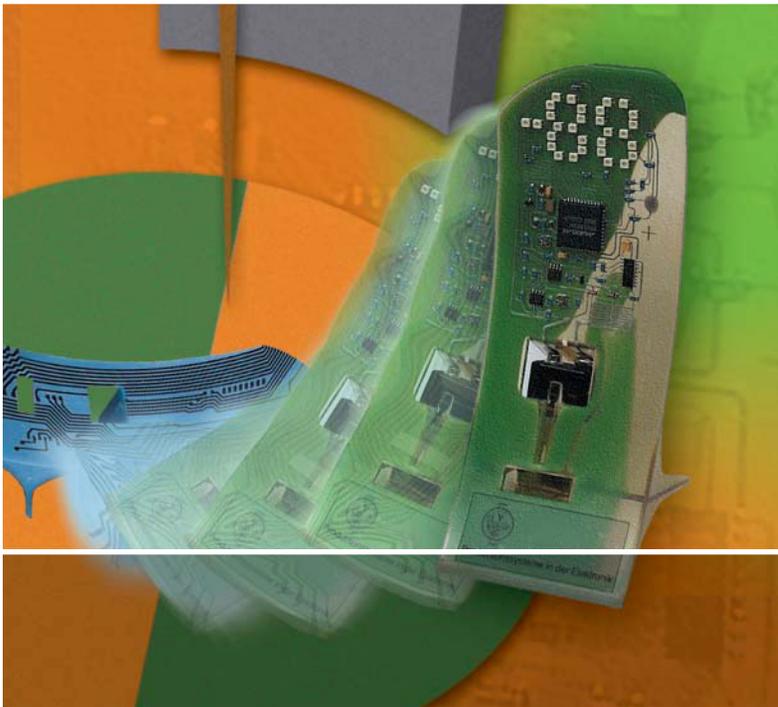


Rainer Ose

# Elektrotechnik für Ingenieure

Bauelemente und Grundschaltungen  
mit PSPICE



HANSER

---

# Inhaltsverzeichnis

## I Elementare Anwendungen von PSPICE

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik mit PSPICE</b>	9
1.1	Kurzeinführung in PSPICE	9
1.1.1	Zeichnen einer Schaltung	9
1.1.2	Setzen von Bauelemente-Attributen	10
1.1.3	Simulation von Projekten	11
1.1.4	Auswertung von Simulationen	11
1.2	Simulation von Gleichstromkreisen	12
1.2.1	DC-Main-Sweep-Funktionen	13
1.2.2	Funktionen des PROBE-Fensters	15
1.2.3	DC-Nested-Sweep-Funktionen	17
1.3	Simulation von Wechselstromkreisen	20
1.3.1	Darstellung von Zeitfunktionen	21
1.3.2	Überlagerung von Zeitfunktionen	23
1.3.3	Messung elektrischer Größen	25
1.3.4	AC-Sweep-Funktionen	26
1.3.5	AC-Parametric-Sweep	29
1.3.6	Dreiphasensystem	34
1.3.7	Transformator	35
1.4	Simulation von Schaltvorgängen	37
1.4.1	Auf- und Entladen von RC-Kombinationen	37
1.4.2	Umschalten vorgeladener Kondensatoren	40
1.4.3	Ladungsausgleichsvorgänge	42
1.4.4	Schaltvorgänge in RL-Kombinationen	45
1.4.5	Schaltvorgänge in RLC-Kombinationen	46
1.5	Simulationsbeispiele	48

## II Bauelemente der Elektronik

<b>2</b>	<b>Passive Bauelemente</b>	75
2.1	Klassifikationskriterien	75
2.2	Grundbauelemente	78
2.2.1	Widerstände	78
2.2.2	Kondensatoren	82
2.2.3	Spulen	86
2.3	Homogene Halbleiter	101
2.3.1	Halbleiter-Übersicht	101
2.3.2	Thermistoren	106
2.3.3	Varistor	110

---

2.3.4	Fotowiderstand .....	112
2.3.5	Magnetfeldabhängige Halbleiter .....	114
2.4	Halbleiter-Dioden .....	123
2.4.1	pn-Übergang .....	123
2.4.2	Universaldiode .....	125
2.4.3	Simulation von Halbleiter-Dioden .....	127
2.4.4	Gleichrichterioden .....	131
2.4.5	Schaltdioden .....	135
2.4.6	Z-Diode .....	141
2.4.7	Varaktor-Dioden .....	145
2.4.8	pin-Diode .....	147
2.4.9	Schottky-Diode .....	147
2.5	Simulationsbeispiele .....	149
<b>3</b>	<b>Aktive Bauelemente .....</b>	<b>168</b>
3.1	Eigenschaften .....	168
3.2	Unipolare Transistoren .....	169
3.2.1	Sperrschicht-FET .....	170
3.2.2	MOS-FETs .....	172
3.2.3	Leistungs-MOS-FETs .....	175
3.2.4	Kenngrößen von FETs .....	176
3.2.5	PSPICE-Modelle von Feldeffekttransistoren .....	177
3.2.6	Elementare Anwendungen von Feldeffekttransistoren .....	184
3.3	Bipolare Transistoren .....	190
3.3.1	Aufbau und Wirkungsweise .....	190
3.3.2	Kennlinienfelder .....	192
3.3.3	Statische Kenngrößen .....	193
3.3.4	Dynamische Kenngrößen .....	195
3.3.5	Arbeitspunkteinstellung .....	200
3.3.6	Arbeitspunktstabilisierung .....	201
3.3.7	PSPICE-Modelle von bipolaren Transistoren .....	205
3.3.8	Frequenzabhängigkeiten .....	209
3.3.9	Elementare Anwendungen .....	215
3.4	Thyristoren .....	225
3.4.1	Aufbau und Wirkungsweise .....	225
3.4.2	Kennlinien und Kenngrößen .....	227
3.4.3	PSPICE-Modelldaten .....	229
3.4.4	Thyristor als Schalter .....	232
3.5	Simulationsbeispiele .....	234
<b>4</b>	<b>Optoelektronische Halbleiterbauelemente .....</b>	<b>259</b>
4.1	Einteilung optoelektronischer Bauelemente .....	259
4.2	Strahlungskenngrößen .....	260

4.2.1	Radiometrische Größen .....	260
4.2.2	Fotometrische Größen .....	260
4.3	Fotodetektoren .....	261
4.3.1	Fotowiderstand .....	262
4.3.2	Fotodiode .....	262
4.3.3	Fotoelement und Solarzelle .....	264
4.3.4	Fototransistor .....	265
4.3.5	Fotothyristor .....	268
4.4	Fotoaktoren .....	269
4.4.1	Lumineszenzdiode .....	269
4.4.2	Optokoppler .....	272
4.5	Berechnungs- und Simulationsbeispiele .....	274
<b>5</b>	<b>Operationsverstärker .....</b>	<b>280</b>
5.1	Grundprinzip eines Operationsverstärkers .....	280
5.2	Kenngrößen des Operationsverstärkers .....	282
5.3	Ideales und reales Verhalten eines Operationsverstärkers .....	290
5.3.1	Ruhestrom-Kompensation .....	290
5.3.2	Offset-Kompensation .....	291
5.3.3	Frequenzgang-Korrektur .....	291
5.4	Grundsaltungen mit OV .....	293
5.4.1	Invertierender Verstärker .....	293
5.4.2	Nichtinvertierender Verstärker .....	294
5.5	Analoge Rechenschaltungen .....	297
5.5.1	Summenverstärker .....	297
5.5.2	Differenzverstärker .....	298
5.5.3	Differenzierer .....	299
5.5.4	Integrierer .....	300
5.6	Komparatoren .....	302
5.7	Konstantstromquellen .....	305
5.8	Spitzenwertgleichrichter .....	306
5.9	Aktive Filter .....	308
5.9.1	Tief- und Hochpässe .....	308
5.9.2	Bandpassschaltungen .....	317
5.10	Simulationsbeispiele .....	325
<b>Anhang</b>	.....	<b>354</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	.....	<b>358</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	.....	<b>360</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b>		

# 1 Grundlagen der Elektrotechnik mit PSPICE

Im ersten Kapitel dieses Lehrbuchs sollen ausgewählte Abschnitte der Grundlagen der Elektrotechnik, die sich auf elementare schaltungstechnische Realisierungen beziehen, mit PSPICE<sup>1)</sup> simuliert werden. Dabei wird das Ziel verfolgt, den Einsatz dieses äußerst universellen und leistungsfähigen Programms zur Entwicklung und zur Simulation elektronischer Schaltungen bereits im Grundlagenbereich zu nutzen. Die daraus abgeleiteten Erfahrungen im Umgang mit PSPICE sollen das Verständnis für die Anwendungen in den nachfolgenden Kapiteln fördern. Eine der wichtigsten Aufgaben des Anwenders der Simulationssoftware PSPICE besteht in der kritischen Bewertung und der richtigen Interpretation der Ergebnisse einer Simulation. Dazu ist ein solides Grundlagewissen erforderlich, denn:



Simulationsergebnisse von PSPICE setzen Verständnis beim Anwender voraus.

Im folgenden Kapitel wird diese Bewertung von Simulationsergebnissen an Beispielen aus dem Lehrbuch „Elektrotechnik für Ingenieure“ – Grundlagen – [1] demonstriert. Eine kurze Einführung in PSPICE kann und soll dabei kein Ersatz für ein intensives Studium der PSPICE-Spezialliteratur<sup>2)</sup> sein. In dieser Kurzeinführung wird folgende Notation verwendet:

KAPITÄLCHEN	Programme/Verzeichnisse
> steil <	Tasten und Schaltflächen
<i>kursiv</i>	Fenstertitel/Menüs/Dialoge
<i>kursiv</i> → <i>kursiv</i>	Menüverzweigungen
<i>kursiv</i> -Fenster	Fenster-Bezeichnungen
<i>kursiv</i> -Liste	Listen-Bezeichnungen
GROSSBUCHST.	PSPICE-Bezeichnungen

<sup>1)</sup> Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis

## 1.1 Kurzeinführung in PSPICE

Nach dem Programmstart meldet sich die Arbeitsoberfläche von SCHEMATICS.



Hier wird zunächst die gewünschte Schaltung gezeichnet und mit den entsprechenden Bauelemente-Werten versehen.

### 1.1.1 Zeichnen einer Schaltung

Zum Zeichnen einer Schaltung aktiviert man über das Menü *Draw* (siehe Kopfzeile) oder direkt über das Symbol in der Kopfzeile die Schaltfläche > Get New Part <. Es öffnet sich der *Part Browser Advanced*. Durch Betätigen der Schaltfläche > Libraries < gelangt man in den *Library Browser*. Von dort aus werden die erforderlichen Bauelemente und Hilfsmittel (vorerst in einer beliebigen Position) auf der Arbeitsoberfläche angeordnet. Dazu wird das jeweilige Bauelement in der *Part*-Liste markiert und mit > OK < zur Anzeige gebracht. Die Schaltfläche > Place < gibt dann dieses Element über den Mauszeiger frei. Mit jedem Mausklick setzt man jetzt ein Element auf die Arbeitsoberfläche. Ein Doppelklick beendet diesen Vorgang. Nun kann ein neues Element gewählt und gesetzt werden. Der *Browser* wird danach mit > Close < wieder geschlossen.



Im nächsten Schritt müssen die Symbole an der gewünschten Stelle auf der Arbeitsoberfläche positioniert werden. Nach der Markierung mit einem Mausklick auf das Symbol (jetzt rot dargestellt) sind folgende Maßnahmen möglich:

- > Entf < Löschen überflüssiger Elemente
- > Strg + r < Linksdrehung des Elementes
- > Strg + f < Kippen des Elementes
- Mauszeiger: Verschieben des Elementes

<sup>2)</sup> siehe z.B.: [2]; [3]; [4]; [13]; [14]

Ein weiterer Klick mit dem Mauszeiger auf die Arbeitsoberfläche beendet die jeweilige Maßnahme.

Nun müssen noch die Verbindungsleitungen eingefügt werden. Diese Leitungen zeichnet man mit dem Mauszeiger. Der dazu erforderliche Stift wird mit *Draw* → *Wire* oder direkt über die Schaltfläche > Draw Wire < (siehe Symbolleiste) aktiviert. Ein erster Mausklick setzt den Anfangspunkt, weitere Klicks setzen Abwinkelungen und ein Doppelklick beendet den Vorgang.

Zum Abschluss muss noch der Potentialbezugspunkt festgelegt werden. Dazu positioniert man das Massezeichen ( $\perp$ ) mit dem Namen AGND aus der *Part*-Liste der Library PORT.SLB an einem Knotenpunkt oder an einer Verbindungsleitung.



PSPICE arbeitet auf der Grundlage des Knotenpotentialverfahrens<sup>1)</sup>.

- ◆ Der Wert des elektrischen Potentials eines Punktes in einer Schaltung, in einem Netzwerk oder allgemein in einem elektrischen Feld kann nur relativ zum Potential eines frei wählbaren Potentialbezugspunktes PB angegeben werden. Diesem Potentialbezugspunkt wird ein beliebiges Bezugspotential  $\varphi_{PB}$  (z.B.:  $\varphi_{PB} = 0$  V) zugeordnet.
- ◆ Bei einer Veränderung dieser Zuordnung (z.B.: durch die Positionierung von PB an einem anderen echten oder virtuellen Knoten einer Schaltung) ändern sich dann auch die Potentialwerte aller anderen Knotenpunkte. Die Potentialdifferenzen zwischen jeweils zwei Knoten (Spannungen) verändern sich aber nicht.

PSPICE arbeitet mit echten und virtuellen Knoten. Jede Verbindung zwischen zwei Bauelementen, die nicht durch einen echten Knoten (Stromteilung) miteinander verbunden sind, wird als ein virtueller Knoten

(Messpunkt zwischen zwei in Reihe geschalteten Elementen) aufgefasst. Unechte Knoten entstehen durch die Verbindung zweier Punkte einer Schaltung über einen Kurzschlusszweig. PSPICE fasst diese unechten Knoten zu einem echten Knotenpunkt zusammen.

### 1.1.2 Setzen von Bauelemente-Attributen

Zur Festlegung der Bauelemente-Werte und ihrer Bezeichnung müssen Attribute gesetzt werden. Dazu klickt man das zu bearbeitende Bauelemente-Symbol mit einem Doppelklick an. Es öffnet sich die *PartName*-Liste. Der gleiche Effekt wird erreicht, wenn für ein markiertes Bauelement die Schaltfläche > Edit Attributes < betätigt wird.



In der *PartName*-Liste kann der Wert und die Bezeichnung des jeweiligen Bauelementes eingegeben und abgespeichert werden. Schnelle Änderungen dieser Attribute (z.B. im Sinne des Experimentierens) sind über einen Doppelklick auf die Bauelemente-Bezeichnung oder den Wert direkt von der Arbeitsoberfläche aus möglich. Es meldet sich der Dialog *Edit Reference Designator* für die Änderung der Bezeichnung oder der Dialog *Set Attribute Value* für die Änderung des Bauelemente-Wertes<sup>2)</sup>.



PSPICE arbeitet nur auf der Grundlage eindeutiger Zuordnungen.

- ◆ Gleiche Bezeichnungen für Bauelemente dürfen nicht mehrfach vergeben werden.
- ◆ Für das Komma steht der Dezimalpunkt.
- ◆ Bei Dateinamen sind Umlaute und viele Sonderzeichen nicht zulässig.

Die so fertiggestellte Schaltung muss nun noch unter einem zulässigen Dateinamen z.B. im Verzeichnis SCHEMATIC PROJECTS mit *File* → *Save As* abgespeichert werden.

<sup>1)</sup> siehe z.B.: [1] – Abschn. 5.5.2 und 8.2.2

<sup>2)</sup> Schreibweise von Zehnerpotenzen: siehe Anlage A\_2

### 1.1.3 Simulation von Projekten

Eine Schaltungssimulation wird über die Menüs *Analysis* → *Simulate* oder direkt über die Schaltfläche > Simulate < (siehe Kopfzeile) gestartet. Es öffnet sich das PROBE-Fenster im Programm ORCAD PSPICE. Im linken unteren Fensterteil werden eventuell aufgetretene Simulationsfehler<sup>1)</sup> angezeigt. Durch das Schließen dieses Fensters kehrt man wieder zur Arbeitsoberfläche zurück und erhält die Ergebnisse einer Gleichstrom-Simulation.



Nach Betätigen der Schaltfläche > Enable Bias Voltage Display <  > werden die berechneten Werte der Potentiale aller Knoten (echte und virtuelle Knoten) als Spannungen relativ zum gewählten Potentialbezugspunkt (grün unterlegt) angezeigt. Der Spannungszählpfeil ist bei diesen Angaben immer von der grünen Fläche zum Potentialbezugspunkt gerichtet. Ein negativer Spannungswert sagt demzufolge aus, dass das Potential des Bezugspunktes positiver ist.

Durch Betätigen der Schaltfläche > Enable Bias Current Display <  > werden die Werte der Ströme durch alle Bauelemente angezeigt (blau unterlegt). Jeder Stromzählpfeil beginnt an der blauen Fläche und ist für einen positiven Wert des Stromes durch das jeweilige Bauelement gerichtet.

Überflüssige Angaben beider Displays können nach dem Markieren (Mausklick) durch Betätigung der Taste > Entf < wieder gelöscht werden.

### 1.1.4 Auswertung von Simulationen

Die Ergebnisse einer Schaltungssimulation werden in der Regel für weitere Aufgaben wieder benötigt. Dazu sind sie zu Archivieren und zu Dokumentieren. Viele Anwen-

der nutzen dazu ein Textverarbeitungssystem wie WORD.

Nach einer kritischen Wertung des von PSPICE bereitgestellten Simulationsergebnisses (z.B. durch eine Probe mit dem Maschensatz und/oder dem Knotenpunktsatz) ist bei einer Gleichstrom-Analyse lediglich die Ablage der simulierten Schaltung erforderlich. Dazu markiert man die Schaltung auf der Arbeitsoberfläche mit dem Mauszeiger und legt sie im Clipboard über die Menüpunkte *Edit* → *Copy to Clipboard* ab. Nach einem Wechsel in das Textverarbeitungssystem kann die Schaltung mit den angezeigten Simulationsergebnissen über die Menüpunkte *Bearbeiten* → *Einfügen* in ein Dokument übernommen werden.

#### Lehrbeispiel 1.1:

Führen Sie für das Netzwerk in [1] – Bild 5.1 eine Gleichstrom-Simulation<sup>2)</sup> durch.

Geg.:  $U_A = 24 \text{ V}$ ,  $U_B = 12 \text{ V}$  und  $U_C = 5 \text{ V}$   
sowie  $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

Zunächst wird das Netzwerk gezeichnet. Dazu benötigt man drei ideale Gleichspannungsquellen VDC aus der Library SOURCE.SLB, drei Widerstände Rx aus der Library ANALOG.SLB und das Massezeichen AGND ( $\perp$ ) aus der Library PORT.SLB (siehe Entwurf im Bild 1.1).

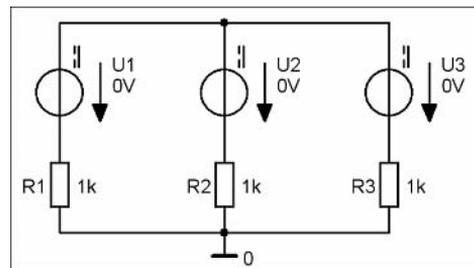


Bild 1.1: Netzwerkentwurf zum Lehrbeispiel 1.1

Beachten Sie bitte, dass Ihnen die zuletzt verwendeten Symbole (maximal 10) über das Rollfenster > Get Recent Part < in der oberen Menüleiste für weitere Projekte zur Verfügung stehen.

<sup>1)</sup> Fehlermeldungen: siehe Anlage A\_3

<sup>2)</sup> Tipps dazu unter: [2] – Rezepte 2.1 bis 2.7

Nun werden die Attribute der Bauelemente festgelegt. Die Bezeichnungen der Widerstände und ihre Werte stimmen zufälligerweise bereits mit der Aufgabenstellung überein. Die Bezeichnung der Quellen und die Eingaben ihrer Quellenspannungswerte führt zu Bild 1.2.

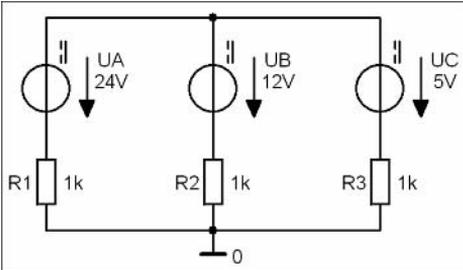


Bild 1.2: Setzen der Attribute im Lehrbeispiel 1.1

Abschließend wird die Simulation durchgeführt. Nach dem Löschen redundanter Analyseergebnisse und einer leichten Korrektur ihrer Anordnung in der Schaltung (Anklicken und Verschieben) erhält man Bild 1.3.

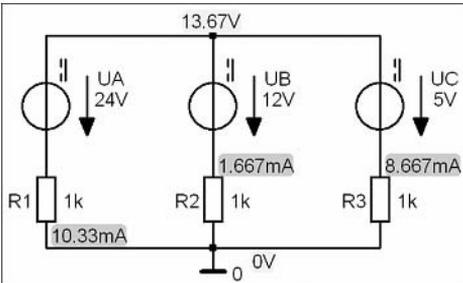


Bild 1.3: Simulationsergebnisse zum Lehrbeispiel 1.1

Beachten Sie bitte, dass Ihnen mit einem Mausklick auf eine Strommarke ein roter Zählpfeil ( $\downarrow$  oder  $\uparrow$ ) für den jeweiligen Zweigstrom angezeigt wird.

Eine Probe über den Knotenpunktsatz bestätigt die Richtigkeit der Simulationsergebnisse <sup>1)</sup>:

$$I_3(\downarrow) = I_1(\uparrow) - I_2(\downarrow)$$

$$I_3(\downarrow) = 10,3 \text{ mA} - 1,6 \text{ mA} = 8,6 \text{ mA}$$

## 1.2 Simulation von Gleichstromkreisen

In den folgenden Ausführungen werden Gleichstromkreise betrachtet, in denen sich mindestens eine Bauelemente-Kenngröße ändert. Zum Zeichnen der jeweiligen Schaltung sind folgende Elemente erforderlich:

- VDC ideale Gleichspannungsquelle
- IDC ideale Gleichstromquelle
- R Widerstand
- POT Potentiometer
- AGND Potentialbezugspunkt/Masse
- PARAM Parameterliste

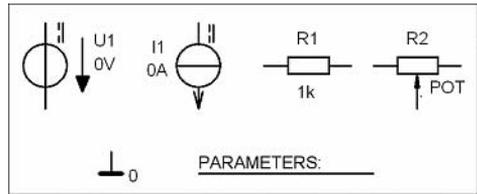


Bild 1.4: Elemente zur Gleichstrom-Simulation

Die im Lehrbeispiel 1.1 noch nicht verwendeten Elemente findet man in der *Part*-Liste folgender Libraries:

- BREAKOUT.SLB  $\rightarrow$  POT
- SPECIAL.SLB  $\rightarrow$  PARAM

Als Beispiel für die folgenden Betrachtungen soll der im Bild 1.5 dargestellte Grundstromkreis (vgl. auch [1] – Bild 3.21) untersucht werden. Er besteht aus einer linearen Quelle mit  $U_q$  und  $R_i$  sowie einem variablen Lastwiderstand  $R_a$ .

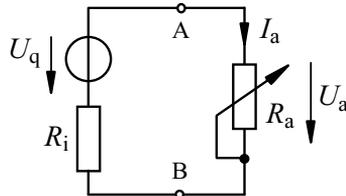


Bild 1.5: Grundstromkreis mit variabler Last

<sup>1)</sup> siehe [1] – Abschn. 5.1

Die Simulationsaufgabe für PSpICE besteht nun darin, den Lastwiderstand  $R_a$  von einem Anfangswert  $R_{a1}$  in einer gewählten Schrittweite  $\Delta R_a$  bis zu einem Endwert  $R_{a2}$  zu variieren. Im Ergebnis sollen folgende Funktionen <sup>1)</sup> dargestellt werden:

$$U_a = f(R_a); I_a = f(R_a); P_a = f(R_a)$$

Dazu bietet PSpICE ein äußerst leistungsfähiges Hilfsmittel an – die Sweep-Funktion.

### 1.2.1 DC-Main-Sweep-Funktionen

PSpICE stellt für den Gleichstromfall (DC) unterschiedliche Möglichkeiten zur Variation von Quellengrößen, der Temperatur und von deklarierten Parametern (sog. DC-Sweeps) bereit. Diese Variation kann mit verschiedenen Sweep-Types vorgenommen werden (siehe Tabelle 1.1).

Zur Einstellung eines DC-Sweeps öffnet man das *Analysis-Setup*-Fenster mit *Analysis* → *Setup*  oder direkt über die Schaltfläche > Setup Analysis <. Die Betätigung der Schaltfläche > DC Sweep < zeigt eine Übersicht der Variationsmöglichkeiten gemäß Tabelle 1.1.

Tabelle 1.1: DC-Sweep-Types

Swept Var. Type	Variation von:
Voltage Source	Quellenspannung (VDC)
Temperature	Temperatur
Current Source	Quellenstrom (IDC)
Model Parameter	Speziellen Parametern
Global Parameter	Globalen Parametern

Sweep Type	Variationsart:
Linear	Lineare Variation
Octave	Variation mit Faktor 2
Decade	Variation mit Faktor 10
Value List	Variation gemäß Werteliste

Zur Lösung der Simulationsaufgabe muss der Lastwiderstand  $R_a = R_L$  variiert werden. Dazu ist er zunächst als Parameter zu deklarieren. Diese Festlegung wird in der *PartName*-Liste vorgenommen, die sich nach einem Doppelklick auf das Bauelement öffnet. Hier ersetzt man den Wert des Bauelementes (VALUE=1k) durch einen Variablennamen in geschweiften Klammern (z.B.: {RL} für  $R_L$ )<sup>2)</sup>. Nach dem Abspeichern mit > Save Attr < wird die *PartName*-Liste mit > OK < wieder verlassen.

Nun muss dieser Parameter noch auf der Arbeitsoberfläche angemeldet werden. Das gelingt mit dem Einfügen des Elementes PARAM an einer beliebigen Position. Ein Doppelklick auf das PARAMETERS-Symbol öffnet die *PartName*-Liste PARAM. Hier ist der Parameter-Name ohne die geschweiften Klammern unter NAME1=RL sowie ein Wert unter VALUE1=1k (beliebig) einzugeben. Nach dem Abspeichern mit > Save Attr < wird die *PartName*-Liste mit > OK < wieder verlassen.

Abschließend muss noch der DC-Sweep eingestellt werden. Nach dem Öffnen des *Analysis-Setup*-Fensters wird der DC-Sweep mit > Enabled < (✓) freigegeben. Mit der Schaltfläche > DC Sweep < gelangt man in das *DC-Sweep*-Fenster gemäß der vereinfachten Darstellung in Tabelle 1.1. Hier werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- Global Parameter      Name: RL
- Linear                    Start Value: 1
- End Value: 1k
- Increment: 1

Mit diesen Einstellungen wird der Lastwiderstand  $R_a$  vom Anfangswert  $R_{a1} = 1 \Omega$  in  $1\text{-}\Omega$ -Schritten bis zum Endwert  $R_{a2} = 1 \text{ k}\Omega$  linear durchgemustert.

<sup>1)</sup> siehe [1] – Abschn. 3.5.3

<sup>2)</sup> Schreibweise PSpICE: RL → Schreibweise DIN:  $R_L$

## Sachwortverzeichnis

- |                            |                                                                                                        |                              |                                                          |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| A/D-Umsetzung              | 332                                                                                                    | Ausgangsleitwert             | 183                                                      |
| A/D-Wandler                | 304, 305                                                                                               | Ausgangswiderstand           | 176, 284                                                 |
| Abfallzeit                 | 40, 70                                                                                                 | Aussteerbereich              | 306, 336                                                 |
| Abschnürgrenzspannung      | 171, 173                                                                                               | Aussteergrenze               | 282                                                      |
| Abschnürspannung           | 169, 173, 177                                                                                          | Ausstrahlung, spezifische    | 260                                                      |
| Abschnürung                | 170                                                                                                    | Avalanche-Effekt             | 141                                                      |
| Absorption                 | 261                                                                                                    | Avalanche-Fotodiode          | 263                                                      |
| AC-Analyse                 | 53                                                                                                     | <b>Bahnwiderstand</b>        | 127, 129, 148, 155, 166, 177,<br>181, 206, 209, 234, 245 |
| AC-Messgerät               | 25, 26                                                                                                 | Bandabstand                  | 102                                                      |
| AC-Parametric-Sweep        | 29, 57, 62, 343                                                                                        | Bandbreite                   | 29, 32, 262, 317, 320, 344, 347, 353                     |
| AC-Sweep                   | 25, 27, 28, 30, 31, 53, 86, 145, 150,<br>165, 212, 238, 252, 289, 292, 295, 311,<br>315, 328, 343, 353 | Bändermodell                 | 102, 103                                                 |
| Aktivierungsenergie        | 127, 166, 245                                                                                          | Bandpass                     | 308, 317, 323, 344                                       |
| Akzeptor                   | 103, 123                                                                                               | Bandpasscharakteristik       | 317, 328                                                 |
| Akzeptorkonzentration      | 123                                                                                                    | Bandpasswirkung              | 322                                                      |
| Amperemeter                | 20                                                                                                     | Bandsperre                   | 308                                                      |
| Amplitude                  | 21, 27, 36                                                                                             | Basis                        | 190                                                      |
| Amplitudenfrequenzgang     | 26, 27, 29, 54, 238,<br>279, 289, 308, 316, 321, 328, 343, 350                                         | Basisschaltung               | 217                                                      |
| Amplitudenspektrum         | 24                                                                                                     | Basisspannungsteiler         | 202, 203                                                 |
| Analogschalter             | 189, 239                                                                                               | Basisstrom                   | 191                                                      |
| Analog-Subtrahierer        | 298                                                                                                    | Basiszone                    | 246                                                      |
| Anfangsbedingung           | 330                                                                                                    | Becherkondensator            | 84                                                       |
| Anlaufbereich              | 174, 181, 189                                                                                          | Beleuchtungsstärke           | 112, 261, 267, 274, 278                                  |
| Anode                      | 128, 225                                                                                               | Belichtung                   | 274                                                      |
| Anoden-Gate                | 225                                                                                                    | Bestrahlung                  | 274                                                      |
| Anpassungsfall             | 16                                                                                                     | Bestrahlungsstärke           | 260, 274                                                 |
| Anregung, thermische       | 102, 104                                                                                               | Beta-Grenzfrequenz           | 214                                                      |
| Anreicherungstyp           | 170, 174, 188, 234, 243                                                                                | Beta-Temperaturkoeffizient   | 250                                                      |
| Anreicherungszone          | 174                                                                                                    | Betriebsfrequenz             | 21, 197                                                  |
| Ansprechempfindlichkeit    | 268                                                                                                    | Betriebskenngröße            | 193, 196                                                 |
| Anstiegsgeschwindigkeit    | 229, 287                                                                                               | Betriebsspannungsverstärkung | 197                                                      |
| Anstiegszeit               | 40, 70                                                                                                 | Betriebsstromverstärkung     | 197, 217                                                 |
| Antiparallelschaltung      | 226                                                                                                    | Betriebstemperatur           | 201, 275                                                 |
| Approximationsverfahren    | 304                                                                                                    | Betriebsverstärkung          | 293                                                      |
| Arbeitsgerade              | 162, 185, 200, 222, 232                                                                                | Beweglichkeit                | 104, 117                                                 |
| Arbeitspunkt               | 75, 126, 138, 144, 154, 163, 176,<br>184, 192, 195, 215, 232, 265                                      | Bewertungsfunktion           | 260                                                      |
| Arbeitspunkteinstellung    | 200, 236                                                                                               | Bezugselektrode              | 192                                                      |
| Arbeitspunktstabilisierung | 201, 204                                                                                               | Bezugstemperatur             | 80, 107, 109, 146, 206, 251                              |
| Arbeitswiderstand          | 201                                                                                                    | Bezugswiderstand             | 109, 112, 115                                            |
| Augenblickswert            | 23                                                                                                     | Binärcodierung               | 333                                                      |
| Ausgangsaussteuerbereich   | 283                                                                                                    | Bindung, kovalente           | 102, 104                                                 |
| Ausgangskennlinie          | 209                                                                                                    | Bindungsorbital              | 102                                                      |
| Ausgangskennlinienfeld     | 171, 176, 180, 185,<br>188, 193, 194, 201, 222, 235, 249, 266                                          | Bipolartransistor            | 168, 188, 190, 205, 245                                  |
|                            |                                                                                                        | Blockierkennlinie            | 228                                                      |
|                            |                                                                                                        | Blockierzustand              | 228, 230, 268                                            |
|                            |                                                                                                        | BODE-Diagramm                | 287, 291                                                 |
|                            |                                                                                                        | Breakdown                    | 171                                                      |
|                            |                                                                                                        | Brückenabgleich              | 18                                                       |

Brückengleichrichter	133, 157	Diodenbetrieb	262
Brückenschaltung	17, 18	Dioden-Ersatzschaltung	190
Brummspannung	132, 143	Diodenmodell	128, 136, 166
Bulk	170	Display	271
BUTTERWORTH-Charakteristik	313, 316	Donator	103, 123
Clipboard	11	Donatorkonzentration	123
CMOS-Inverter	243	Doppel-T-Glied	317, 322, 350
CMRR	220, 284	Dotierung	101, 103, 123, 168, 190, 225
CTR	272, 277	Drahtpotentiometer	78
Dämpfung	46, 316, 318, 353	Drahtwiderstand	78, 82, 149
Dämpfungsfaktor	341, 343	Drain	169, 173
Darstellung, logarithmische	31	Drainstrom	169, 173, 181, 235
Dauergrenzstrom	131, 229, 231	Drehkondensator	85, 97
DC-Analyse	276	Drehstromgenerator	34
DC-Main-Sweep	13, 17, 156, 172, 175, 194, 241, 254, 270, 273	Dreieckschaltung	59
DC-Nested-Sweep	17, 18, 81, 116, 156, 172, 175, 194, 241, 267, 270, 273	Dreiphasensystem	34, 59
DC-Sweep	77, 94, 111, 116, 128, 148, 153, 155, 162, 166, 171, 175, 180, 194, 203, 224, 230, 250, , 285, 335, 336	Driftgeschwindigkeit	104, 234
Degradation	271	Driftstrom	104
Depletion	243	Driftstromdichte	104
Detektivität	262	Dual-Inline	149
Detektorfläche	262	Dunkelwiderstand	112, 262
Diac	226	Durchbruchspannung	126, 155, 166, 193, 228
Dielektrikum	83, 84, 97	Durchlassbereich	31, 308, 317
Differenzanteil	220	Durchlassstrom	125, 126
Differenzaussteuerung	284	EARLY-Effekt	206, 210, 246
Differenzbetrieb	219, 255	EARLY-Spannung	207, 245, 249
Differenzeingang	291	Eckfrequenz	286
Differenzeingangsspannung	220, 255, 280, 299	ED-Inverter	243
Differenzeingangswiderstand	284	EE-Inverter	243
Differenzierer	299, 326, 329	Effekt, fotovoltaischer	263
Differenzspannung	280, 282, 284, 306, 310	Effektivwert	34, 60, 233
Differenzverstärker	218, 254, 280, 282, 298, 325	Eigenerwärmung	106, 118
Differenzverstärkung	256, 280, 282, 289, 295	Eigenleitung	102
Diffusionskapazität	136, 137, 145, 146, 211	Eigenleitungsdichte	103
Diffusionskoeffizient	105	Einfachmitkopplung	312, 320
Diffusionsladung	136, 137	Eingangskennlinie	195
Diffusionsspannung	124, 127, 136, 166, 177, 210, 234, 245	Eingangs-Offsetspannung	283, 288, 295, 329
Diffusionsstrom	105, 124	Eingangs-Offsetstrom	283
Digital-Analog-Umsetzer	149	Eingangsruhestrom	283, 290
Digital-Analog-Wandler	305	Eingangsspannungsteiler	224
Dimensionierung	28, 320, 323	Eingangsstromsteuerung	302
Diode	123, 131, 190, 306	Einraststrom	229
		Einrichtungs-Thyristordiode	225
		Einrichtungs-Thyristortriode	268
		Einschwingzeit	64
		Einstellwiderstand	78
		Einweggleichrichtung	132
		Eisenverluste	87, 99

Eisenwiderstand	92	Fotodetektor	259, 261
Elektrolyt-Kondensator	84	Fotodiode	262
Elektrometerverstärker	295, 296, 310, 338	Fotoeffekt, innerer	261
Elektronendichte	103	Fotoelement	264
Elektronenstrom	102, 190	Fotohalbleiter	259
Elementbetrieb	262	Fotostrom	261
Emissionsfähigkeit	76, 270	Fotothyristor	268
Emissionskoeffizient	126, 127, 129, 155, 166, 184, 205, 234, 245	Fototransistor	265, 267, 272, 278
Emissionswellenlänge	269	Fotowiderstand	112, 262
Emitter	190	FOURIER-Analyse	23, 24
Emitterfolger	218	Freiwerdezeit	229
Emitterschaltung	192, 198, 202, 211	Fremdatome	101
Emitterstrom	191	Frequenz	23, 27
Empfängertransistor	272	Frequenz, normierte	317, 341
Empfindlichkeit	76, 112, 261, 266	Frequenzdekade	27, 308, 323
Energiekonstante	106	Frequenzgang	26, 29, 31, 32, 86
Energielücke	102, 103, 261	Frequenzgang-Korrektur	291
Enhancement	243	Frequenzgruppenfilter	349, 353
Epitaxie-Planar-Transistor	191	Frequenzoktave	27
E-Reihe	79, 186, 319	<b>Gate</b>	169, 227
ER-Inverter	243	Gatepotential	174
Ersatzschaltbild	91	Gate-Spannungsteiler	237
		Gatestrom	181
<b>Farbcode</b>	79	Gegeninduktivität	93
Feldeffekt-Anzeigeelement	259	Gegenkopplung	204, 292, 312
Feldeffekttransistor	240	Gegenkopplungszeit	294
Feldemission	141	Gegentaktaussteuerung	219
Feldplatte	114, 116	Gehäuse	192
Feldstrom	104, 124	Generation	102, 261, 269
Fensterkomparator	303, 331	GIACOLETTO-HF-Ersatzschaltbild	214
Fensterspannung	303	Glättungsfaktor	161
Ferritkopf Kern	91, 99	Glättungskondensator	132, 135
Ferromagnetika	89	Gleichrichterbauelement	225
Festkondensator	83	Gleichrichterdiode	127, 131, 155
Festkörper	101	Gleichspannungsquelle	12, 37
Festwiderstand	78	Gleichspannungsverstärker	218, 293
FET-Schalter	189	Gleichstrom-Analyse	11, 156, 186, 203, 237
Filter	308, 353	Gleichstrom-Ersatzschaltbild	130, 141, 181, 284
Filter-Flankensteilheit	29, 32, 308, 318, 323, 349, 352	Gleichstromgegenkopplung	201, 204, 251
Flächendiode	132	Gleichstromquelle	12
Flankensteilheit	308, 312, 320	Gleichstromschalter	232, 257
Flüssigkristall-Anzeige	259	Gleichstrom-Simulation	11, 14, 48, 164
Flussspannung	125	Gleichstrom-Transportmodell	205
Flussstrom	155	Gleichstromverstärkung	193
Folienkondensator	84	Gleichstromwiderstand	75, 118, 126, 156, 278
Formieren	85	Gleichtaktanteil	220
Fotoaktor	259, 269	Gleichtaktaussteuerung	219, 283, 284
		Gleichtaktbetrieb	219, 255

Gleichtakteingangsspannung	220, 255, 283	Induktivität	22, 30, 36, 37, 72, 86, 90, 96, 133
Gleichtakteingangswiderstand	284	Infrarot-Diode	270
Gleichtaktunterdrückung	220, 282, 283	Initial Condition	38, 301
Gleichtaktverstärkung	255, 283	Insulated-Gate-FET	169
Glühlampe	77, 109, 271	Integrationszeitraum	302
Gradationskoeffizient	127, 136, 166, 210, 234, 245	Integrierer	300, 329
GRAETZ-Schaltung	134	Integrierglied	239
Grenzfrequenz	27, 29, 165, 187, 213, 216, 237, 286, 316, 324, 338, 342, 349	Integrierzeit	301
Grenzspannung	225	Inversbetrieb	196, 199, 205
Grenzwerte	193	IRED	270
Großsignalgrenzfrequenz	288	<b>J</b> unction-FET	169
Grundfrequenz	24	<b>K</b> altleiter	77, 108, 119
Grundstromkreis	12, 14	Kanalabschnürung	172
Grundverstärkung	286, 309, 318, 321, 338, 342, 346	Kanalbreite	234
GTO-Thyristor	229	Kanallänge	234
GUMMEL-POON-Modell	206, 246	Kanallängen-Modulationswert	177, 180
Güte	29, 32, 83, 87, 145, 220, 261, 262, 317, 320, 324, 347	Kanalquerschnitt	169
<b>H</b> albleiter, homogener	101, 112, 115	Kanalspannung	174
HALL-Konstante	117, 120	Kanalwiderstand	189
HALL-Sonde	116, 120	Kapazität	30, 37, 43, 82, 85, 96, 97, 135, 145
Haltestrom	226, 268	Kapazitätsdiode	127, 145, 146, 164
Hauptstrom-Kennlinie	231	Kapazitätskoeffizient	210
Hauptstrom-Kennlinienfeld	227	Katode	128, 225
Heißleiter	118	Katoden-Gate	225
Hellempfindlichkeitsgrad	260	Kennfrequenz	313
Hellwiderstand	112, 262	Kennlinienscherung	129
HF-Ersatzschaltbild	82, 85, 98, 149, 214	Kennwiderstand	341
HF-Kleinsignal-Ersatzschaltbild	209	Keramikkondensator	84
Hochpass	27, 165, 216, 237, 308	Kernverluste	92
Hochpassflanke	318, 319	Kettenschaltung	286, 353
Hochpasswirkung	315, 324	Kippspannung	225, 233
Höchstwertgatter	137, 158	Kleinleistungsdiode	127
Hot-Carrier-Diode	148	Kleinleistungs-Thyristor	229
H-Pegel	221	Kleinsignalbedingung	184, 195
Hybridparameter	196, 198, 212	Kleinsignal-Ersatzschaltbild	136, 162, 182, 197, 210, 216, 220, 287
Hystereseschleife	154	Kleinsignaltransistor	191
<b>I</b> GBT	175, 177	Kleinsignalverstärker	184, 200, 215, 236, 251
IG-FET	169, 189	Klirrfaktor	25
Impedanz	86	Knickfrequenz	287, 291, 296
Impedanzwandler	218	Knickkennlinie	125, 130, 141
Impulsbreite	40, 63	Knickstrom	206, 245, 249
Impulsdauer	70, 257, 301	Kniespannung	171
Impulsgenerator	40	Kniestrom	166
		Knoten	10, 14, 43, 68, 128
		Knoten, virtueller	293, 297
		Knotenanalyse	48, 68, 314, 322, 341, 345

Knotenpunktsatz	12, 175, 281	Leuchtdichte	274
Koeffizientenschema	314, 341, 345	Lichtemissionsfähigkeit	259
Koerzitivfeldstärke	154	Lichtempfindlichkeit	259, 261
Kohleschichtwiderstand	80	Lichtenergie	259
Kollektor	190	Lichtmenge	260, 274
Kollektor-Emitter-Reststrom	193, 222	Lichtstärke	274
Kollektorschaltung	218	Lichtstrom	260, 274
Kollektorstrom	191	Lichtstromdichte	274
Kombinationsbandpass	319, 324, 349, 352	Lichtwellenleiter	272
Kommutierung	229	Löcherdichte	103
Komparator	302, 304, 331, 335	Löcherstrom	102
Kompensationsmaßnahme	280	LORENTZ-Kraft	115, 117
Kondensator	28, 67, 82	Löschen	227, 257
Konstantstromquelle	219, 305	Löschkondensator	229, 232
Kontakt	129, 147, 168	Löschvorgang	231
Konzentrationsgradient	105	L-Pegel	221
Koppelkapazität	277	LSB	333
Koppelkondensator	187, 216, 236, 252	Luftpule	87
Kopplungsfaktor	35, 36, 72, 93	Lumineszenzdiode	259, 267, 269, 271, 275
Kurzschluss-Eingangswiderstand	196, 199	Lumineszenzeffekt	269
Kurzschlussstrom	15, 48, 156, 185, 243, 263	<b>Magnetisierungskennlinie</b>	88, 94, 122, 154
Kurzschluss-Stromverstärkung	196, 211	Majoritätsladungsträger	123, 147, 168
<b>Ladung</b>	42, 101, 114, 124, 173	Majoritätsträgerladung	206, 207, 247
Ladungsträgerdichte	174	Mantelkern	90, 120
Ladungsträgerinjektion	190	Maschensatz	44, 69
Ladungsträger-Konzentration	105, 261	Massewiderstand	78
Ladungstransport	169, 191	Materialkonstante	107
Ladungstransportmodell	205	Maximalwert	21, 23, 26, 32, 34, 36, 131, 195
Längstransistor	253	Metallschichtwiderstand	80
Lastwiderstand	20	MH-Kontakt	147
LCD	259	MIE-Struktur	84
Least Significant Bit	333	MILLER-Integrator	300, 330
Leckstrom	206, 245	MIM-Struktur	84
Leckstromdiode	206, 247	Minoritätsladungsträger	123, 126, 136
LED	259, 273, 275	Mitkopplung	281, 292, 312
LED-Display	259	Mittelpunktleiter	35
Leerlauf-Ausgangsleitwert	196, 212	Mittelpunktschaltung	133
Leerlaufspannung	15, 156, 185, 243, 263	Mittelfrequenz	317, 319, 349, 352, 353
Leerlauf-Spannungsrückwirkung	196	MOS-FET	169, 172, 177, 188, 220, 234, 243
Leistung	16, 50, 55, 227, 232	Most Significant Bit	333
Leistungsdiode	131, 134	MSB	333
Leistungs-MOS-FET	175, 234	MTBF	271
Leistungs transistor	191, 253	<b>Negator</b>	188, 221, 223, 243
Leistungsverstärkung	197	Nennwiderstand	118
Leiterplatte	78, 84, 91	NEP	262
Leiterspannung	34	Nested Sweep	82, 162, 180
Leitungsband	102, 103		
Leitwertparameter	176, 210		

Netzliste	128, 142, 165, 178, 247, 292, 296, 315, 334, 348	Phasenanschnittsteuerung	232, 257
NF-Ersatzschaltbild	85, 91, 216	Phasenfrequenzgang	26, 29, 54, 239, 279, 289, 321, 353
NF-Kleinsignal-Ersatzschaltbild	218	Photonenenergie	261
NF-Transistor	195	pinch-off-voltage	169
Nichtlinearitätskoeffizient	110, 113	pin-Diode	147
n-Kanal	169, 170, 176	pin-Fotodiode	263
Normalbetrieb	190	p-Kanal	176
Normierung	15, 32, 63	pn-Übergang	123, 125, 147, 169, 190, 225, 262
NTC	106, 108, 118	Polgüte	313
Nulldurchgang	23	Potential	10, 48
Nullkippspannung	228, 229, 232, 257	Potentialbezugspunkt	10, 12, 20, 37, 43
Nullkippstrom	229	Potentiometer	12, 17, 19, 20
Nullphasenwinkel	21, 23, 35, 60	Primärinduktivität	35
<b>Oberflächenbeweglichkeit</b>	234	Prinzipschaltbild	280
Oberflächenpotential	234	PSpice-Modell	206, 210, 246
ODER-Gatter	138	PTC	106, 109, 119
Offsetabgleich	290	PUT	226
Offset-Kompensation	291	<b>Quantisierung</b>	333
Offsetspannung	21, 117, 121, 199, 278, 283	Quellenkennlinie	163, 276
Offsetspannungsdrift	288, 329	Querstrom	20, 201
Offsetstrom	199, 212	Querzweig	28
Oktave	308	<b>Raumladung</b>	124, 136
OpAmp	280	Raumladungszone	123, 147, 268
Operationsverstärker	280, 286, 302, 308, 332, 336, 341, 349	Raumwinkel	274
Optik	259	Rauschleistung	261
Optoelektronik	76, 259	Rauschstrom	261
Optokoppler	259, 272, 277	Rechteckgenerator	37
Ordnung	308, 323	Referenzspannung	253, 302, 304, 332, 334
Ortskurve	151, 212	Regelkreis	281
Output-Variable	29, 32, 38, 94, 111, 156, 316	Regelschleife	281
OV	280, 290, 314, 329	Reihen-Parallel-Schaltung	196
Oxiddicke	234	Reihenschwingkreis	30, 31, 46, 340, 344
<b>Paarbildung</b>	102	Rekombination	102, 190, 269
Papierkondensator	84	Rekombinationslicht	269
Parallelschwingkreis	47	Rekombinationsstrom	166
Parallelverfahren	304, 332	Rekombinationsvorgang	206, 247
Parameterliste	12, 20, 37	Remanenzflussdichte	154
Parametric-Sweep	30, 31, 92, 146, 207, 223, 237, 250, 252, 254, 329, 336, 337	Resonanzfall	318, 321
Pegel	26, 353	Resonanzfrequenz	33, 47, 92, 151, 277, 317, 324, 344, 347
Periodendauer	40, 46, 63, 70	Responsivity	261
Periodensystem	101	Ringkern	153
Permeabilität	87, 94	Ringspule	88
Permittivität	83	Rohrkondensator	83
Phasenanschnitt	233, 257	Rückkopplung	281
		Rückkopplungsfaktor	292

Rückkopplungsgrad	281	SKIN-Effekt	92, 150
Rückkopplungsschleife	281	Slew-Rate	286
Rückwärtsbetrieb	245	SMD	192
Ruhestrom-Kompensation	290	SMD-Kondensator	84
		SMD-Widerstand	78
Sättigungsbereich	125, 171, 174, 181, 240	SNR	262
Sättigungsspannung	171, 282, 302, 337	SOAR-Bereich	193, 200, 208, 215, 246
Sättigungsstrom	126, 127, 129, 155, 166, 170, 173, 177, 184, 234	Solarzelle	264
Schalenkern	91, 99	Solenoid	89
Schaltbelegungstabelle	138, 139	Source	169, 173
Schaltdiode	127, 135, 137, 140	Sourceschaltung	184
Schalter	37, 55, 220, 241	Spannungsfestigkeit	83
Schalter, bidirektionaler	227, 230	Spannungsgegenkopplung	281
Schaltfrequenz	244	Spannungsrückwirkung	194
Schalthyserese	302	Spannungsstabilisierung	143, 253
Schaltrichtung	228	Spannungsteiler	19, 28, 188, 189, 201, 216
Schaltsschwelle	224, 304, 333	Spannungsübertragungsfaktor	300
Schalttransistor	191, 221	Spannungsverdoppler	67
Schaltverstärker	188, 221	Spannungsverstärkung	216
Schaltvorgang	37	Speicher-Varaktor	145, 146
Schaltzeit	221	Spektralbereich	260
Scheibenkondensator	83	Sperrbereich	31, 193, 308, 317
Schichtkondensator	84	Sperrerrholzeit	131, 132
Schichtpotentiometer	78	Sperrschicht	247
Schichtwiderstand	78	Sperrschicht-FET	169, 170, 178, 240
Schleifenverstärkung	281, 288, 292	Sperrschichtkapazität	126, 127, 136, 137, 145, 155, 164, 166, 177, 182, 209, 234, 245
Schleiferstellung	17	Sperrschichtladung	136
Schleusenspannung	125, 128, 129, 132, 138, 139, 147, 155, 166, 270	Sperrschichttemperatur	193
SCHMITT-Trigger	302	Sperrschichttiefe	234
SCHOTTKY-Diode	147, 148, 166	Sperrschicht-Varaktor	145
SCHOTTKY-Fotodiode	263	Sperrspannung	126
SCHOTTKY-Kontakt	147	Sperrstrom	126, 132
Schwellenspannung	111, 120, 234	Spitzendiode	132
Schwellspannung	174, 234	Spitzenwertgleichrichter	306
Schwellwertschalter	302	Spule	86, 88, 93
Schwingkreis	29	Stabilisierungsfaktor	144, 161, 254
Schwingung, harmonische	23	Stabilisierungsschaltung	164
SCR	226	Steilheit	176, 179, 182, 213, 224
Selbsterregung	281	Stellwiderstand	19
Selektivität	318, 344	Step-recovery-Diode	146
Sendediode	272	Sternschaltung	34
S-FET	177, 239	Steueranschluss	226, 228
SI-Einheit	275	Steuerelektrode	173
Signaldiode	128	Steuer-Gate	225
Signalflussplan	281	Steuerspannung	189, 229, 240
Single-Inline	149	Steuerstrom	117, 120, 227, 229, 230, 232, 257
Skalierung	14	Störstellenleitung	103
		Stoßionisation	141

Strahldichte	274	Transferkennlinie	170, 171, 173, 176, 179, 235
Strahlstärke	274	Transferstrom	190
Strahlung, elektromagnetische	259	Transformator	35, 62, 72, 93, 99, 133, 153
Strahlungsenergie	260, 274	Transienten-Analyse	21, 24, 37, 41, 46, 53, 67, 71, 154, 199, 230, 237, 278, 294, 303, 330
Strahlungsfluss	260, 274	Transient-Funktion	25
Strahlungsflussdichte	274	Transistor-Ersatzschaltbild	225
Strahlungsgröße	274	Transitfrequenz	212, 213, 286, 287
Strahlungskenngröße	260	Transitzeit	127, 136, 155, 211, 234, 245
Strahlungsleistung	260, 274	Transkonduktanz-Koeffizient	179
Strahlungsleistung, rauschäquivalente	262	Transport-Sättigungsstrom	205, 206, 245, 250
Strahlungsmenge	260, 274	Transportstrom	205, 247
Strangspannung	34	Triac	226, 230, 258
Stromflusswinkel	233, 258	Trimmer	85
Stromgegenkopplung	281	TSCHEBYSCHJEFF-Charakteristik	313, 316, 343
Stromquelle	70	TTL-Pegel	138, 139, 224, 244
Stromquelle, spannungsgesteuerte	169, 190, 305, 336	Überkopfzündung	228
Stromquelle, stromgesteuerte	190	Übersetzungsverhältnis	36, 93
Stromübertragungsfaktor	272, 277	Übersteuerungsbedingung	222
Stromverstärkung	195, 205, 206, 208, 245, 248	Übersteuerungsbereich	193, 208, 209, 222
Stromverstärkung, komplexe	212	Übersteuerungsfaktor	223
Stromverstärkungsgruppe	194	Übersteuerungsgrenze	223
Stützwert	324	Übertragungsfunktion	54, 309
Summenverstärker	297, 305, 325	Übertragungsfunktion, komplexe	314, 322, 338, 344
Sweep-Funktion	13	Übertragungskennlinie	224, 241, 282, 285
Tastverhältnis	45, 63, 244	Übertragungsleitwert	177, 179, 211
Temperaturabhängigkeit	146, 148, 157, 250	Übertragungssystem	317
Temperaturdrift	220, 291	Übertragungsverhalten	195
Temperaturrexponent	127, 166, 206, 245, 250	Übertragungsvierpol	29, 143, 192, 340, 344, 353
Temperaturkoeffizient	80, 81, 83, 97, 106, 108, 110, 178, 180, 206, 245	Umkehr-Addierer	297
Temperaturspannung	105, 126	Umkehrverstärker	293, 330
Temperatur-Sweep	80, 107, 109, 146, 156	Umschalter	67
Thermistor	106	Umsetzgeschwindigkeit	304
Thermostrom	105	UND-Gatter	139
Threshold voltage	174	Unipolartransistor	168, 188
Thyristor	168, 225, 226, 230, 257	Universaldiode	67, 125
Thyristorkennlinie	230	Valenzband	102, 103
Thyristortetrode	226	Varaktor-Diode	145
Tiefpass	28, 54, 279, 286, 308, 338	Varistor	110, 120
Tiefpasscharakteristik	318	Verarbeitungsbreite	304, 335
Tiefpassflanke	318, 319	Verarmungstyp	170, 173, 234, 243, 341
Tiefpasswirkung	309, 312, 324, 341	Verlustfaktor	83, 87, 98
Tiefstwertgatter	138, 158	Verlustleistung	112, 141, 159, 171, 192, 193, 222, 275
Toleranz	79, 120, 315	Verlustleistungshyperbel	138, 144, 163, 172
Topfkern	153	Verlustwiderstand	30, 31, 32, 83, 87
Toroid	89		
Trafoblech	88, 90		

Verstärker 193, 280, 293  
 Verstärker, invertierender 221, 239, 253  
 Verstärkung 187, 316, 353  
 Verstärkung, komplexe 217, 220, 286, 299, 311, 318  
 Verstärkungs-Bandbreite-Produkt 287  
 Verstärkungsfaktor, komplexer 281  
 Verstimmung 317, 346  
 Verzögerungszeit 67, 70, 233, 258  
 Vierpol 77, 93, 116, 193, 195  
 Vierquadranten-Kennlinienfeld 192, 198  
 Vierschichtdiode 225  
 Vierschichtelement 225  
 Voltmeter 20  
 Vorladung 329  
 Vorwärtsbetrieb 193, 205, 245  
  
**Wärmeleitwert** 112, 115  
 Wechselschalter 37, 39  
 Wechselspannungsquelle 20  
 Wechselspannungsverstärker 293  
 Wechselstromgegenkopplung 185, 188, 202, 215, 237  
 Wechselstromquelle 20  
 Wechselstromschalter 232, 257  
 Wellenlänge 112, 260, 264, 275  
 Welligkeitsfaktor 134  
 Wickelkondensator 83  
 Wicklungskapazität 92, 93  
 Wicklungsverluste 87, 99  
 Wicklungswiderstand 92  
 Widerstand 12, 28, 30, 37, 78, 96, 150  
 Widerstand, differentieller 75, 118, 120, 126, 130, 156, 161  
  
**Zählverfahren** 304  
 Z-Diode 127, 141, 143, 159, 163, 253, 282  
 Zeitkonstante 41, 63, 64, 69, 132, 239, 286, 300, 306, 331  
 ZENER-Effekt 141  
 Z-Spannung 141, 142, 143, 254  
 Zünddiode 233  
 Zündempfindlichkeit 268  
 Zünden 227  
 Zündgeschwindigkeit 229  
 Zündimpuls 232, 257  
 Zündspannung 232  
 Zündspannungskennlinie 228  
 Zündstrom 268

Zündstromquelle 232  
 Zündung 268  
 Zündzeit 229  
 Zündzeitpunkt 233  
 Zustand, eingeschwungener 22  
 Zweifachgegenkopplung 314, 322, 340, 344  
 Zweipol 76, 96, 123  
 Zweipoltheorie 223  
 Zweirichtungs-Thyristordiode 226  
 Zweirichtungs-Thyristortriode 226  
 Zweiweggleichrichtung 133  
 Zylinderspule 88, 150

### **PSPICE-Analysemaßnahmen (Übersicht):**

**AC-Analyse** 53  
 AC-Parametric-Sweep 29, 57, 62, 343  
 AC-Sweep 25, 27, 28, 30, 31, 53, 86, 145, 150, 165, 212, 238, 252, 289, 292, 295, 311, 315, 328, 343, 353  
  
**DC-Analyse** 276  
 DC-Main-Sweep 13, 17, 156, 172, 175, 194, 241, 254, 270, 273  
 DC-Nested-Sweep 17, 18, 81, 116, 156, 172, 175, 194, 241, 267, 270, 273  
 DC-Sweep 77, 94, 111, 116, 128, 148, 153, 155, 162, 166, 171, 175, 180, 194, 203, 224, 230, 250, 285, 335, 336  
  
 Nested Sweep 82, 162, 180  
 Netzliste 128, 142, 165, 178, 247, 292, 296, 315, 334, 348  
  
**Output-Variable** 29, 32, 38, 94, 111, 156, 157, 316  
  
 Parameterliste 12, 20, 37  
 Parametric-Sweep 30, 31, 92, 146, 207, 223, 237, 250, 252, 254, 329, 336, 337  
  
**Sweep-Funktion** 13  
  
**Temperatur-Sweep** 80, 107, 109, 146, 156  
 Transienten-Analyse 21, 24, 37, 41, 46, 53, 67, 71, 154, 199, 230, 237, 278, 294, 303, 330  
 Transient-Funktion 25