

E. E. E. Hoefler H. Nielinger

SPICE

Analyseprogramm für elektronische Schaltungen
Benutzerhandbuch mit Beispielen

Mit 162 Abbildungen und 36 Tabellen



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo

Inhaltsverzeichnis

<u>1 Einführung</u>	7
1.1 Geschichte	7
1.2 Mathematische Methoden in SPICE	9
1.3 Die Programmstruktur von SPICE	16
1.4 Definitionen und Vereinbarungen	19
<u>2 Schaltelemente</u>	23
2.1 Numerische Werte	25
2.1.1 Zahlendarstellung	25
2.1.2 Maßstabsfaktoren	26
2.1.3 Einheiten	26
2.1.4 Optionale Angaben und Ersatzwerte	27
2.1.5 Genauigkeit der Ergebnisse	27
2.2 Passive Schaltelemente	28
2.2.1 Widerstand R	28
2.2.2 Kapazität C	30
2.2.3 Induktivität L	32
2.2.4 Gekoppelte Induktivitäten K	34
2.2.5 Verlustlose Leitung T	37
2.3 Gesteuerte Quellen	38
2.3.1 Lineare gesteuerte Quellen	38
2.3.1.1 Lineare spannungsgesteuerte Stromquelle G	38
2.3.1.2 Lineare spannungsgesteuerte Spannungsquelle E ...	39
2.3.1.3 Lineare stromgesteuerte Stromquelle F	40
2.3.1.4 Lineare stromgesteuerte Spannungsquelle H	41
2.3.2 Nichtlineare gesteuerte Quellen	42
2.3.2.1 Nichtlineare spannungsgesteuerte Stromquelle G ...	43
2.3.2.2 Nichtlineare spannungsgesteuerte Spannungsquelle E	45
2.3.2.3 Nichtlineare stromgesteuerte Stromquelle F	47
2.3.2.4 Nichtlineare stromgesteuerte Spannungsquelle H ...	49

2.4	Unabhängige Quellen V , I	51
2.4.1	Gleichspannungsquelle DC	53
2.4.2	Zeitabhängige Quellen	54
2.4.2.1	Pulsquelle PULSE	54
2.4.2.2	Sinusquelle SIN	57
2.4.2.3	Exponentialquelle EXP	59
2.4.2.4	Polygonquelle PWL	61
2.4.2.5	Frequenzmodulierte Sinusquelle SFFM	62
2.4.3	Kleinsignal - Wechselquelle AC	63
2.4.4	Kombinierte Quellen	64
2.5	Halbleiterelemente	65
2.5.1	Diode D	66
2.5.2	Bipolartransistor Q	69
2.5.3	Sperrschicht - Feldeffekttransistor J	72
2.5.4	MOS - Feldeffekttransistor M	74
3	<u>Analysearten</u>	77
3.1	Ergebnisausgabe .PRINT , .PLOT	78
3.1.1	Steuerung des Ein- und Ausgabe - Formats .WIDTH	81
3.2	Gleichstromanalyse	82
3.2.1	Gleichstrom - Arbeitspunkt .OP	82
3.2.2	Gleichstrom - Kennlinie .DC	83
3.2.3	Gleichstrom - Kleinsignal - Vierpolparameter .TF	85
3.2.4	Gleichstrom - Empfindlichkeiten .SENS	86
3.2.5	Gleichstrom - Anfangsbedingungen .NODESET	87
3.3	Einschwinganalyse .TRAN	89
3.3.1	Anfangsbedingungen für die Einschwinganalyse	90
3.3.2	Fourieranalyse .FOUR	94
3.4	Wechselstrom - Kleinsignalanalyse .AC	96
3.5	Verzerrungsanalyse .DISTO	98
3.6	Rauschanalyse .NOISE	101
3.7	Temperaturanalyse .TEMP	105
3.8	Parametervariation .ALTER	106

<u>4 Beschreibung der internen Halbleitermodelle</u>	107
4.1 Diode D	107
4.1.1 Statisches Verhalten	108
4.1.2 Dynamisches Verhalten	108
4.1.3 Temperaturabhängigkeit	109
4.1.4 Kleinsignalmodell	110
4.1.5 Rauschmodell	111
4.2 Bipolartransistor NPN , PNP	112
4.2.1 Statisches Verhalten	112
4.2.2 Dynamisches Verhalten	114
4.2.3 Temperaturabhängigkeit	115
4.2.4 Kleinsignalmodell	116
4.2.5 Rauschmodell	119
4.3 Sperrschicht - Feldeffekttransistor NJF , PJF	120
4.3.1 Statisches Verhalten	121
4.3.2 Dynamisches Verhalten	122
4.3.3 Temperaturabhängigkeit	122
4.3.4 Kleinsignalmodell	122
4.3.5 Rauschmodell	124
4.4 MOS - Feldeffekttransistor NMOS , PMOS	125
4.4.1 Statisches Verhalten	127
4.4.2 Dynamisches Verhalten	129
4.4.3 Temperaturabhängigkeit	130
4.4.4 Kleinsignalmodell	131
4.4.5 Rauschmodell	132
<u>5 Teilschaltungen</u> .SUBCKT	133
5.1 Allgemeine Teilschaltung	133
5.2 Makromodell eines bipolaren Operationsverstärkers	135
<u>6 Optionen</u> .OPTIONS	140
6.1 Programm- und Laufzeitstatistiken	144

<u>7 Beispiele</u>	146
7.1 Emittungsverstärker	146
7.1.1 DC - Analyse	146
7.1.2 Analyse der Verzerrungen	152
7.1.3 Rauschen	157
7.2 Linearer Übertrager	161
7.3 Simulation von Leitungen in der Digitaltechnik (TTL)	165
7.3.1 Ungekoppelte Leitungen	165
7.3.2 Gekoppelte Leitungen	170
7.4 Kippschaltungen	174
7.4.1 Flip - Flop	174
7.4.2 Schmitt - Trigger	175
7.4.3 Astabiler Multivibrator	179
7.5 Entwurf und Simulation eines CMOS - Operationsverstärkers	182
7.5.1 Einleitung	182
7.5.2 Elementare Theorie für die Dimensionierung	182
7.5.2.1 Quasistatische Kleinsignalverstärkung der Differenzverstärkerstufe	183
7.5.2.2 Quasistatische Kleinsignalverstärkung der zweiten Stufe	184
7.5.2.3 Kleinsignalverstärkung des Gesamtverstärkers bei Berücksichtigung von Kapazitäten und Kompensation	185
7.5.3 Festlegungen für die Verstärkerdimensionierung	186
7.5.4 Dimensionierung des CMOS - Operationsverstärkers	187
7.5.5 Simulation des entworfenen CMOS - Operationsverstärkers	190
7.6 Aktiver RC-Bandpaß mit Operationsverstärkern	194
7.7 Colpitts - Oszillator	200
<u>8 Bezugsquellen und Literaturhinweise</u>	203
<u>9 Literaturverzeichnis</u>	207
<u>10 Stichwortverzeichnis</u>	217