daher die Messfunktion des Oszilloskopes.*

4.6 Überzeugen Sie sich an Hand der Oszibilder für u_e und u_a von der dynamischen Funktion des RC-Verstärkers. ($u_e=10mV$, 10kHz)
Bewerten Sie die Phasenlage zwischen Eingangs- und Ausgangssignal (*invertierend/?*)

4.7 Legen Sie an den Eingang eine Wechselspannung u_e mit einer Frequenz $f = 1kHz$ an. Beobachten Sie die Ein- und Ausgangswechselspannung mit einem Zweikanaloszilloskop. Die Eingangsspannung ist so zu wählen, dass keine Verzerrungen der Ausgangsspannung sichtbar sind. Ermitteln Sie die maximale Eingangsspannung $u_{e,max}$ für verzerrungsfreie Ausgangsspannung $u_{a,max}$.

| | |
|----------------|--|
| $u_{e,max}$ in | |
| $u_{a,max}$ in | |

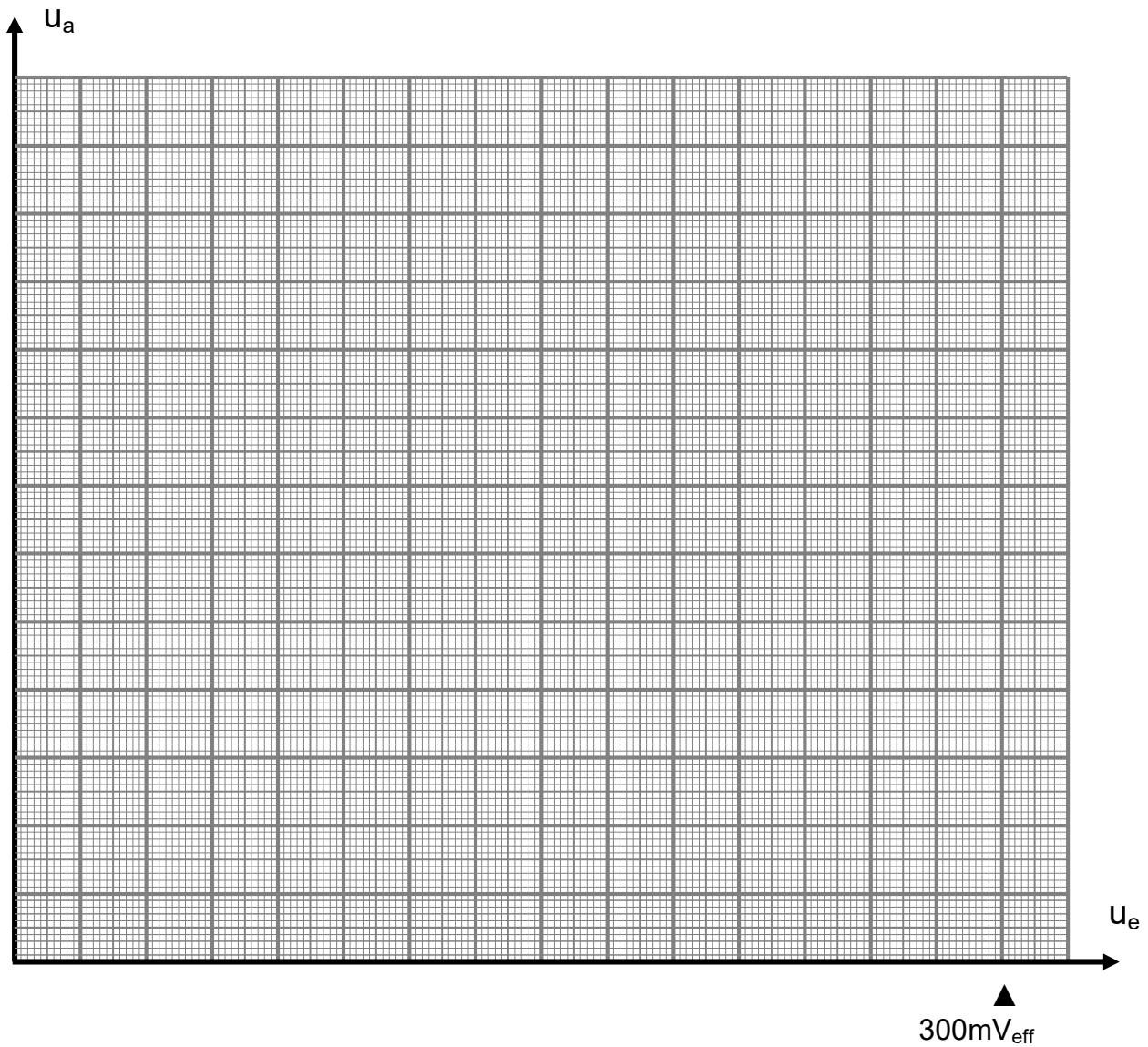
Messen Sie jeweils für $u_{e,max}$ (1) und für $u_e = 7mV$ (2) den Klirrfaktor k der Schaltung.

| | |
|-------------|-------------|
| $k_{(1)} =$ | $k_{(2)} =$ |
|-------------|-------------|

4.8 Ermitteln Sie für $u_{e\max}$ die Spannungsverstärkung V_U mit $R_L = 330\Omega$ und $R_L = \infty$.

| | |
|-----------------------------|---------|
| V_U mit $R_L = 330\Omega$ | $V_U =$ |
| V_U mit $R_L = \infty$ | $V_U =$ |

4.9 Tragen Sie die Funktion $u_a = f(u_e)$ für beide Lastwiderstände im Diagramm ein .



Erklärung des Kurvenverlaufes

- 4.10 Bestimmen Sie mit der in Aufgabe 4.7 ermittelten max. Eingangsspannung (verzerrungsfreie Ausgangsspannung) durch das Zuschalten von Reihen- oder Parallelwiderständen den dynamischen Ein- und Ausgangswiderstand des Verstärkers.
Die Messfrequenz beträgt 1 kHz. ($C_{\text{Ein}} = C_{\text{Aus}} = 100 \mu\text{F}$)

| | | |
|--|---------------------|----------|
| Skizze der Messschaltungen: | | |
| dynamischer Eingangswiderstand des Verstärkers | $r_{\text{eing}} =$ | Ω |
| dynamischer Ausgangswiderstand des Verstärkers | $r_{\text{ausg}} =$ | Ω |

- 4.11 Ermitteln Sie mit einem Lastwiderstand $R_L = 330\Omega$ bei einer Frequenz $f = 1\text{kHz}$ die Spannungsverstärkung (V_U) und den Eingangswiderstand (r_{ein}) mit verschiedenen Werten des Emitterkondensators C_E . Wählen Sie eine Generatorspannung, die zu keiner Übersteuerung führt.

Mit welchem Wert für C_E sollte man sinnvoller Weise beginnen? Warum?

gewähltes u_g für alle Messungen =

| | $C_E = 1000 \mu\text{F}$ | $C_E = 100 \mu\text{F}$ | $C_E = 0$ |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|-----------|
| u_{ausg} | | | |
| u_{eing} | | | |
| $V_U =$ | | | |
| $r_{\text{ein}} =$ | | | |

Hinweise für die folgenden Messungen (Frequenzgänge):

- ***Tragen Sie die Übertragungskennlinien jeweils in das Diagramm im Anhang ein (doppeltlog. Darstellung) und bestimmen und kennzeichnen Sie dabei die untere und obere Grenzfrequenz.***
- ***Tragen Sie jeweils die Werte für die Grundverstärkung (bei 1kHz) und die beiden Grenzfrequenzen in die Tabelle Aufgabe 4.15 (Zusammenfassung) ein!***
- ***Wählen Sie für das Messsignal eine möglichst große Amplitude, die jedoch noch sicher verzerrungsfrei übertragen wird (Kontrolle mit Oszi)!***

Erläutern Sie Ihr Vorgehen zur Ermittlung der unteren und oberen Grenzfrequenz:

4.12 Zeichnen Sie für Ihre Unterlagen auf einem separaten Blatt die elektronische Schaltung des RC-Verstärkers mit ohmscher und kapazitiver Last (s. 4.14)!

Hinweis für 4.13 und 4.14: Vermeiden Sie Messfrequenzen über 5MHz!

4.13 Übertragungskennlinie mit ohmscher Last:

Messen Sie mit Lastwiderstand $R_L=330\Omega$ die Ausgangsspannung u_a in Abhängigkeit von der Frequenz f ($C_{Eing}=C_{Ausg}=100\mu F$, $R_E=100\Omega$, $C_E=1000\mu F$).

4.14 Übertragungskennlinie mit ohmscher und kapazitiver Last:

Beispielsweise durch eine lange Leitung kommt zum R_L noch eine kapazitive Last hinzu. Simulieren Sie dies durch Parallelschaltung eines Kondensators $C_L=4nF$.

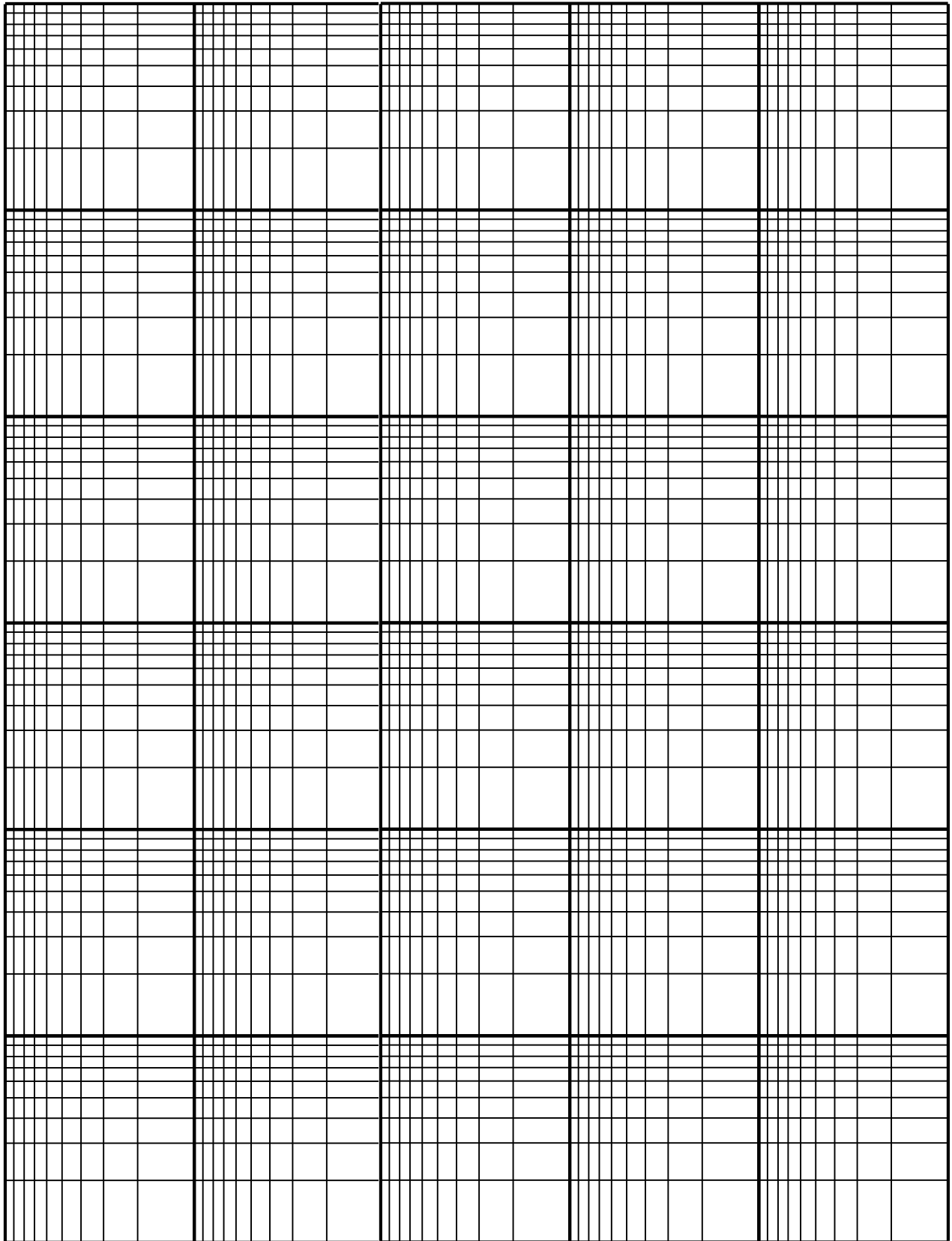
Stecken Sie den vorliegenden Kondensator aus praktischen Gründen in den noch freien Steckplatz zwischen Ausgang und Betriebsspannung. Erläutern Sie, warum das zulässig ist:

4.15 Zusammenfassung:

Vergleichen Sie die in Aufgabe 4.13 und 4.14 ermittelten Veränderungen der Übertragungskennlinien.

| Schaltung | V_{1kHz} | f_{gu} | f_{go} |
|----------------------------|------------|----------|----------|
| 4.13 (R_L) | | | |
| 4.14 (R_L, C_L) | | | |

5. Anhang



Auszüge aus dem Datenblatt des npn-Bipolartransistors 2N3704

NPN General Purpose Amplifier

This device is designed for use as general purpose amplifiers and switches requiring collector currents to 300 mA. Sourced from Process 10. See PN100 for characteristics.

Absolute Maximum Ratings*

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Value | Units |
|-----------------------------------|--|-------------|-------|
| V _{CEO} | Collector-Emitter Voltage | 30 | V |
| V _{CBO} | Collector-Base Voltage | 50 | V |
| V _{EBO} | Emitter-Base Voltage | 5.0 | V |
| I _C | Collector Current - Continuous | 500 | mA |
| T _J , T _{stg} | Operating and Storage Junction Temperature Range | -55 to +150 | °C |

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol | Characteristic | Max | Units |
|------------------|---|--------|-------|
| | | 2N3704 | |
| P _D | Total Device Dissipation Derate above 25°C | 625 | mW |
| | | 5.0 | mW/°C |
| R _{θJC} | Thermal Resistance, Junction to Case | 83.3 | °C/W |
| R _{θJA} | Thermal Resistance, Junction to Ambient | 200 | °C/W |

Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min | Max | Units |
|--------|-----------|-----------------|-----|-----|-------|
|--------|-----------|-----------------|-----|-----|-------|

OFF CHARACTERISTICS

| | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|---|-----|-----|----|
| V _{(BR)CEO} | Collector-Emitter Breakdown Voltage* | I _C = 10 mA, I _B = 0 | 30 | | V |
| V _{(BR)CBO} | Collector-Base Breakdown Voltage | I _C = 100 μA, I _E = 0 | 50 | | V |
| V _{(BR)EBO} | Emitter-Base Breakdown Voltage | I _E = 100 μA, I _C = 0 | 5.0 | | V |
| I _{CBO} | Collector Cutoff Current | V _{CB} = 20 V, I _E = 0 | | 100 | nA |
| I _{EBO} | Emitter Cutoff Current | V _{EB} = 3.0 V, I _C = 0 | | 100 | nA |

ON CHARACTERISTICS*

| | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|--|-----|-----|---|
| h _{FE} | DC Current Gain | V _{CE} = 2.0 V, I _C = 50 mA | 100 | 300 | |
| V _{BE(on)} | Base-Emitter ON Voltage | V _{CE} = 2.0 V, I _C = 100 mA | 0.5 | 1.0 | V |
| V _{CE(sat)} | Collector-Emitter Saturation Voltage | I _C = 100 mA, I _B = 5.0 mA | | 0.6 | V |

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

| | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|--|-----|----|-----|
| C _{ob} | Output Capacitance | V _{CB} = 10 V, f = 1.0 MHz | | 12 | pF |
| f _T | Current Gain - Bandwidth Product | I _C = 50 mA, V _{CE} = 2.0 V, | 100 | | MHz |

*Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%