

AfuTUB-Kurs

Technik Klasse A 06: Transistor & Verstärker

DK0TU
Amateurfunkgruppe der TU Berlin

<https://dk0tu.de>

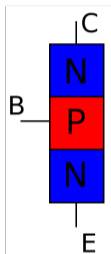
WiSe 2017/18 – SoSe 2018



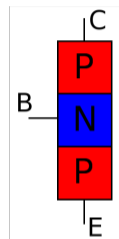
This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DK0TU, Stand: Thu Jan 18 22:10:19 2018 +0100

Bipolarer Transistor



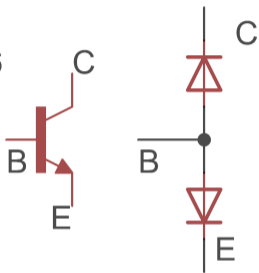
Schichten eines NPN-Transistors



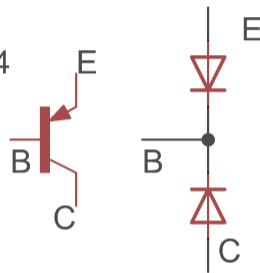
Schichten eines PNP-Transistors

- Transistoren bestehen aus drei Halbleiterschichten
- Anschlüsse: Basis (B), Kollektor (C), Emittter (E)

Ersatzschaltbild

T1
2N706

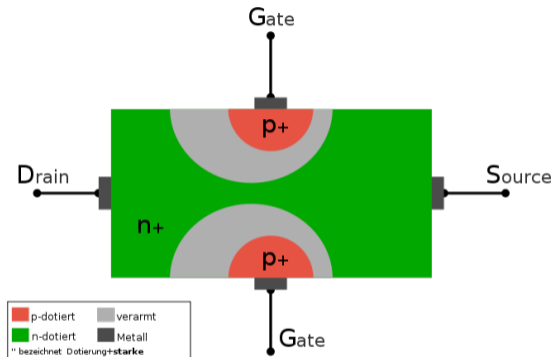
ESB eines NPN-Transistors

T1
BD244

ESB eines PNP-Transistors

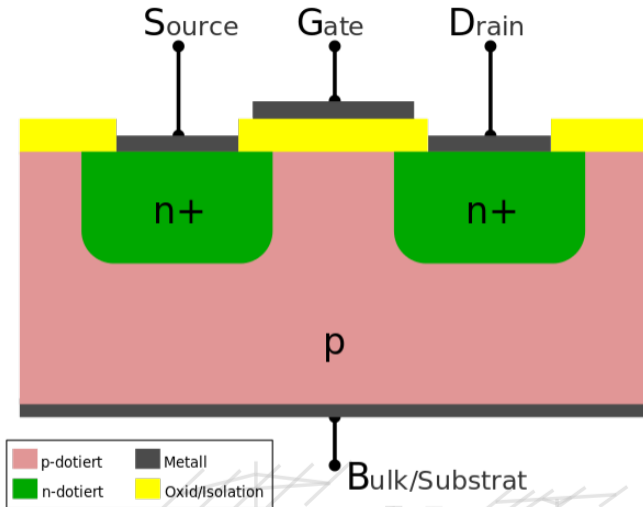
- Basis-Emitterübergang muss in Durchlassrichtung gepolt sein
- Basis braucht ein um etwa 0,6 V höheres Potential als der Emitter

Unipolarer Transistor: Feldeffekt Transistor (FET)



Eingefärbtes Schema eines n-Kanal Sperrschicht-FET (JFET) (von Arne Nordmann (norro) [↗](#) [©](#) [i](#) [®](#))

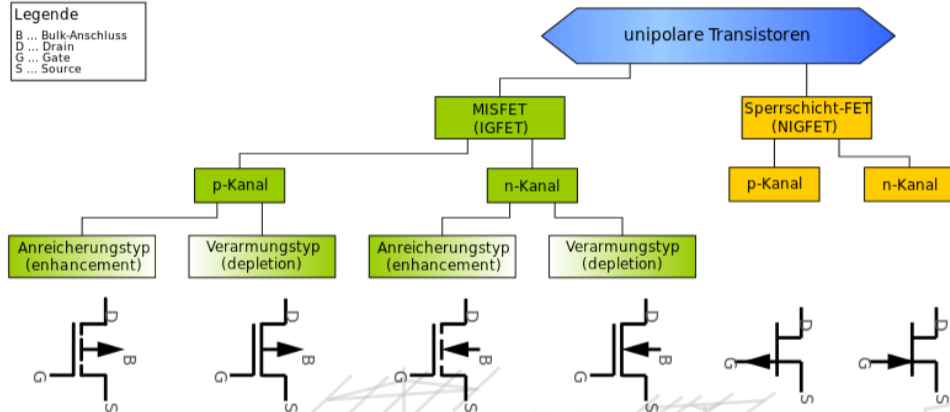
- Gate steuert Kanalbreite durch Spannung
- Je dünner der Kanal, desto höher ist der Kanalwiderstand



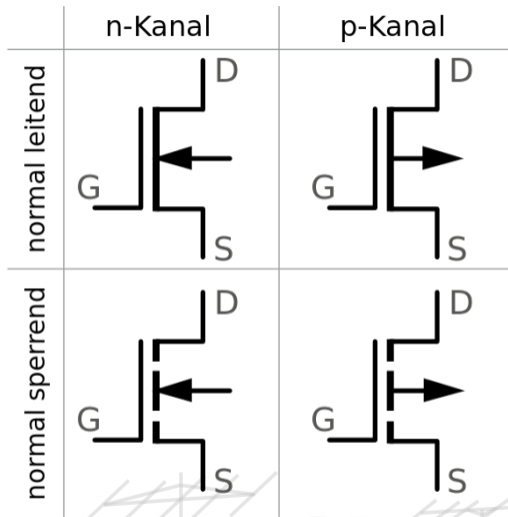
Eingefärbter Technologiequerschnitt eines Metall-Oxid-Halbleiters FET (MOSFET) (von Arne

Weitere FET-Arten

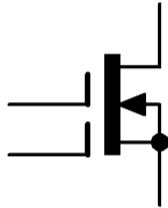
Legende	
B ...	Bulk-Anschluss
D ...	Drain
G ...	Gate
S ...	Source



Übersicht von Feldeffekttransistoren mit zugehörigen Schaltzeichen (DIN) (von Cepheiden & ©)



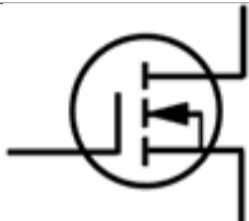
Schaltsymbole von MISFET-Transistoren (metal insulator semiconductor) (von Arne Nordmann (norro))



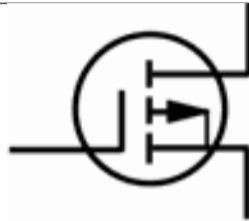
Schaltzeichen eines Dual-Gate-MOSFETs

- Besitzt zwei Gateanschlüsse
- Wird für Mischerschaltungen genutzt

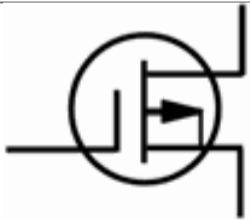
TC604 Welcher der folgenden Transistoren ist ein selbstleitender P-Kanal MOSFET



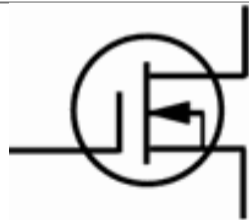
B



C

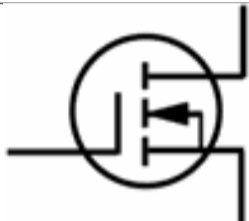


D

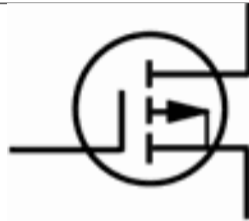


TC604 Welcher der folgenden Transistoren ist ein selbstleitender P-Kanal MOSFET

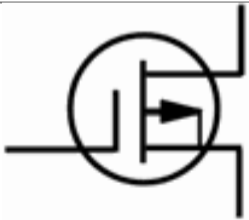
A



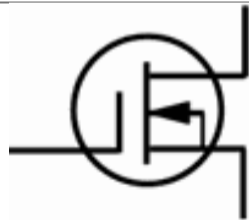
B



C ✓



D



Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundsaltungen

Integrierte

Schaltung

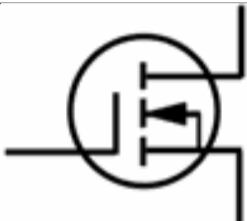
Operations-

verstärker

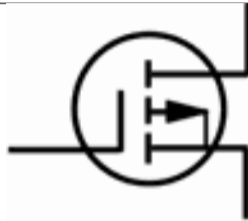
Elektronenröhre

Referenzen

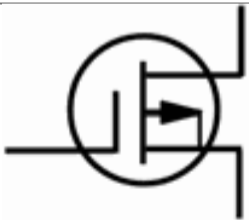
TC605 Welcher der folgenden Transistoren ist ein selbstsperrender N-Kanal MOSFET



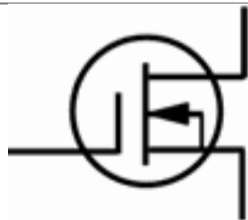
B



A



D



C

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundsaltungen

Integrierte

Schaltung

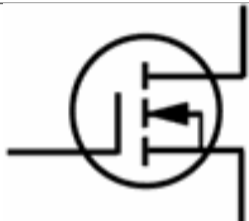
Operations-

verstärker

Elektronenröhre

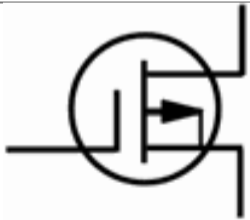
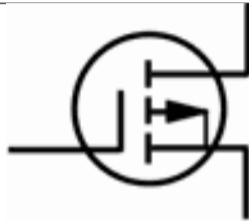
Referenzen

TC605 Welcher der folgenden Transistoren ist ein selbstsperrender N-Kanal MOSFET



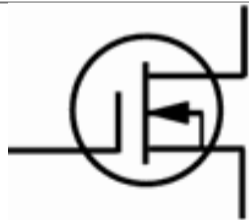
A ✓

B



C

D



Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

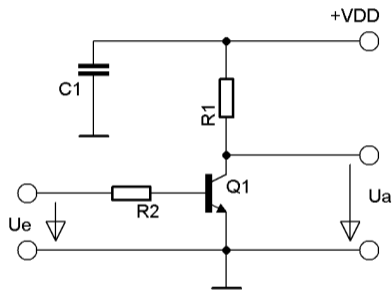
Grundsaltungen

Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

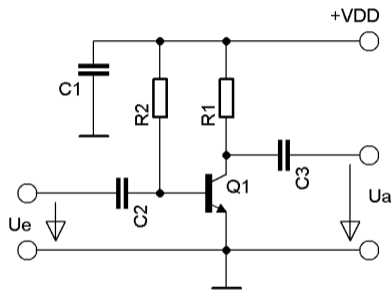
Elektronenröhre

Referenzen

Anwendungen von Bipolartransistoren



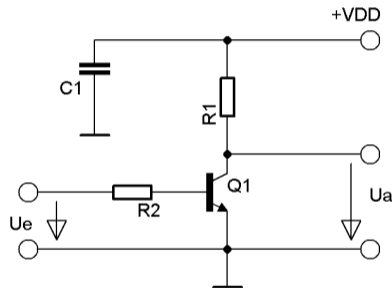
Transistor als Schalter (von
BNetzA ☞)



Transistor als Verstärker (von
BNetzA ☞)

Transistoren können als **Schalter** oder als **Verstärker** genutzt werden

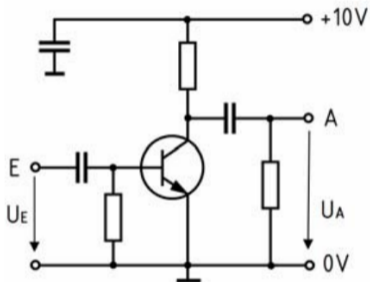
Transistor als Schalter



- $U_e = 0V \rightarrow$ Transistor sperrt
 $\rightarrow U_a \approx +VDD$ (abzgl. Verlust über R1)
 \Rightarrow Eingang 0, Ausgang 1
- $U_e \gg 0,6V \rightarrow$ Transistor leitet
 $\rightarrow U_a \approx 0.1V$
 \Rightarrow Eingang 1, Ausgang 0
- Der Transistor erfüllt hier die Funktion eines **Inverters**

Transistor als Schalter mit Belastung gegen Masse (von BNetzA ⚡)

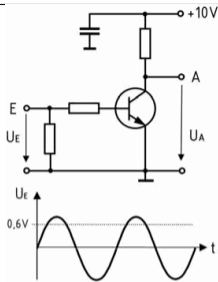
Transistor mit Koppelkondensator als Schalter



- Der Kondensator blockt die Gleichspannung und bildet den Mittelwert der Wechselfspannung

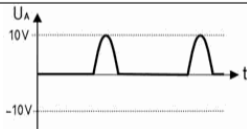
Transistor mit
Koppelkondensator als Schalter (von
BNetzA ☞)

TD431

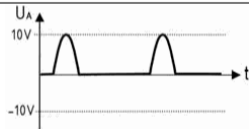


An den Eingang dieser Schaltung wird das folgende Signal gelegt. Welches ist ein mögliches Ausgangssignal U_A ?

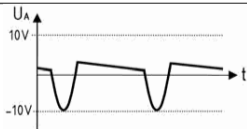
A



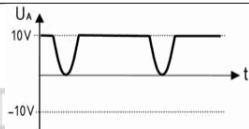
B



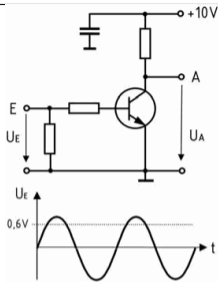
C



D

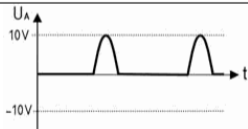


TD431

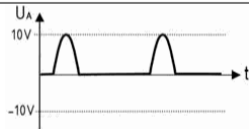


An den Eingang dieser Schaltung wird das folgende Signal gelegt. Welches ist ein mögliches Ausgangssignal U_A ?

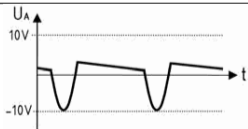
A



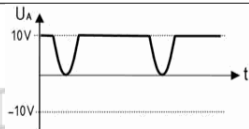
B



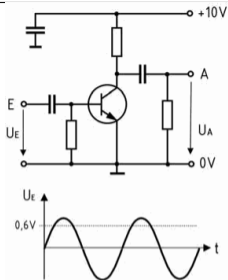
C



D ✓

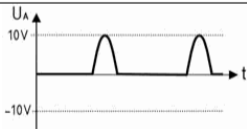


TD432

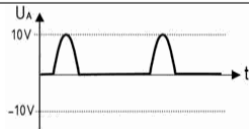


An den Eingang dieser Schaltung wird das folgende Signal gelegt. Welches ist ein mögliches Ausgangssignal U_A ?

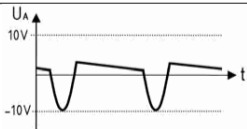
A



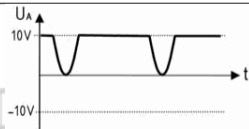
B



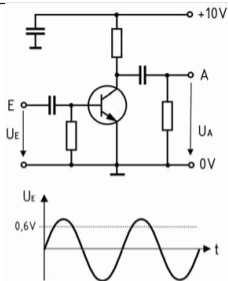
C



D

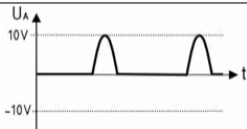


TD432

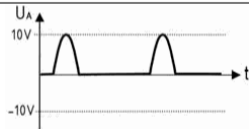


An den Eingang dieser Schaltung wird das folgende Signal gelegt. Welches ist ein mögliches Ausgangssignal U_A ?

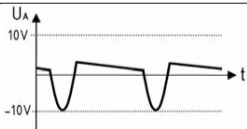
A



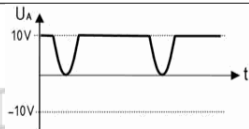
B



C ✓



D



AfuTUB-Kurs

DK0TU

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

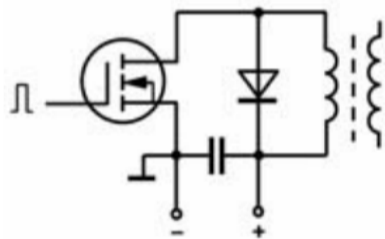
Grundschaltungen

Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

Transistor als Schalter mit Überspannungsschutzdiode



- Durch plötzliches Abschalten baut sich eine hohe Induktionsspannung auf
- Diese kann den Transistor zerstören
- Um das zu verhindern wird eine Diode parallel zur Spule eingebaut
- Diese führt die Induktionsspannung an dem Transistor vorbei ab

Transistor als Schalter einer induktiven Last (von BNetzA ⚡)

Verstärker

Definition eines Verstärkers nach Captain Obvious

Es ist nur dann eine Verstärkung, wenn die Leistung am Ausgang größer ist, als die am Eingang

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

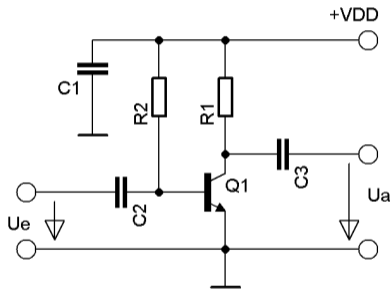
Grundsaltungen

Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

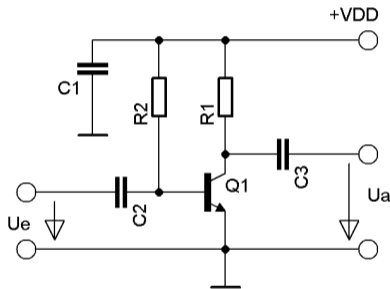
Transistor als Verstärker in Emitterschaltung



- Benötigt einen richtig eingestellten Arbeitspunkt, um vernünftig zu funktionieren
- Dazu wird die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} auf einen definierten Wert größer $0,6\text{ V}$ gesetzt

Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA Ⓒ)

Transistor als Verstärker in Emitterschaltung

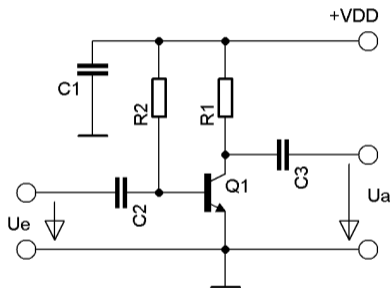


Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA [↗](#))

- Dem durch den Arbeitspunkt eingestellten Ruhestrom überlagert sich die eingekoppelte Wechsellspannung
- Dadurch wird der Kollektorstrom je nach Eingangsgröße größer oder kleiner
- Da der Bipolartransistor nur den Strom verstärkt, wird die Stromverstärkung mittels eines Widerstandes R_1 in eine Spannungsverstärkung umgewandelt

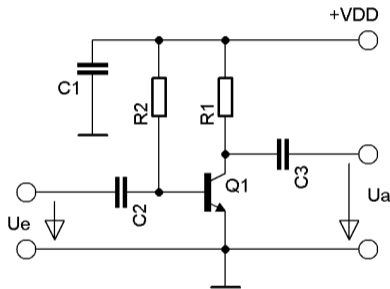
Transistor als Verstärker in Emitterschaltung

- Ändert man die Eingangsspannung U_e der Schaltung, verändert sich auch der Basisstrom
- Dies ruft eine Veränderung des Kollektorstromes I_C hervor, die um die Stromverstärkung des Transistors größer ist als der Basisstrom
- Die Spannung über R_1 verhält sich bei Änderungen genauso wie der Kollektorstrom I_C
- Dadurch sinkt die Kollektorspannung U_{CE} des Transistors



Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA ⌘)

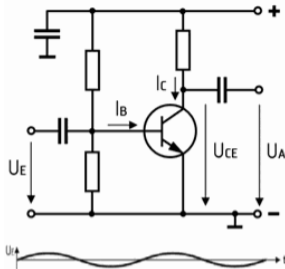
Transistor als Verstärker in Emitterschaltung



- Die Kondensatoren C_2 und C_3 entkoppeln das Eingangs- und das Ausgangssignal
- Dadurch wird der Gleichspannungsanteil entfernt, um das Signal beispielsweise einer weiteren Verstärkerstufe zuzuführen

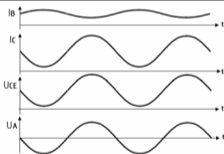
Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA ⚡)

TC626

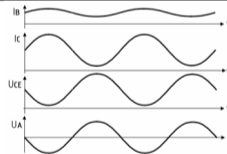


Folgendes Signal U_E wurde auf den Eingang folgender Schaltung gegeben. In welcher Antwort sind alle dargestellten Signale phasenrichtig zugeordnet?

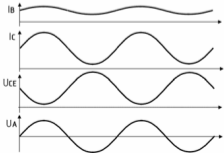
A



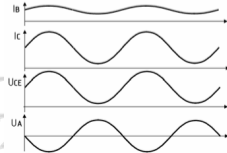
B



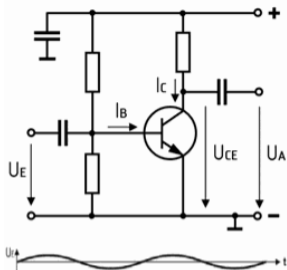
C



D

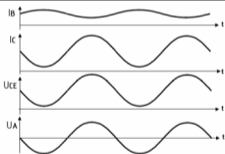


TC626

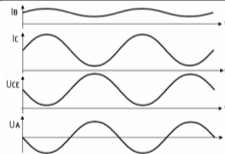


Folgendes Signal U_E wurde auf den Eingang folgender Schaltung gegeben. In welcher Antwort sind alle dargestellten Signale phasenrichtig zugeordnet?

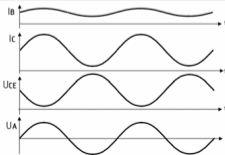
A



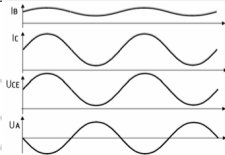
B ✓



C



D



Verstärkungen eines Transistors bei Wechselstrom

Spannungsverstärkung

$$v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

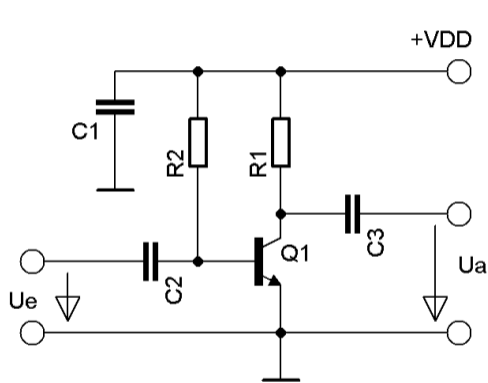
Stromverstärkung

$$v_I = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

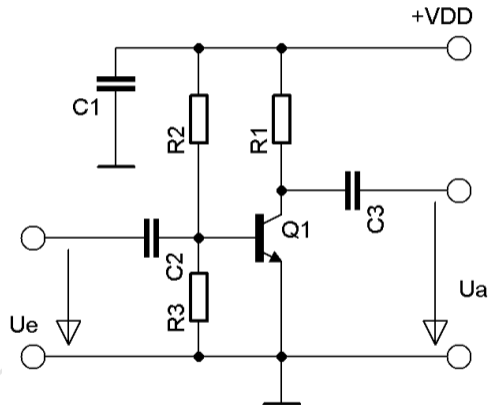
Leistungsverstärkung

$$v_P = v_U \cdot v_I$$

Generieren der Basisvorspannung



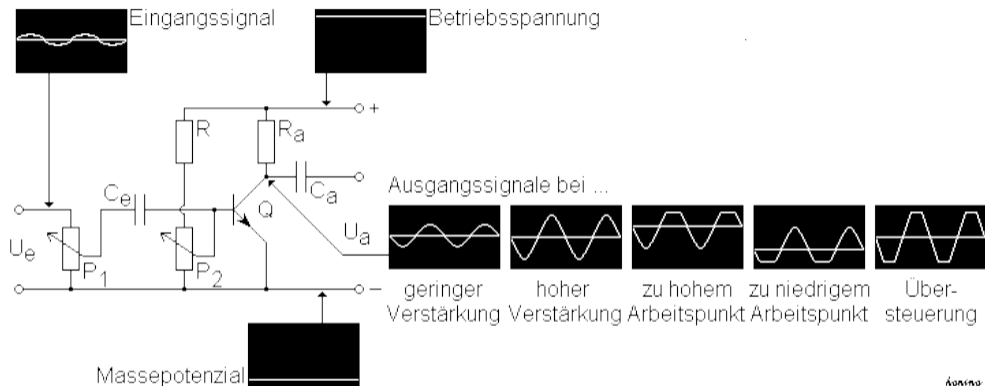
Transistor als Spannungsverstärker (von
BNetzA ⌘)



Andere Möglichkeit die Basisvorspannung
zu erzeugen (von BNetzA ⌘)

Basisvorspannung, warum eigentlich?

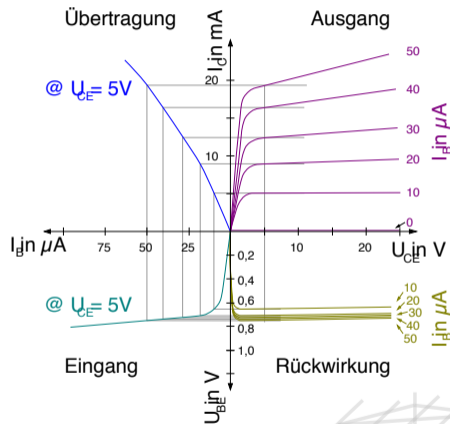
- Will man eine Wechsellspannung verstärken, muss man den Mittelpunkt des Signals in den Aussteuerbereich verschieben
- Da sonst die obere oder untere Halbwelle nicht originalgetreu wiedergegeben wird
- Dazu überlagert man die Wechsellspannung mit einer mittleren Gleichspannung
- Das Erzeugen der mittleren Gleichspannung nennt man einstellen des Arbeitspunktes oder der Basisvorspannung



Kornmu

Arbeitspunkt eines Transistorverstärkers (von Honina

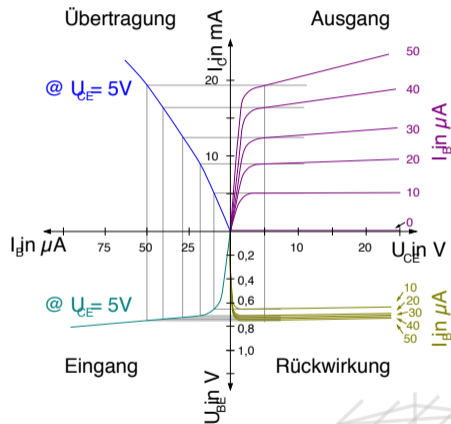
Einstellen des Arbeitspunktes



Kombiniertes Kennlinienfeld eines Transistors (von Biezl

- Will man den Arbeitspunkt eines Transistors mit einer Vorspannung einstellen, muss man zwei Spannungen dimensionieren
- Zum einen muss die Basisspannung eingestellt werden und zum anderen die Kollektorspannung
- Die Kollektorspannung bestimmen wir, indem wir einen Spannungsteiler über R_1 und dem Kollektor-Emitter-Widerstand R_{CE} (Lastwiderstand) berechnen

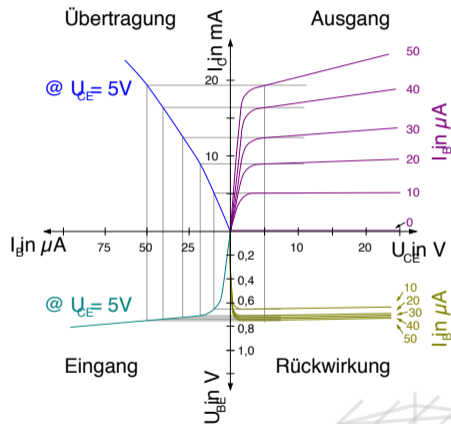
Einstellen des Arbeitspunktes



Kombiniertes Kennlinienfeld eines Transistors (von Biezl © © ©)

- Für eine symmetrische Aussteuerung nehmen wir an, dass sowohl über R_1 als auch über R_{CE} $\frac{V_{DD}}{2}$ anliegen
- Danach wählt man einen Kollektorstrom den der Transistor verkräften kann
- Dann berechnet man mittels Ohmschen Gesetz den Widerstand R_1

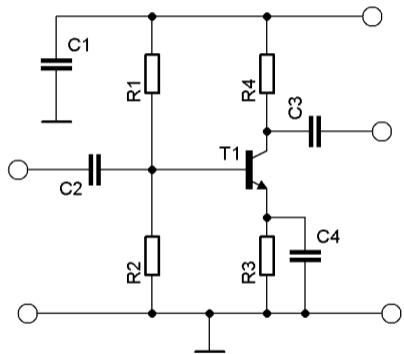
Einstellen des Arbeitspunktes



Kombiniertes Kennlinienfeld eines Transistors (von Biezl)

- Um die Basisvorspannung zu erzeugen, gibt es zwei Möglichkeiten:
 - mit einem Widerstand
 - mit einem Spannungsteiler (siehe Abbildung 17)

Arbeitspunktstabilisierung durch Stromgegenkopplung



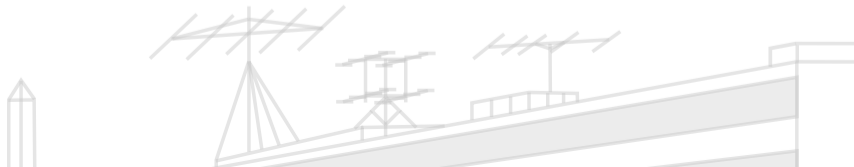
- Der Transistor ist nicht temperaturstabil, was zum Anstieg von I_B und damit I_C und I_E führt
- U_{R3} steigt und U_{BE} sinkt
- Bei kleinerer U_{BE} sinkt I_B und damit I_C und I_E
- Die Spannung U_{R3} wird wieder kleiner und U_{BE} wieder größer

Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA ⌘)

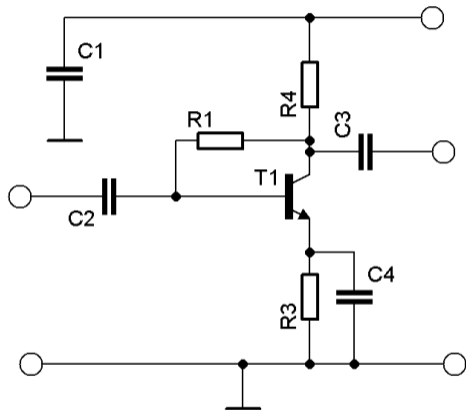
- Querstrom I_{quer} durch R_2 wird 3 bis 10 mal so groß wie der Basisstrom dimensioniert:

$$I_{quer} = 3...10 \cdot I_B$$

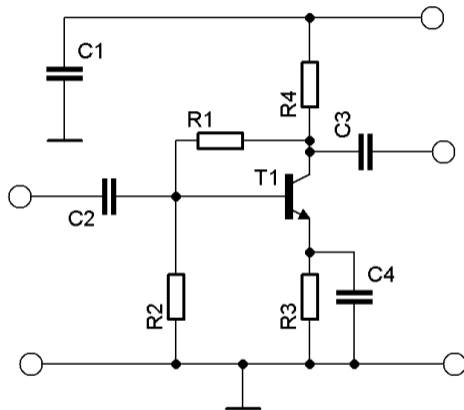
- Kondensator am Emitter überbrückt Wechselstromsignale
 - dadurch werden Verstärkungsverluste bei höheren Frequenzen aufgehoben
 - baut man am Emitter keinen Kondensator ein, fällt die Verstärkung des Transistors stark ab & liegt dann bei dem Verhältnis aus Kollektor- zu Emitterwiderstand



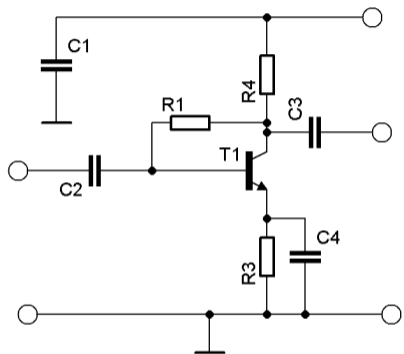
Arbeitspunktstabilisierung durch Spannungsgegenkopplung



Eine Möglichkeit zur
Spannungsgegenkopplung (von BNetzA ↗)



Eine andere Möglichkeit zur
Spannungsgegenkopplung (von BNetzA ↗)



- R_1 stabilisiert gegen thermischen Einfluss
- I_C steigt $\rightarrow U_{CE}$ sinkt $\rightarrow U_{BE}$ sinkt \rightarrow Transistor "sperrt" $\rightarrow I_C$ sinkt wieder

Transistor als
Spannungsverstärker (von BNetzA ↗)

Grundschaltungen des Transistors

	Emitterschaltung	Kollektorschaltung	Basisschaltung
r_e	mittel z.B. $1k\Omega$	klein z.B. 50Ω	groß z.B. $100k\Omega$
r_a	mittel z.B. $10k\Omega$	groß z.B. $100k\Omega$	klein z.B. 50Ω
v_i	groß z.B. 100	< 1 z.B. 0,9	groß z.B. 100
v_u	groß z.B. 100	groß z.B. 100	< 1 z.B. 0,99
v_p	sehr groß z.B. $1k\Omega$	groß z.B. 100	groß z.B. 100
φ_u	gegenphasig 180°	gleichphasig 0°	gleichphasig 0°

Transistorgrundschaltungen (von Frank Murmann)

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundschaltungen

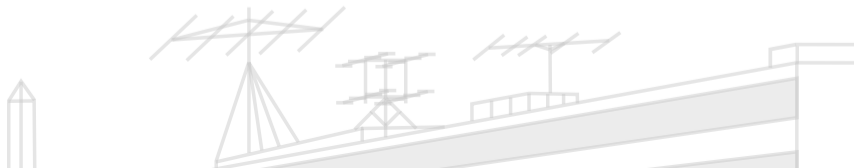
Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

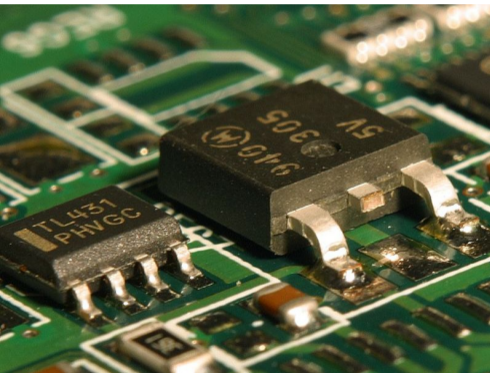
Fakultative Hausaufgabe

Prüfungsfragen TC618–TC625, TF321–TF324

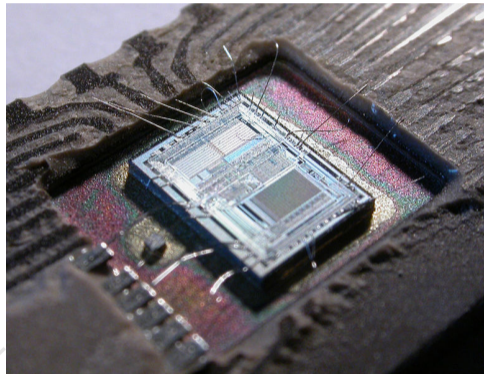


Integrierte Schaltung

Heutzutage komplexe Schaltungen auf einem Halbleiterkristall



Ic auf Platine (von Luestling [↗](#) [©](#) [®](#))



Offener IC Intel 8742 (von Ioan Sameli [↗](#) [©](#) [i](#) [®](#))

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundsaltungen

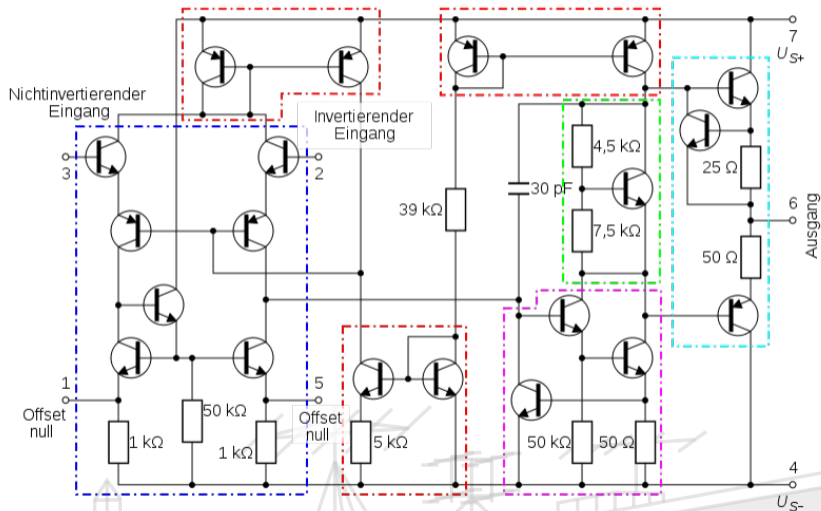
Integrierte
Schaltung

Operations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

Operationsverstärker



Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

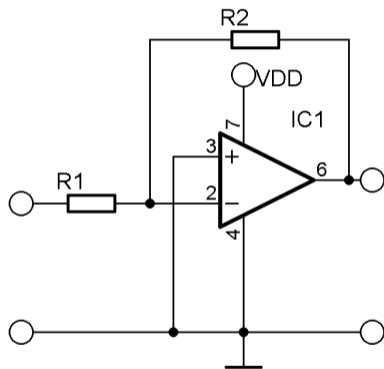
Grundschaltungen

Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

Invertierender Verstärker

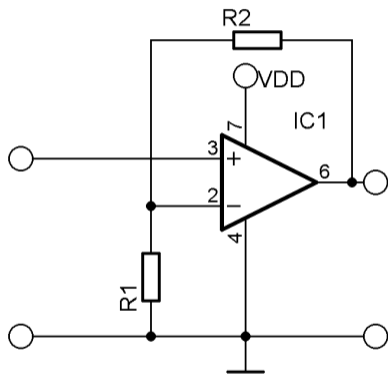


Invertierender Verstärker

$$v_u = -\frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

OPV als invertierender
Verstärker (von Quelle unbekannt ⚡)

Nicht-invertierender Verstärker



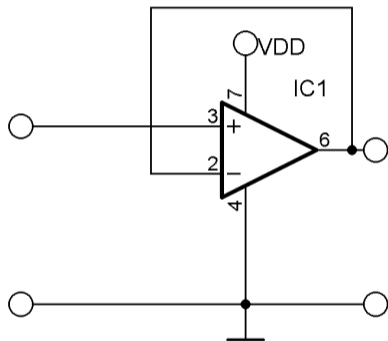
Nicht-invertierender Verstärker

$$v_u = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Wird häufig als Impedanzwandler eingesetzt

OPV als nichtinvertierender Verstärker (von Quelle unbekannt ⚡)

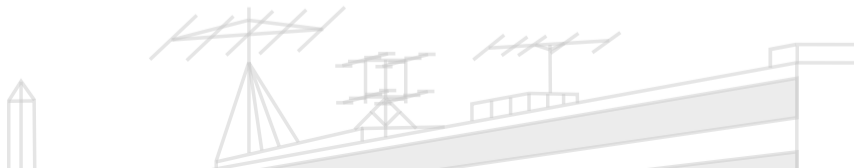
Impedanzwandler



- Besitzt sehr großen Eingangswiderstand und sehr kleinen Ausgangswiderstand
- Ist quasi ein nicht-invertierender Verstärker mit $R_2 = 0\Omega$ und $R_1 = \infty\Omega$

OPV als Impedanzwandler (von Quelle unbekannt ↗)

Fakultative Hausaufgabe
Prüfungsfragen TC711–TC717



Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundsaltungen

Integrierte
SchaltungOperations-
verstärker

Elektronenröhre

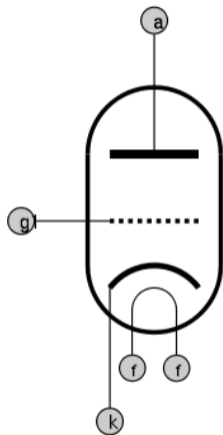
Referenzen



Verschiedene Elektronenröhren (von Stefan Riepl (Quark48) [↗](#) [©](#) [f](#) [d](#))

- Arbeiten mit hohen Spannungen und geringen Strömen
- Ist ein gepoltes Bauteil

Die Röhre



Symbol einer Triode

(von RokerHRO, geändert von Fgli ☞

© (cc)

- Heizung löst Elektronen aus Kathode
- Elektronen werden Richtung Anode beschleunigt
- Gitter verändert elektrisches Feld
- Gitterspannung steuert Anodenstrom



Strahltriode aus altem Fernseher (von Ulfbastel ☞ © (cc))

Referenzen/Links

[1] Moltrecht A 06:

<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a06/>

[2] Youtube Video "How Does a Transistor Work?":

<https://www.youtube.com/watch?v=IcrBqCFLHIY>

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Aufbau

FET

Bipolartransistor

Anwendungen

Transistor als Schalter

Verstärker

Basisvorspannung

Grundsaltungen

Integrierte
Schaltung

Operations-
verstärker

Elektronenröhre

Referenzen

