

Allgemeine Einbauhinweise und vorläufige Lötvorschriften für Halbleiter

Halbleiterbauelemente sind auf Grund ihrer Empfindlichkeit gegenüber thermischen Überlastungen sowohl bei ihrer Verwendung in Schaltungen als auch bei ihrem Einbau besonders schützend zu behandeln. Bei der Dimensionierung einer Schaltung kommt es darauf an, die Verlustleistung des Halbleiterbauelements unter Beachtung der Umgebungstemperaturen und der angegebenen Kühlbedingungen in den jeweils angegebenen Grenzen zu halten. Dadurch wird die maximale Sperrschichttemperatur nicht überschritten. Beim Einbau der Halbleiterbauelemente muß man darauf achten, daß durch die meist angewandte Löttechnik keine äußeren thermischen Einflüsse direkt oder indirekt zerstörend auf die Bauelemente einwirken können. Weiterhin müssen auch mechanische Beanspruchungen während des Einbaues und der Verwendung in Geräten, ebenso wie bei der Röhrentechnik, beachtet werden.

Mechanische und äußere thermische Überbeanspruchungen können dazu führen, daß neben direkten mechanischen Unterbrechungen der zum Kristall führenden Zuleitungen die hermetisch abgeschlossenen Halbleiterbauelemente undicht werden und somit äußere klimatische Einflüsse direkt oder in absehbarer Zeit auf die Oberfläche der Kristalle wirken können. Dadurch

werden oftmals die Bauelemente so beeinflusst, daß sie nicht mehr funktionstüchtig in ihren Kenndaten und in der Schaltung sind.

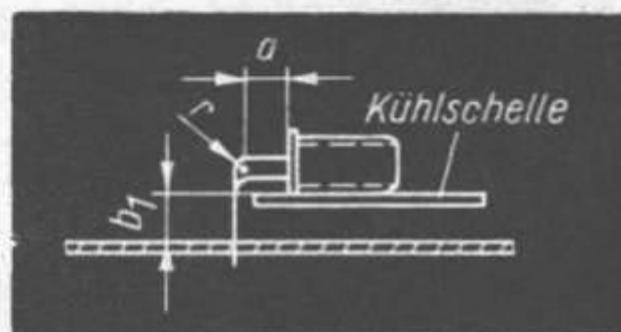
Die im folgenden beschriebenen Einbauhinweise und vorläufigen Lötvorschriften sollen dazu dienen, dem Verbraucher unserer Bauelemente einige Beispiele für die zweckmäßigste Behandlung zu geben. Bei Beachtung der allgemeinen Hinweise können daraus technologische Vorschriften für die Weiterentwicklung abgeleitet werden.

Außer bei Leistungsbauelementen werden für alle anderen Bauelemente Drahtlängen angegeben, die nur bei einwandfreier zusätzlicher Wärmeableitung bei Lötvorgängen noch weiter gekürzt werden dürfen, wobei darauf hingewiesen werden muß, daß nur bis zu dieser minimal angegebenen Drahtlänge eine Verzinnung der Anschlußdrähte von uns gewährleistet wird. Die Temperatur an der Glasdurchführung darf 100 Grad Celsius nicht übersteigen.

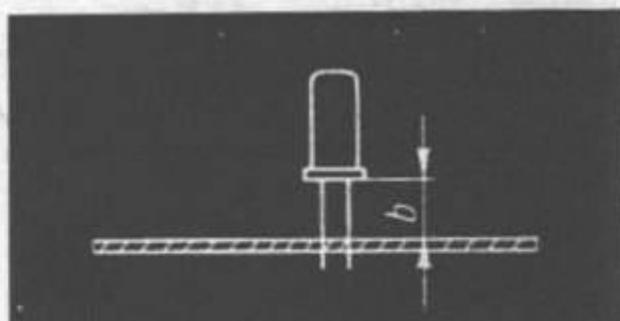
Wegen der meist vorkommenden Verwendung in Verbindung mit gedruckten Schaltungen beziehen sich die Anwendungsbeispiele auf solche. Bei andersartigem Einsatz sind die Bedingungen entsprechend einzuhalten, ohne daß durch die vorliegenden Beispiele die mannigfaltigen anderen Möglichkeiten eingeschränkt werden sollen.

Für alle Typen mit TO 18 – oder ähnlichem Gehäuse

a	3 mm
a + b ₁	6 mm
r	2,5 mm



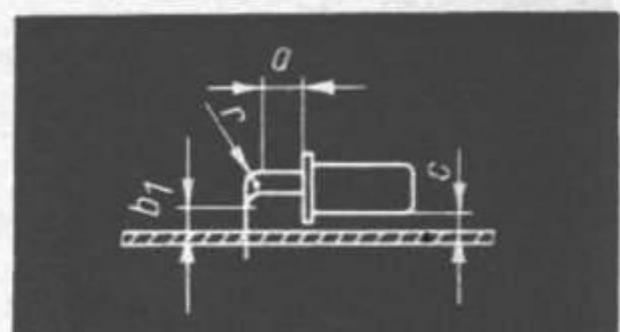
b 6 mm



a 3 mm

a + b₁ 6 mm

r 2,5 mm



Löttemperatur und -zeit bei Kolbenlötung oder Tauchlötung bis zu 250 °C für max 4 sec

Es bedeuten:

a = Mindestabstand einer Drahtbiegung von der Glasdurchführung

b = Mindestabstand der Lötstelle bei Lötvorgängen ohne zusätzliche Wärmeableitung

c = Abstand des Bauelementes von der Leiterplatte bei Tauchlötung

r = Biegeradius des Anschlußdrahtes (bis zu 120°) nach dem Mindestabstand **a**

d = Drahtdurchmesser

Einbau- und Lötvorschriften für Si-Transistoren im Plastikgehäuse

1. EINBAUHINWEISE:

1.1. Die in den Typenstandards der Transistoren im Plastikgehäuse festgelegten Grenzwerte wie Spannung, Strom, Temperatur des pn-Überganges, Verlustleistung sind einzuhalten und dürfen nicht überschritten werden. Zu beachten sind der Einfluß von Temperaturänderungen, Schwankungen der Spannung oder des Speisestromes und der Toleranzen der in der Schaltung verwendeten übrigen Bauelemente.

1.2. Die verwendete Schaltung muß solche Stabilitätseigenschaften aufweisen, daß der Grenzwert eines beliebigen Parameters des Transistors, der Grenzwert der Speisespannung und die Temperatur nicht einen Prozeß einleiten, der sich selbst verstärkt und zum Ausfall des Bauelementes führt.

1.3. Die Bauelemente müssen vor Überspannung geschützt werden, insbesondere beim Löten oder im Hochfrequenzfeld.

1.4. Die Einbaulage der Bauelemente ist beliebig.

1.5. Die Bauelemente sind in solche Schaltungen einzusetzen, bei denen die unter Punkt 4. formulierten Lötvorschriften definiert eingehalten werden.

2. BIEGEN DER ANSCHLÜSSE:

Eine Biegung der Anschlüsse darf nur zur Breitseite derselben erfolgen. Die Biegestellen müssen mindestens 1,5 mm vom Austrittspunkt der Anschlüsse aus dem Gehäuseboden entfernt sein.

Bei einem Biegeradius von mindestens 0,5 mm und einem Winkel von 90° sind höchstens zwei Biegungen zulässig, dabei dürfen am Austrittspunkt der Anschlüsse aus dem Gehäuse keine Biege-, Zug- oder Torsionsbeanspruchungen auftreten.

3. TORSION UND ZUG AN DEN ANSCHLÜSSEN:

Die Anschlüsse sind keiner Torsionsbeanspruchung auszusetzen. Eine permanente Zugbeanspruchung, außer durch die Kraft, die durch die Eigenmasse entsteht, ist nicht zulässig.

4. LÖTUNG:

4.1. Tauchlötung

Für die Lötung ist vorzugsweise ein Tauchlötverfahren oder eine Abart davon zu verwenden.

Es ist ein Mindestabstand zwischen Zinnspiegel und der unteren Gehäusebegrenzung von 2 mm einzuhalten. Die max Temperatur des Lötbades darf 250 °C nicht übersteigen. Die Lötzeit ist auf max 5 sec zu begrenzen. Es ist möglichst auf der dem Bauelement abgewandten Leiterplattenseite zu löten.

4.2. Kolbenlötung

Falls in Einzelfällen eine Kolbenlötung erforderlich ist, sind folgende Bedingungen unbedingt einzuhalten:

Es ist für ausreichende Wärmeableitungen von den Anschlüssen zu sorgen (z. B. Zange mit Kupferbacken).

Um eine elektrische Zerstörung der Bauelemente durch Fehlströme des LötKolbens zu verhindern, ist der LötKolben unbedingt zu erden. Folgende LötKolbentemperaturen und Lötzeiten sind Maximalwerte und dürfen in keinem Fall überschritten werden:

max Temperatur der Lötspitze
300 °C

max Lötzeit
5 s

Mindestabstand der Lötstelle vom Gehäuseboden 3 mm.

Alphabetisches Symbolverzeichnis

B b	Basis, Basisschaltung, Basis –	
B	Gleichstromverstärkung	
C c	Kollektor, Kollektorschaltung, Kollektor –	
c ₁₁	Kurzschlußeingangskapazität	2.3.1.
c ₁₂	Rückwirkungskapazität	2.3.3.
c ₂₂	Kurzschlußausgangskapazität	2.3.2.
θ_a (max)	Betriebstemperatur (maximal zulässige)	
θ_c	Gehäusetemperatur	
θ_j	maximal zulässige Sperrschichttemperatur	1.5.
E e	Emitter, Emitterschaltung, Emitter –	
f _{h21b}	Grenzfrequenz der Kurzschlußstromverstärkung in Basisschaltung	2.5.1.
f _{h21e}	Grenzfrequenz der Kurzschlußstromverstärkung in Emitterschaltung	2.5.1.
f ₁	f ₁ -Frequenz, bei der h _{21e} = 1 wird	2.5.4.
f _T	Übergangsfrequenz	2.5.2.
f	Meßfrequenz	
f _{y21}	Steilheitsgrenzfrequenz	2.5.3.
F	Rauschmaß, Rauschfaktor	5.1./5.2.
h _a	Ausgangsleitwert	3.2.2.
h ₁₁	Kurzschlußeingangswiderstand	2.1.2.
h ₁₂	Leerlaufspannungsrückwirkung	2.4.2.
h ₂₁	Kurzschlußstromverstärkung	2.4.1.
h ₂₂	Leerlaufausgangsleitwert	2.2.3.
I _{B max}	maximal zulässiger Basisstrom	1.2.3.
I _{CBO}	Kollektorreststrom bei stromlosem Emitteranschluß	1.2.4.
I _{CEO}	Kollektorreststrom in Emitterschaltung bei stromlosem Basisanschluß	1.2.5.
I _{CES}	Kollektorkurzschlußreststrom	1.2.6.
\hat{I}_c max	maximal zulässiger Kollektorspitzenstrom	1.4.1.
I _{C max}	maximal zulässiger Kollektorstrom	1.2.1.
I _{EBO}	Emitterreststrom bei stromlosem Kollektoranschluß	1.2.7.
I _{E max}	maximal zulässiger Emitterstrom	1.2.2.
k	Ausschaltfaktor	4.5.
P _{max}	maximal zulässige Verlustleistung	1.3.1.
P _{C max}	maximal zulässige Kollektorverlustleistung	1.3.2.

$P_{E \max}$	maximal zulässige Emitterverlustleistung	1.3.3.
$\widehat{P}_{V \max}$	maximal zulässige Spitzenverlustleistung	1.4.5.
$R_{CE \text{ sat}}$	Sättigungswiderstand	
R_{th}	Gesamtwärmewiderstand	6.3.
R_{the}	äußerer Wärmewiderstand	6.2.
R_{thi}	innerer Wärmewiderstand	6.1.
$T_a, t_a (\max)$	Betriebstemperatur (maximal zulässige)	
$t_{av \max}$	maximal zulässige Integrationszeit	1.6.
t_d	Verzögerungszeit	4.3.1.
T_j, t_j	maximal zulässige Sperrschichttemperatur	
t_f	Abfallzeit	4.3.4.
t_r	Anstiegszeit	4.3.2.
t_s	Speicherzeit	4.3.3.
τ_c	Kollektorzeitkonstante	4.1.4.
τ_i	Emitterschaltungszeitkonstante	4.1.4.
τ_r	Anstiegszeitkonstante	4.1.3.
τ_s	Speicherzeitkonstante	4.1.2.
$U_{B \dots \max}$	maximal zulässige Basisspannung	1.1.3.
$\widehat{U}_{B \dots \max}$	maximal zulässige Basisspitzenspannung	1.4.4.
$U_{C \dots \max}$	maximal zulässige Kollektorspannung	1.1.1.
$\widehat{U}_{C \dots \max}$	maximal zulässige Kollektorspitzenspannung	1.4.2.
$U_{CE \text{ sat}}$	Kollektorsättigungsspannung	4.2.1.
$U_{CE \text{ rest}}$	Kollektorrestspannung	4.2.2.
$U_{E \dots \max}$	maximal zulässige Emitterspannung	4.1.2.
$\widehat{U}_{E \dots \max}$	maximal zulässige Emitterspitzenspannung	1.4.3.
U_{pt}	Sperrschichtberührungsspannung	
V_i	Stromverstärkung	3.3.1.
V_p	Wirkleistungsverstärkung	3.3.3.
V_u	Spannungsverstärkung	3.3.2.
y_{11}	Kurzschlußeingangswert	2.2.2.
y_{12}	Kurzschlußübertragungsleitwert rückwärts	2.4.4.
y_{21}	Kurzschlußübertragungsleitwert vorwärts	2.4.3.
y_{22}	Kurzschlußausgangswert	2.2.4.

$\frac{1}{y_{22}}$	Kurzschlußausgangswiderstand	2.1.4.
y_a	Ausgangsleitwert	3.2.2.
y_e	Eingangsleitwert	3.2.1.
Z_{11}	Leerlaufeingangswiderstand	2.1.1.
$\frac{1}{Z_{11}}$	Leerlaufeingangsleitwert	2.2.1.
Z_{22}	Leerlaufausgangswiderstand	2.1.3.
Z_a	Ausgangswiderstand	3.1.2.
Z_e	Eingangswiderstand	3.1.1.

Ferner befinden sich im Katalog in den Meßbedingungen noch folgende Symbole:

$B \dots$	Gleichstromverstärkung bei bestimmtem Kollektorstrom
Δf	Bandbreite
I_B	Basisgleichstrom
I_C	Kollektorgleichstrom
U_{CB}	Kollektor-Basis-Spannung
U_{CE}	Kollektor-Emitter-Spannung
U_{EB}	Emitter-Basis-Spannung
f_{max}	maximale Schwingfrequenz $f_{max} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi \cdot \tau}}$
t_{on}	Einschaltzeit
t_{off}	Ausschaltzeit

Erläuterung der wichtigsten Kenndaten des Transistors

1. GRENZWERTE

1.1. Spannungen

1.1.1. maximal zulässige Kollektor-...-Spannung [U_{C...max}]

Die maximal zulässige Kollektorspannung ist die höchste dauernd zulässige Spannung zwischen Kollektor und einer anderen Elektrode, wobei der Kollektorübergang in Sperrrichtung gepolt ist.

1.1.2. maximal zulässige Emittier-...-Spannung [U_{E...max}]

Die maximal zulässige Emitterspannung ist die höchste dauernd zulässige Spannung zwischen Emittier und einer anderen Elektrode, wobei der Emittierübergang in Sperrrichtung gepolt ist.

1.1.3. maximal zulässige Basis-...-Spannung [U_{B...max}]

Die maximal zulässige Basisspannung ist die höchste dauernd zulässige Spannung zwischen Basis und einer anderen Elektrode in Sperrrichtung.

Anmerkung: Aus redaktionellen Gründen wurde im Katalog auf den zusätzlichen Index „max“ verzichtet. Die Angaben sind sinngemäß so zu verstehen. Dabei bedeuten als dritter Index:

0 = dritte Elektrode offen.

R = Widerstand zwischen der zuletzt und der nichtgenannten Elektrode

V = Vorspannung zwischen der zuletzt und der nichtgenannten Elektrode

S = Kurzschluß zwischen der zuletzt und der nichtgenannten Elektrode

1.2. Ströme

1.2.1. maximal zulässiger Kollektorstrom [I_{C max}]

Der maximal zulässige Kollektorstrom ist der höchste dauernd zulässige Kollektorgleichstrom.

1.2.2.

maximal zulässiger Emittierstrom [I_{E max}]

Der maximal zulässige Emittierstrom ist der höchste dauernd zulässige Emittiergleichstrom.

1.2.3. maximal zulässiger Basisstrom [I_{Bmax}]

Der maximal zulässige Basisstrom ist der höchste dauernd zulässige Basisgleichstrom.

1.2.4. Kollektorreststrom [I_{CBO}]

Der bei stromlosem Kollektoranschluß fließende Emittiersperrstrom.

1.2.5.

Kollektorreststrom in Emittierschaltung [I_{CEO}]

Der bei stromlosem Basisanschluß fließende Kollektorsperrstrom.

1.2.6. Kollektorkurzschlußreststrom [I_{CS}]

Der bei kurzgeschlossenen Emittier-Basis-Anschlüssen fließende Kollektorsperrstrom.

1.2.7. Emittierreststrom [I_{EBO}]

Der bei stromlosem Kollektoranschluß fließende Emittiersperrstrom.

1.3. Verlustleistungen

1.3.1. maximal zulässige Verlustleistung [P_{max}]

Die maximal zulässige Verlustleistung ist der höchste dauernd zulässige Wert der gesamten im Transistor in Wärme umgesetzten elektrischen Leistung bei definierten Bedingungen. Die Verlustleistung setzt sich aus Emittier- und Kollektorverlustleistung zusammen.

1.3.2. maximal zulässige Kollektorverlustleistung [P_{C max}]

Die maximal zulässige Kollektorverlustleistung ist die höchste dauernd zulässige Verlustleistung zwischen Kollektor- und Basisanschluß.

1.3.3. maximal zulässige Emittierverlustleistung [P_{E max}]

Die maximal zulässige Emittierverlustleistung ist die höchste dauernd zulässige Verlustleistung zwischen Emittier- und Basisanschluß.

1.4. Spitzenwerte

1.4.1. maximal zulässiger Kollektor- (Basis-,

Emitter-) Spitzenstrom $[\hat{I}_{C,B,E \max}]$

Der maximal zulässige Kollektorspitzenstrom ist der höchstzulässige Momentanwert des Kollektorstromes. Die Grenzwerte für den Emitter- und Basisstrom sind analog definiert.

1.4.2. maximal zulässige Kollektorspitzen- spannung $[\hat{U}_{C \dots \max}]$

Die maximal zulässige Kollektorspitzen-
spannung ist der höchstzulässige Momentanwert der Kollektorspannung.

1.4.3. maximal zulässige Emitterspitzen- spannung $[\hat{U}_{E \dots \max}]$

Die maximal zulässige Emitterspitzen-
spannung ist der höchstzulässige Momentanwert der Emitterspannung.

1.4.4. maximal zulässige Basisspitzen- spannung $[\hat{U}_{B \dots \max}]$

Die maximal zulässige Basisspitzen-
spannung ist der höchstzulässige Momentanwert der Basisspannung.

1.4.5. maximal zulässige Spitzenverlustlei- stung $[\hat{P}_V \max]$

Die maximal zulässige Spitzenverlustlei-
stung ist der höchstzulässige Momentanwert der gesamten im Transistor in Wärme umgesetzten elektrischen Leistung.

1.5. maximal zulässige Sperrschichttempe- ratur $[\theta_j]$

Die maximal zulässige Sperrschichttempe-
ratur ist die maximal zulässige Temperatur in derjenigen Sperrschicht, in der die größte Verlustleistung umgesetzt wird.

1.6. maximal zulässige Integrationszeit

$[\tau_{av \max}]$
Die maximal zulässige Integrationszeit ist diejenige maximale Zeit, über welche eine zeitabhängige elektrische Größe noch gemittelt werden darf.

2. KENNGROSSEN

2.1. Widerstände

2.1.1. Leerlaufeingangswiderstand $[z_{11}]$

Der Leerlaufeingangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors zwischen den Eingangsanschlüssen bei offenem Ausgang.

2.1.2. Kurzschlußeingangswiderstand $[h_{11}]$

Der Kurzschlußeingangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors zwischen den Eingangsanschlüssen bei kurzgeschlossenem Ausgang.

2.1.3. Leerlaufausgangswiderstand $[z_{22}]$

Der Leerlaufausgangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors zwischen den Ausgangsanschlüssen bei offenem Eingang.

2.1.4. Kurzschlußausgangswiderstand $\left[\frac{1}{y_{22}} \right]$

Der Kurzschlußausgangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors zwischen den Ausgangsanschlüssen bei kurzgeschlossenem Eingang.

2.2. Leitwerte

2.2.1. Leerlaufeingangsleitwert $\left[\frac{1}{z_{11}} \right]$

Der Leerlaufeingangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors zwischen den Eingangsanschlüssen bei offenem Ausgang.

2.2.2. Kurzschlußeingangsleitwert $[y_{11}]$

Der Kurzschlußeingangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors zwischen den Eingangsanschlüssen bei kurzgeschlossenem Ausgang.

2.2.3. Leerlaufausgangsleitwert $[h_{22}]$

Der Leerlaufausgangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors zwischen den Ausgangsanschlüssen bei offenem Eingang.

2.2.4. Kurzschlußausgangsleitwert [y22]

Der Kurzschlußausgangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors zwischen den Ausgangsanschlüssen bei kurzgeschlossenem Eingang.

2.3. Kapazitäten

2.3.1. Kurzschlußeingangskapazität [c11]

Die Kurzschlußeingangskapazität ist der durch die zugehörige Kreisfrequenz dividierte Imaginärteil des Kurzschlußeingangsleitwertes.

2.3.2. Kurzschlußausgangskapazität [c22]

Die Kurzschlußausgangskapazität ist der durch die zugehörige Kreisfrequenz dividierte Imaginärteil des Kurzschlußausgangsleitwertes.

2.3.3. Rückwirkungskapazität [c12]

Die Rückwirkungskapazität ist der durch die zugehörige Kreisfrequenz dividierte Imaginärteil des Kurzschlußübertragungsleitwertes rückwärts.

2.4. Übertragungsgrößen

2.4.1. Kurzschlußstromverstärkung [h21]

Die Kurzschlußstromverstärkung ist das Verhältnis des Ausgangsstromes zum Eingangsstrom bei kurzgeschlossenem Ausgang.

2.4.2. Leerlaufspannungsrückwirkung [h12]

Die Leerlaufspannungsrückwirkung ist das Verhältnis der an den Eingangsanschlüssen auftretenden Spannung zu der an die Ausgangsanschlüsse angelegten Spannung bei offenem Eingang.

2.4.3. Kurzschlußübertragungsleitwert vorwärts [y21]

Der Kurzschlußübertragungsleitwert vorwärts, oft als Steilheit bezeichnet, ist das

Verhältnis des Ausgangsstromes zu der an die Eingangsanschlüsse angelegten Spannung bei kurzgeschlossenem Ausgang.

2.4.4. Kurzschlußübertragungsleitwert rückwärts [y12]

Der Kurzschlußübertragungsleitwert rückwärts, oft als Rückwirkungsleitwert bezeichnet, ist das Verhältnis des Ausgangsstromes zu der an die Ausgangsanschlüsse angelegten Spannung bei kurzgeschlossenem Eingang.

2.5. Frequenzen

2.5.1. Grenzfrequenz [f_{h1}]

Die Grenzfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der der Betrag der Kurzschlußstromverstärkung auf das $\frac{1}{\sqrt{2}}$ fache gegenüber dem frequenzunabhängigen Betrag bei niedrigen Frequenzen abgesunken ist.

2.5.2. Übergangsfrequenz [f_r]

Die Übergangsfrequenz ist diejenige Frequenz, die sich rechnerisch als Produkt von Meßfrequenzen und dem Betrag der gemessenen Kurzschlußstromverstärkung in Emitterschaltung ergibt, wobei die Messung in dem Frequenzgebiet erfolgen muß, wo der Abfall der Kurzschlußstromverstärkung 6 dB/Oktave beträgt.

2.5.3. Steilheitsgrenzfrequenz [f_{y21}]

Die Steilheitsgrenzfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der der Betrag des Kurzschlußübertragungsleitwertes vorwärts auf das $\frac{1}{\sqrt{2}}$ fache gegenüber dem frequenzunabhängigen Betrag abgesunken ist.

2.5.4. f₁-Frequenz [f₁]

Die f₁-Frequenz ist diejenige Frequenz, bei welcher der Betrag der Kurzschlußstromverstärkung in Emitterschaltung den Wert 1 besitzt.

3. BETRIEBSGRÖSSEN

3.1. Widerstände

3.1.1. Eingangswiderstand [z_e]

Der Eingangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors an den Eingangsanschlüssen. Er ist abhängig von dem Abschlußwiderstand an den Ausgangsanschlüssen.

3.1.2. Ausgangswiderstand [z_a]

Der Ausgangswiderstand ist der Scheinwiderstand des Transistors an den Ausgangsanschlüssen. Er ist abhängig von dem Anschlußwiderstand an den Eingangsanschlüssen.

3.2. Leitwerte

3.2.1. Eingangsleitwert [y_e]

Der Eingangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors an den Eingangsanschlüssen. Er ist abhängig von dem Abschlußwiderstand an den Ausgangsanschlüssen.

3.2.2. Ausgangsleitwert [y_a]

Der Ausgangsleitwert ist der Scheinleitwert des Transistors an den Ausgangsanschlüssen. Er ist abhängig von dem Abschlußwiderstand an den Eingangsanschlüssen.

3.3. Übertragungsgrößen

3.3.1. Stromverstärkung [V_i]

Die Stromverstärkung ist das Verhältnis des Ausgangsstromes zum Eingangsstrom.

3.3.2. Spannungsverstärkung [V_u]

Die Spannungsverstärkung ist das Verhältnis der Ausgangsspannung zu der an den Eingangsanschlüssen liegenden Spannung.

3.3.3. Wirkleistungsverstärkung [V_p]

Die Wirkleistungsverstärkung ist das Verhältnis der an den Abschlußwiderstand abzugebenden Wirkleistung zu einer Bezugswirkleistung. Diese Bezugswirkleistung kann entweder die verfügbare, vom Generator gelieferte Wirkleistung oder die vom Vierpoleingang aufgenommene Wirkleistung sein. Im letzten Falle hängt die Wirkleistungsverstärkung nur vom Abschlußwiderstand, im ersteren Falle noch vom Generatorwiderstand ab.

4. CHARAKTERISTISCHE GRÖSSEN FÜR IMPULS- UND SCHALTBETRIEB

4.1. Zeitkonstanten für Stromsteuerung im Impulsbetrieb

Es gibt keine von der Aussteuerung unabhängige charakteristische Größen. Bei konstanter Aussteuerung und Stromsteuerung ergibt aber die Betrachtung der im Transistor gegenüber dem thermischen Gleichgewicht bei Injektion auftretenden zusätzlichen Ladungen die Möglichkeit, relativ schaltungsunabhängige Größen festzulegen. Bei ihrer Angabe müssen die Aussteuerungsgrenzen festgelegt werden.

4.1.1. Kollektorzeitkonstante [τ_c]

Die Kollektorzeitkonstante ist der Quotient aus der über den Emitterübergang injizierten Ladung und dem mit dieser Injektion verknüpften Kollektorstrom bei Vernachlässigung der im Emitterübergang und im Kollektorübergang gespeicherten Ladung, wobei die Kollektor-Basisspannung konstant ist.

4.1.2. Speicherzeitkonstante [τ_s]

Die Speicherzeitkonstante ist der Quotient aus der Überschubbasisladung und dem Überschubbasisstrom. Dabei stellt den Überschubbasisstrom die Differenz zwi-

schen fließendem Basisstrom und dem Basisstrom dar, der den vorgegebenen Kollektorstrom an der Sättigungsgrenze ergibt, wobei die Spannung am Kollektorübergang gleich null ist.

4.1.3. Anstiegszeitkonstante $[t_r]$

Die Anstiegszeitkonstante ergibt sich als Summe aus der Kollektorzeitkonstante und dem Quotienten aus der in der Kollektorsperrschichtkapazität gespeicherten Ladung und dem Kollektorstrom.

4.1.4. Emitterschaltungszeitkonstante $[t_i]$

Die Emitterschaltungszeitkonstante ist das Produkt aus Anstiegszeitkonstante und Gleichstromverstärkung in Emitterschaltung.

4.2. Spannungen

4.2.1. Kollektorsättigungsspannung $[U_{CEsat}]$

Kollektorsättigungsspannung ist die Spannung zwischen Kollektor und Emitter eines Transistors, wenn ein konstanter Basisstrom I_B eingespeist und der Kollektorstrom durch die äußere Schaltung auf einen festen Wert $I_C = \beta_N \times I_B$ unter Vernachlässigung des Reststromes begrenzt wird, wobei β_N die Gleichstromverstärkung in Emitterschaltung darstellt.

4.2.2. Kollektorrestspannung $[U_{CErest}]$

Die Kollektorrestspannung ist die Kollektor-Emitter-Spannung bei bestimmtem Emitter- oder Kollektorstrom, wo Kollektor- und Basisanschluß gleiches Potential besitzen, d. h., Kollektor-Basis-Spannung gleich null.

4.3. Charakteristische Zeiten im Impulsbetrieb

Bei ihrer Angabe müssen die Schaltungen und die Aussteuergrenzen festgelegt werden. Normalerweise liegt die Emitterschaltung zugrunde. Definitionsgemäß erfolgt die Aussteuerung durch ideale Rechteckimpulse.

4.3.1. Verzögerungszeit $[t_{ad}]$

Die Verzögerungszeit ist die Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Eingangsimpulseinschaltflanke und dem Zeitpunkt, wo 10 % des Ausgangsdachwertes erreicht werden.

4.3.2. Anstiegszeit $[t_r]$

Die Anstiegszeit ist die Differenz zwischen den Zeitpunkten, wo die Ausgangsimpulsamplitude 10 % und 90 % des Dachwertes erreicht.

4.3.3. Speicherzeit $[t_s]$

Die Speicherzeit ist die Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Eingangsimpulsabschaltflanke und dem Zeitpunkt, wo bei Ausgangsimpulsamplitude auf den Wert von 90 % des Bauelementes monoton absinkt.

4.3.4. Abfallzeit $[t_f]$

Die Abfallzeit ist die Differenz zwischen den Zeitpunkten, wo die Ausgangsimpulsamplitude letztmalig 90 % und danach 10 % des Dachwertes erreicht.

4.4. Übersteuerungsfaktor $[U]$

Der Übersteuerungsfaktor ist der Quotient aus dem mit der Gleichstromverstärkung multiplizierten Basiseinschaltstrom und dem durch die Schaltung begrenzten Kollektorstrom, wobei die Gleichstromverstärkung an die Sättigungsgrenze, bei der die Spannung über dem Kollektorübergang gleich null ist und dem zum Basiseinschaltstrom gehörenden Kollektorstrom ermittelt werden muß.

4.5. Ausschaltfaktor $[k]$

Der Ausschaltfaktor ist der Quotient aus dem mit der Gleichstromverstärkung multiplizierten Basisausschaltstrom und dem maximalen Kollektorstrom. Die Gleichstromverstärkung ist wie bei dem Über-

steuerungsfaktor definiert, der Basisauschaltstrom fließt bis zur Sperrung des Überganges entgegengesetzt zur Richtung im aktiven Bereich.

5. RAUSCHEN

5.1. Rauschfaktor [F]

Der Rauschfaktor ist das Verhältnis der im Abschlußwiderstand an den Ausgangsanschlüssen auftretenden Rauschleistung zu derjenigen Rauschleistung, die allein durch das thermische Rauschen des Innenwiderstandes der an die Eingangsanschlüsse angeschlossenen Signalquelle bei gleichem aber rauschfreiem Transistor-Vierpol im Abschlußwiderstand auftreten würde. Der Rauschfaktor stellt das am Eingang des Vierpols notwendige Signal zum Rauschverhältnis dar, wenn dieses am Ausgang gleich 1 sein soll und ist identisch mit der oft gebräuchlichen kT_0 -Zahl.

5.2. Rauschmaß [F]

Das Rauschmaß ist das Zehnfache des dekadischen Logarithmus des Rauschfaktors. Die Angabe erfolgt in dB.

6. THERMISCHE GRÖSSEN

6.1. Innerer Wärmewiderstand [R_{thi}]

Der innere Wärmewiderstand ist der Quotient aus der Differenz zwischen Sperrschicht- und Gehäusetemperatur und der im Transistor umgesetzten Verlustleistung.

6.2. Äußerer Wärmewiderstand [R_{the}]

Der äußere Wärmewiderstand ist der Quotient aus der Differenz zwischen Gehäuse- und Umgebungstemperatur und der im Transistor umgesetzten Verlustleistung. Er wird durch die Kühlungsart bestimmt.

6.3. Gesamtwärmewiderstand [R_{th}]

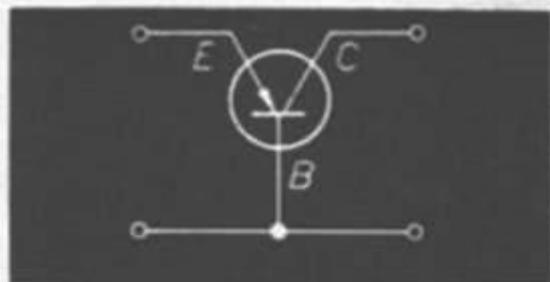
Der Gesamtwärmewiderstand ist die Summe von innerem und äußerem Wärmewiderstand.

Grundsaltungsarten und Berechnungsgrundlagen

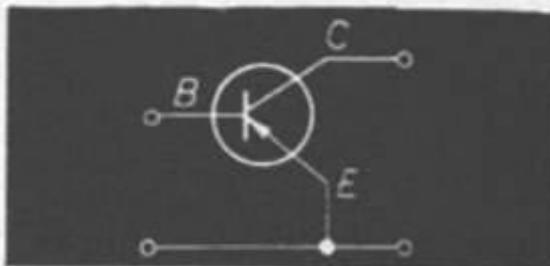
1. DIE GRUNDSCHALTUNGSARTEN

1.1. Transistoren werden im allgemeinen in folgenden drei Grundsaltungen betrieben

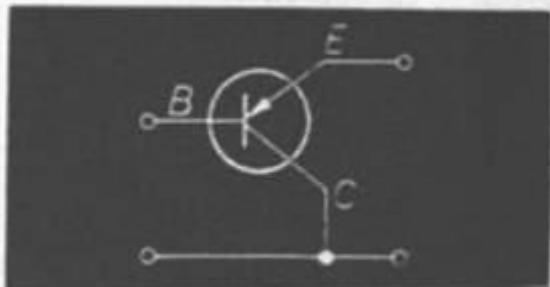
1.1.1. Basisschaltung



1.1.2. Emitterschaltung



1.1.3. Kollektorschaltung



1.2. Die drei Grundsaltungen haben folgende Eigenschaften

	Emitter- schaltung	Basis- schaltung	Kollektor- schaltung
Z_e Eingangswiderstand	mittel	klein	groß
Z_a Ausgangswiderstand	mittel	groß	klein
h_{21} Stromverstärkung	groß	kleiner 1	groß
f_{h21} Grenzfrequenz der Stromverstärkung	niedrig	hoch	niedrig

2. DER TRANSISTORVIERPOL

Vierpolparameter

Zur Kennzeichnung des dynamischen Verhaltens für einen bestimmten Arbeitspunkt wird der Transistor bei kleinen Aussteuerungen um den Arbeitspunkt als aktiver linearer Vierpol aufgefaßt und durch Vierpolparameter beschrieben.

In den drei Grundschaltungen besitzen die Vierpolparameter unterschiedliche Werte, deren Kenntnis zur Beurteilung der Einsatzmöglichkeit eines Transistors in einer bestimmten Schaltung erforderlich ist.

Bei niedrigen Frequenzen werden meistens die reellen Vierpolkoeffizienten, die h-Parameter, verwendet. Für die Hochfrequenztransistoren sind vor allem die Leitwertparameter, auch Y-Parameter genannt, gebräuchlich.

2.1. Die h-Parameter

Für alle drei Grundschaltungen gilt folgendes Ersatzschaltbild

Bei kleinen Strom- und Spannungsänderungen um einen festen Arbeitspunkt erhält man nach diesem Vierpolersatzschaltbild das Gleichungssystem

$$u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2$$

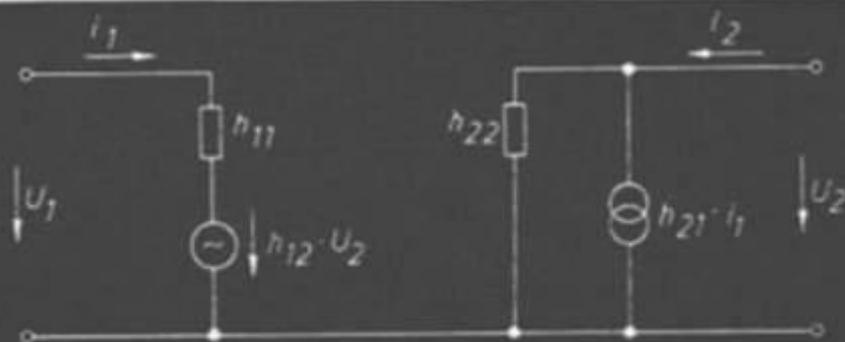
Die Bedeutung der Vierpolparameter:

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \quad \text{Eingangswiderstand, Ausgang kurzgeschlossen} \quad u_2 = 0$$

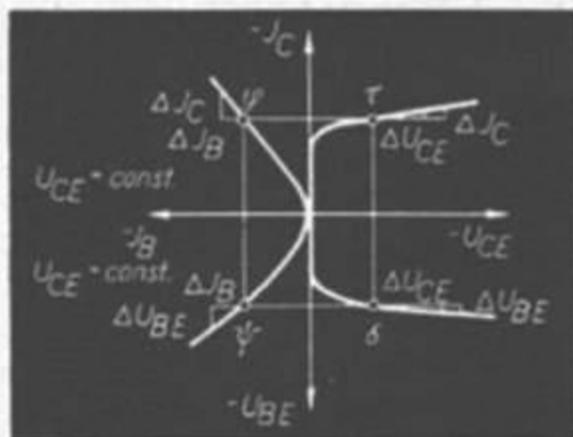
$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{Spannungsrückwirkung, Eingang offen} \quad i_1 = 0$$

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{Stromverstärkungsfaktor, Ausgang kurzgeschlossen} \quad u_2 = 0$$

$$h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \quad \text{Ausgangsleitwert, Eingang offen} \quad i_1 = 0$$



Diese Parameter können aus dem Kennlinienfeld als Neigung der Kennlinien in einem festen Arbeitspunkt entnommen werden.



$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \triangleq \tan \psi; \quad h_{12e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \triangleq \tan \delta$$

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \triangleq \tan \varphi; \quad h_{22e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \triangleq \tan \tau$$

Die Umrechnung der h-Parameter von einer Grundschaltung in die andere kann an Hand der folgenden Formeln vorgenommen werden:

2.1.1. Berechnung der h-Parameter für Emitter- und Kollektorschaltung aus den Werten der Basisschaltung.

Es ist

$$h_{11e} = \frac{h_{11b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{h_{11b}}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{12e} = \frac{\Delta h_b - h_{12b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{\Delta h_b - h_{12b}}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{21e} = \frac{-h_{21b} - h_b}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{-h_{21b}}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{22e} = \frac{h_{22b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{h_{22b}}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{11c} = \frac{h_{11b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{h_{11b}}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{12c} = \frac{1 + h_{21b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} - \Delta h_b} \approx 1$$

$$h_{21c} = \frac{h_{12b} - 1}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{-1}{1 + h_{21b}}$$

$$h_{22c} = \frac{h_{22b}}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \approx \frac{h_{22b}}{1 + h_{21b}}$$

mit $\Delta h_b = h_{11b} \cdot h_{22b} - h_{12b} \cdot h_{21b}$

2.1.2. Berechnung der h-Parameter für Basis- und Kollektorschaltung aus den Werten der Emitterschaltung.

Es ist

$$h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1 + h_{21e} - h_{12e} + \Delta h_e} \approx \frac{h_{11e}}{1 + h_{21e}}$$

$$h_{12b} = \frac{\Delta h_e - h_{12e}}{1 + h_{21e} - h_{12e} + \Delta h_e} \approx \frac{\Delta h_e - h_{12e}}{1 + h_{21e}}$$

$$h_{21b} = \frac{-h_{21e} - \Delta h_e}{1 + h_{21e} - h_{12e} + \Delta h_e} \approx \frac{-h_{21e}}{1 + h_{21e}}$$

$$h_{22b} = \frac{h_{22e}}{1 + h_{21e} - h_{12e} + \Delta h_e} \approx \frac{h_{22e}}{1 + h_{21e}}$$

$$h_{11c} = h_{11e}; \quad h_{12c} = 1 - h_{12e} \approx 1$$

$$h_{21c} = -(1 + h_{21e}); \quad h_{22c} = h_{22e}$$

mit $\Delta h_e = h_{11e} \cdot h_{22e} - h_{12e} \cdot h_{21e}$

2.1.3. Berechnung der h-Parameter für Basis- und Emitterschaltung aus den Werten der Kollektorschaltung.

Es ist

$$h_{11b} = \frac{h_{11c}}{\Delta h_c}; \quad h_{12b} = \frac{h_{21c} + \Delta h_c}{\Delta h_c}$$

$$h_{11e} = h_{11c}; \quad h_{12e} = 1 - h_{12c}$$

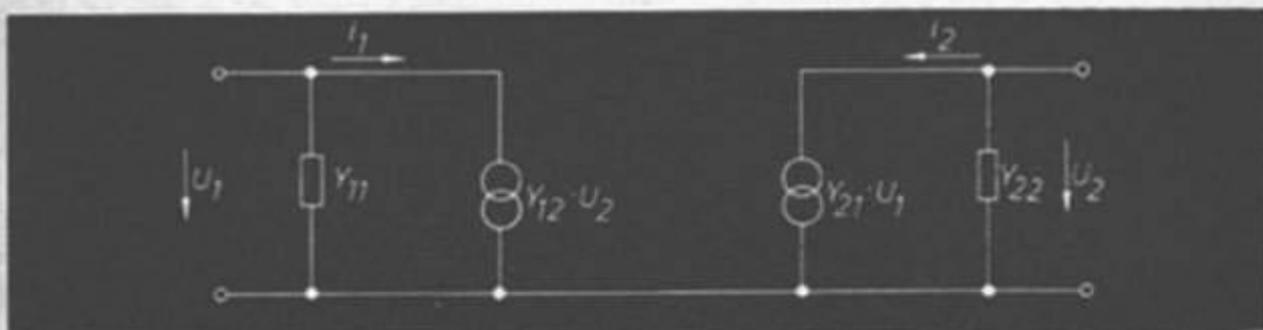
$$h_{21e} = -(1 + h_{21c}); \quad h_{22e} = h_{22c}$$

$$h_{21b} = \frac{h_{12c} - \Delta h_c}{\Delta h_c}; \quad h_{22b} = \frac{h_{22c}}{\Delta h_c}$$

mit $\Delta h_c = h_{11c} \cdot h_{22c} - h_{12c} \cdot h_{21c}$

2.2. Die Y-Parameter

Für alle drei Grundschaltungsarten gilt hier folgendes Ersatzschaltbild



Unter Zugrundelegung obigen Vierpols ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

$$i_1 = Y_{11} u_1 + Y_{12} u_2$$

$$i_2 = Y_{21} u_1 + Y_{22} u_2$$

Die Bedeutung der Vierpolparameter:

Y_{11} = Eingangsleitwert – Ausgang kurzgeschlossen $u_2 = 0$

Y_{12} = Rückwirkleitwert – Eingang kurzgeschlossen $u_1 = 0$

Y_{21} = Steilheit – Ausgang kurzgeschlossen $u_2 = 0$

Y_{22} = Ausgangsleitwert – Eingang kurzgeschlossen $u_1 = 0$

$$Y_{11} = \frac{i_1}{u_1} = g_{11} + jb_{11}; \quad b_{11} \leftrightarrow c_{11}$$

$$Y_{12} = \frac{i_1}{u_2} = g_{12} + jb_{12}; \quad b_{12} \leftrightarrow c_{12}$$

$$Y_{21} = \frac{i_2}{u_1} = g_{21} + jb_{21} = |Y_{21}| \cdot e^{j\varphi}; \quad b_{21} \leftrightarrow c_{21}$$

$$Y_{22} = \frac{i_2}{u_2} = g_{22} + jb_{22}; \quad b_{22} \leftrightarrow c_{22}$$

Die Umrechnung der Y-Parameter von einer Grundschaltung in die andere kann an Hand der folgenden Formeln vorgenommen werden:

2.2.1. Berechnung der Y-Parameter der Basisschaltung aus denen der Emitterschaltung

$$Y_{11b} = Y_{11e} + Y_{12e} \pm Y_{21e} + Y_{22e} \quad Y_{21b} = -(Y_{21e} + Y_{22e})$$

$$Y_{12b} = -(Y_{12e} + Y_{22e}) \quad Y_{22b} = Y_{22e}$$

2.2.2. Berechnung der Y-Parameter der Emitterschaltung aus denen der Basisschaltung

$$Y_{11e} = Y_{11b} + Y_{12b} + Y_{21b} + Y_{22b}$$

$$Y_{12e} = - (Y_{12b} + Y_{22b})$$

$$Y_{21e} = - (Y_{21b} + Y_{22b})$$

$$Y_{22e} = Y_{22b}$$

2.3. Zusammenhang zwischen h- und Y-Parameter

$$h_{11} = \frac{1}{Y_{11}}$$

$$h_{12} = \frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$$

$$h_{21} = \frac{Y_{21}}{Y_{11}}$$

$$h_{22} = \frac{\Delta Y}{Y_{11}}$$

$$\Delta h = \frac{Y_{22}}{Y_{11}}$$

$$\Delta Y = Y_{11} \cdot Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21}$$

$$Y_{11} = \frac{1}{h_{11}}$$

$$Y_{12} = \frac{-h_{12}}{h_{11}}$$

$$Y_{21} = \frac{h_{21}}{h_{11}}$$

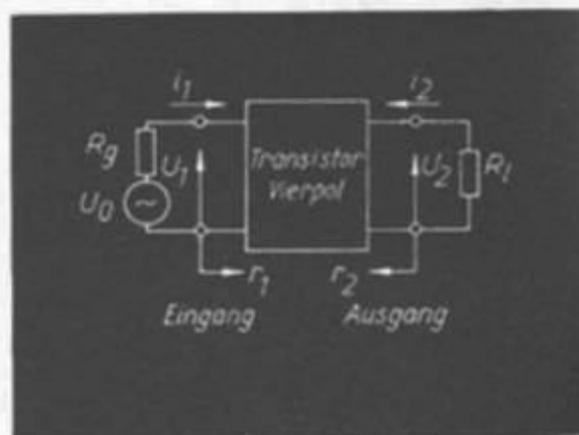
$$Y_{22} = \frac{\Delta h}{h_{11}}$$

$$\Delta Y = \frac{h_{22}}{h_{11}}$$

$$\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$$

2.4. Betriebsgrößen

In der Schaltung ist der Transistorvierpol am Eingang durch eine Spannungsquelle mit U_0 und R_g und am Ausgang mit einem Lastwiderstand R_L abgeschlossen. Damit ergeben sich einige für die Schaltungsberechnung wichtige Betriebsgrößen.



Transistorvierpol mit eingangsseitiger Spannungsquelle und ausgangsseitigem Lastwiderstand.

Die im folgenden angegebenen Formeln gelten für alle drei Grundschaltungen, wenn die entsprechenden Vierpolparameter eingesetzt werden.

2.1.4. Betriebsgrößen bei Verwendung der h-Parameter

2.4.1.1. Stromverstärkung

$$V_I = \frac{i_2}{i_1} + \frac{h_{21}}{1 + h_{22} \cdot R_L}$$

2.4.1.2. Spannungsverstärkung

$$V_U = \frac{u_2}{u_1} + \frac{-h_{21} \cdot R_L}{h_{11} + R_L \cdot \Delta h}$$

mit

$$\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$$

2.4.1.3. Eingangswiderstand

$$Z_e = \frac{u_1}{i_1} = \frac{h_{11} + R_L \cdot \Delta h}{1 + R_L \cdot h_{22}}$$

2.4.1.4. Ausgangswiderstand

$$Z_a = \frac{u_2}{i_2} = \frac{h_{11} + R_g}{\Delta h + R_g \cdot h_{22}}$$

2.4.1.5. Leistungsverstärkung

$$V_P = \frac{h_{21}^2 \cdot R_L}{(1 + h_{22} \cdot R_L) (h_{11} + R_L \cdot \Delta h)}$$

Das Verhältnis aus der im Lastwiderstand verbrauchten Leistung zur maximal verfügbaren Leistung der Spannungsquelle u_o wird als maximal erreichbare Leistungsverstärkung bei beliebigem Lastwiderstand bezeichnet.

Im Lastwiderstand wird eine Leistung

$$P = (i_2^2 \cdot R_L)$$

verbraucht, die Spannungsquelle liefert maximal:

$$P_o = \frac{u_o^2}{4 \cdot R_g}$$

Damit wird

$$V_{P_{\max}} = \frac{P}{P_o} = \frac{i_2^2 \cdot R_L \cdot 4 R_g}{u_o^2} = 4 R_g \cdot R_L \left(\frac{i_2}{u_o} \right)^2$$

$$V_{P_{\max}} = \frac{4 \cdot R_L \cdot R_g \cdot h_{21}^2}{[h_{11} + R_L \cdot \Delta h + R_g (1 + h_{22} \cdot R_L)]^2}$$

Bei angepaßtem Eingang bzw. Ausgang, d. h. bei

$R_g = Z_e$ bzw. $R_L = Z_a$ wird

$$V_{P1} = \frac{h_{21}^2 \cdot R_L}{(1 + R_L \cdot h_{22}) (h_{11} + R_L \cdot \Delta h)}$$

$$V_{P2} = \frac{h_{21}^2 \cdot R_g}{(h_{11} + R_g) (\Delta h + h_{22} \cdot R_g)}$$

Ist $Z_e = R_g$ und $Z_a = R_L$, spricht man von optimaler Anpassung

$$Z_e = R_g = \frac{h_{11} + R_L \cdot \Delta h}{1 + R_L \cdot h_{22}}$$

$$Z_a = R_L = \frac{h_{11} + R_g}{\Delta h + R_g \cdot h_{22}}$$

$$R_{g \text{ opt}} = \sqrt{\frac{h_{11} \cdot \Delta h}{h_{22}}} \quad R_{L \text{ opt}} = \sqrt{\frac{h_{11}}{h_{22} \cdot \Delta h}}$$

Es ist dabei:

$$R_{g \text{ opt}} \cdot R_{L \text{ opt}} = \frac{h_{11}}{h_{22}}$$

Mit den Werten für die optimale Anpassung ergibt sich die optimale Leistungsverstärkung

$$V_{p \text{ opt}} = \left(\frac{h_{21}}{\sqrt{\Delta h} + \sqrt{h_{11} \cdot h_{22}}} \right)^2$$

2.4.2. Betriebsgrößen bei Verwendung der Y-Parameter

2.4.2.1. Stromverstärkung

$$V_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{Y_{21}}{Y_{11} + \Delta Y \cdot R_L}$$

2.4.2.2. Spannungsverstärkung

$$V_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-Y_{21} \cdot R_L}{1 + Y_{22} \cdot R_L}$$

2.4.2.3. Eingangswiderstand

$$Z_e = \frac{u_1}{i_1} = \frac{1 + Y_{22} \cdot R_L}{Y_{11} + \Delta Y \cdot R_L}$$

2.4.2.4. Ausgangswiderstand

$$Z_a = \frac{u_2}{i_2} = \frac{1 + Y_{11} \cdot R_g}{Y_{22} + \Delta Y \cdot R_g}$$

2.4.2.5. Leistungsverstärkung

$$V_p = V_u \cdot V_i = \frac{|Y_{21}|^2 \cdot R_L}{(1 + Y_{22} \cdot R_L) (Y_{11} + \Delta Y \cdot R_L)}$$

2.4.2.6. Maximale Leistungsverstärkung

$$V_{p \max} = \frac{4 |Y_{21}|^2 \cdot R_g \cdot R_L}{[(Y_{11} + \Delta Y \cdot R_L) \cdot R_g + 1 + Y_{22} \cdot R_L]^2}$$

2.4.2.7. Optimale Leistungsverstärkung

$$V_{p \text{ opt}} = \left(\frac{Y_{21}}{\sqrt{\Delta Y} + \sqrt{Y_{11} \cdot Y_{22}}} \right)^2$$

dabei sind

$$R_{g \text{ opt}} = \sqrt{\frac{Y_{22}}{Y_{11} \cdot \Delta Y}} \quad R_{L \text{ opt}} = \sqrt{\frac{Y_{11}}{Y_{22} \cdot \Delta Y}}$$