

Inhoud

1. Eigenschappen van elektronische componenten

1.1	Inleiding	11
1.2	Halfgeleider materiaal	12
1.3	Eigenschappen van halfgeleiderjuncties	13
1.3.1	Juncties	13
1.3.2	Spice parameters van junctiecapaciteiten	15
1.4	MOS transistoren	16
1.4.1	Het statische gedrag	16
1.4.2	Detailering van het MOSFET model	18
1.4.3	De MOS transistor als analoge schakelaar	20
1.4.4	Klein-signaalmodellen voor MOSFET	20
1.4.5	SPICE parameters	22
1.5	Junctiefets	22
1.5.1	Het statische gedrag	22
1.5.2	De JFETs als regelbare weerstand en als analoge schakelaar	26
1.5.3	Klein-signaalmodellen voor JFETs	26
1.5.4	SPICE parameters voor JFETs	27
1.6	Eigenschappen van de bipolaire transistor	28
1.6.1	Samenvatting van het groot-signaalgedrag	28
1.6.2	Klein-signaalhoogfrequentgedrag van de bipolaire transistor	31
1.7	Combinatietransistoren	36
1.7.1	Vermindering van de invloed van basisstromen	36
1.7.2	Vermindering van de invloed van het Early effect	38
1.8	Een vergelijking tussen de verschillende actieve componenten	39
1.9	Passieve componenten	40
1.9.1	Geleiders	40
1.9.2	Condensatoren	45
1.9.3	Spoelen en transformatoren	46
1.9.4	Weerstanden	49
1.10	Vraagstukken bij hoofdstuk 1	51

2. Ruis en elektromagnetische storingen; selectiviteit

2.1	Ruisorzaken en modellen	57
2.1.1	Thermische ruis (thermal noise, Johnson noise)	57
2.1.2	Hagelruis (shot noise)	59
2.1.3	Flikkerruis (flicker noise, 1/f noise)	59
2.1.4	Avalanche/zenerruis	60
2.2	Rekenen met ruis	60
2.3	Ruis in transistoren	64
2.4	Stoorsignalen (interference, storingen)	65
2.4.1	Inductieve (magnetische) koppeling	66
2.4.2	Capacitieve (elektrische) koppeling	67
2.4.3	Resistieve koppeling	69

2.4.4	EM-koppeling, afscherming en aarde	69
2.5	Selectiviteit	70
2.6	Selectiviteit voor instelsignalen	73
2.7	Vraagstukken bij hoofdstuk 2	77
3.	Tegenkoppeling en compensatie	83
3.1	Inleiding	83
3.2	Compensatie	84
3.3	Algemene eigenschappen van teruggekoppelde lineaire systemen	85
3.4	Het tegenkoppelen van spanningen en stromen	90
3.4.1	Versterkende elementen: nullors, opamps en OTA's	90
3.4.2	Bronnen en belastingen	92
3.4.3	Configuraties voor het tegenkoppelen van stroom en spanning .	94
3.5	Het asymptotic-gain model	99
3.5.1	Principe	99
3.5.2	Berekening van in- en uitgangsimpedanties van tegengekoppelde schakelingen	102
3.5.3	De lusversterking is geen nnieke grootheid	105
3.6	Toepassingen van het asymptotic-gain model	106
3.6.1	De shuntrap	106
3.6.2	Een spanningsversterker met terugkoppeling over meerdere trappen 110	
3.6.3	Een stroomversterker met terugkoppeling over meerdere trappen	114
3.6.4	Tussenbalans	115
4.	Schakelingen voor het opwekken van stromen en spanningen	121
4.1	Spanningsreferenties	121
4.1.1	De zenerdiode	122
4.1.2	De basis-emitterspanning als referentie	124
4.1.3	Het verschil ΔU_{BE} van de basis-emitterspanningen van twee transistoren als referentie	128
4.1.4	Bandgapreferenties	129
4.1.5	De voedingsspanning	130
4.2	De vorming en kopiëring van instelstromen	130
4.3	Verbeterde schakelingen om stromen te kopiëren	134
5.	Instelling	143
5.1	Principes	143
5.2	Instelling met behulp van de tegenkoppeling	148
5.2.1	Instelling met behulp van de signaaltegenkoppeling	148
5.2.2	Instellen met behulp van aparte tegenkoppelcircuits	150
5.3	Stroominstelling door gebruik te maken van compensatie en balancering	152
5.4	Potentiaalverschuivingen en compensatie van spanningen	153
5.5	Het koppelen van versterkertrappen	155
5.6	Combinaties van tegenkoppeling en balancering	156
5.6.1	Een spanningsversterker uitgevoerd met bipolaire transistoren	156

5.6.2	Tussenbalans	157
5.6.3	Low-voltage, low-power schakelingen	158
6.	Verschilversterkers, opamps, OTA's en instrumentatieversterkers	163
6.1	Inleiding	163
6.2	Verschilversterkers	164
6.2.1	Balansschakelingen	164
6.2.2	Kwaliteitsparameters van een verschilversterker	164
6.2.3	Verschilversterkers met actieve belasting, OTA's	167
6.3	Rail-to-rail verschilversterkers, low-voltage schakelingen	169
6.4	Inversie	172
6.5	Een voorbeeld van een monolithische gelijkspanningsversterker	174
6.6	Eigenschappen van opamps	175
6.6.1	Offset en ingangs-bias-stroom	176
6.6.2	Ruis in opamps	179
6.6.3	Open-loop gain en bandbreedte	179
6.6.4	Slew rate	180
6.6.5	Common-mode rejection ratio (CMRR) en power-supply rejection ratio (PSRR)	181
6.6.6	Andere specificaties	182
6.7	De instrumentatieversterker	182
7.	Stabiliteit en bandbreedte	191
7.1	Inleiding	191
7.2	Stabiliteit van teruggekoppelde systemen	192
7.2.1	Vrije trillingen en karakteristieke vergelijkingen	192
7.2.2	Lusversterking GH met twee polen waarvan één in de oorsprong	196
7.2.3	Lusversterking CH met één pool	196
7.2.4	Lusversterking GH met twee polen en één nulpunt	197
7.3	Bode diagrammen	198
7.3.1	Beoordeling van de stabiliteit en bandbreedte met behulp van Bode diagrammen	198
7.3.2	De invloed van hogere-orde polen en nulpunten	199
7.4	Methoden om de stabiliteit van een teruggekoppeld systeem te verbeteren 201	
7.5	Stabiliteit en bandbreedte van schakelingen met opamps	205
7.6	Het hoog-frequent gedrag van versterkertrappen	208
7.7	Enkeltrapsversterkers	212
7.8	Meertrapsversterkers	214
8.	Oscillatoren	223
8.1	Inleiding	223
8.2	Relaxatieoscillatoren	224
8.2.1	Principe	224
8.2.2	Ladingsprongoscillatoren	227
8.3	Harmonische oscillatoren	230

8.3.1	De twee-integratoroscillator	230
8.3.2	Resonatoroscillatoren	233
8.3.3	RC oscillatoren	242
9.	Schakelingen voor niet-lineaire signaalbewerkingen	253
9.1	Inleiding	253
9.2	Begrenzers (limiters, clippers)	254
9.2.1	Het principe	254
9.2.2	De aard van de signalen	256
9.2.3	Nauwkeurigheid	258
9.2.4	Protectiediodes	258
9.3	Gelijkrichters	260
9.4	Spanningsvergelijking (voltage comparators)	262
9.4.1	Principe	262
9.4.2	Parasitaire oscillaties en ruis	262
9.4.3	Eigenschappen van comparatoren	264
9.4.4	Enkele eenvoudige ontwerpen	265
9.5	Elektronische schakelaars en geschakelde bipolaire transistoren	266
9.5.1	Inleiding	266
9.5.2	Schakelaars met JFETs	267
9.5.3	Schakelaars met CMOS transistoren	270
9.5.4	Schakeltijden; clock feedthrough, break-before-make	272
9.5.5	Toepassingen van schakelaars	274
9.5.6	Schakelfuncties met dioden en bipolaire transistoren	277
10.	Uitwerkingen bij de opgaven	291
10.1	Inleiding	291
10.2	O oplossingen	291
	Referenties	313
	Index	317