

OBSAH

	<i>Předmluva</i>	11
	<i>Glosář</i>	12
A.	Operační zesilovač	21
I.	<i>Základní pojmy</i>	22
1.	Operační zesilovač	22
2.	Operační síť	24
3.	Ideální operační zesilovač a ideální operační síť	25
	Shrnutí	26
	Literatura	26
II.	<i>Parametry operačního zesilovače</i>	27
4.	Lineární parametry a lineární model	27
4.1	Vstupní rušivé zdroje	29
4.2	Vstupní offset a drift	30
4.3	Vstupní šum	33
4.4	Zesílení. Diferenční vstupní odpor a výstupní odpor	36
4.5	Potlačení souhlasného napětí. Souhlasné vstupní odpory	40
5.	Nelineární parametry	43
6.	Doba ustálení a doba zotavení	46
	Shrnutí	47
	Literatura	47
III.	<i>Vlastnosti operačního zesilovače</i>	48
7.	Bipolární vstupní stupeň	48
7.1	Vstupní zbytkové napětí	51
7.2	Teplotní drift vstupního zbytkového napětí	53
7.3	Vliv dalších zesilovacích stupňů	57
7.4	Vstupní klidový a zbytkový proud	57
7.5	Vstupní šum	59
7.6	Diferenční vstupní odpor	65
7.7	Potlačení souhlasného napětí. Souhlasné vstupní odpory	65
8.	Unipolární vstupní stupeň	68
8.1	Vstupní zbytkové napětí	75
8.2	Teplotní drift vstupního zbytkového napětí	76
8.3	Sekundární vlivy	79
8.4	Potlačení souhlasného napětí	80
8.5	Vstupní klidový proud	81
8.6	Vstupní šum	82
9.	Konstrukční úpravy vstupního stupně	84
10.	Koncový stupeň	85
11.	Kmitočtová korekce	86
	Shrnutí	91
	Literatura	94

IV.	<i>Druhy operačních zesilovačů</i>	96
12.	Hlediska třídění operačních zesilovačů	96
12.1	Technologie výroby	96
12.2	Obvodová technika	98
12.3	Druh signálových vstupů	99
12.4	Programovatelnost	99
12.5	Výstupní výkon	100
12.6	Aplikační zaměření	100
13.	Konstrukční příklady	106
13.1	Univerzální bipolární operační zesilovač	106
13.2	Univerzální unipolární operační zesilovač	107
13.3	Přístrojový operační zesilovač	107
13.4	Elektrometrický operační zesilovač	110
13.5	Širokopásmový operační zesilovač	111
13.6	Impulsní unipolární operační zesilovač	113
13.7	Programovatelný mikropříkonový operační zesilovač	115
13.8	Výkonový operační zesilovač	116
13.9	Invertující modulační operační zesilovač	116
13.10	Neinvertující modulační operační zesilovač	117
13.11	Varaktorový operační zesilovač	121
	Shrnutí	121
	Literatura	123
V.	<i>Měření operačního zesilovače</i>	124
14.	Ofset a šum	126
14.1	Vstupní zbytkové napětí	126
14.2	Drift vstupního zbytkového napětí	127
14.3	Vstupní klidové proudy a vstupní zbytkový proud	129
14.4	Drift vstupního klidového a vstupního zbytkového proudu	130
14.5	Vstupní šumové napětí	130
14.6	Vstupní šumové proudy	133
14.7	Praskavý šum	138
15.	Zesílení. Vstupní a výstupní impedance	140
15.1	Stejnoseměrné zesílení	140
15.2	Tranzitní kmitočet	142
15.3	Výstupní odpor	143
15.4	Stejnoseměrné zesílení při zatížení	144
15.5	Diferenční vstupní odpor	146
15.6	Diferenční vstupní kapacita	146
16.	Potlačení souhlasného napětí. Souhlasné vstupní impedance	147
16.1	Stejnoseměrné potlačení	147
16.2	Souhlasné vstupní odpory	148
16.3	Souhlasná vstupní kapacita	149
17.	Měřič stejnosměrných parametrů	149
18.	Statické nelinearity	152
18.1	Jmenovité výstupní napětí a jmenovitý výstupní proud	152
18.2	Jmenovité souhlasné vstupní napětí	154
19.	Dynamické nelinearity	154
19.1	Mezní výstupní rychlost přeběhu	154
19.2	Mezní výkonový kmitočet	157
20.	Provozní parametry	157
20.1	Klidový napájecí proud	157
20.2	Výstupní zkratový proud	157
20.3	Nulování ofsetu	159
21.	Doba ustálení	160

	Shrnutí	160
	Literatura	161
B.	Operační síť	163
<i>VI.</i>	<i>Ideální operační síť</i>	<i>164</i>
22.	Druhy operačních sítí	164
22.1	Druh zpětné vazby	164
22.2	Linearita	166
22.3	Obor kmitočtů	167
22.4	Aplikační určení	167
23.	Paralelní operační síť	168
23.1	Proudově napěťový převodník	168
23.2	Proudový zesilovač	170
23.3	Napěťový invertor	170
23.4	Sumátor	172
23.5	Obecný invertor	173
23.6	Odporový článek T	174
23.7	Logaritmický zesilovač	175
23.8	Diodový omezovač	176
23.9	Analogový spínač	176
23.10	Integrátor	177
24.	Sériová operační síť	178
24.1	Napěťový zesilovač	178
24.2	Napěťový sledovač	179
24.3	Napěťově proudový převodník	180
25.	Složené operační síť	180
25.1	Signálové buzení obou vstupů	180
25.2	Několikanásobná zpětná vazba	184
25.3	Kombinace záporné a kladné zpětné vazby	184
25.4	Operační síť s několika zesilovači	188
25.5	Nestandardní zapojení operačního zesilovače	189
	Shrnutí	189
	Literatura	190
<i>VII.</i>	<i>Analýza reálné operační sítě</i>	<i>191</i>
26.	Zpětnovazební poměr	193
26.1	Definice zpětnovazebního poměru	193
26.2	Příklady výpočtu zpětnovazebního poměru	196
27.	Operační rovnice	200
27.1	Obecný tvar operační rovnice	200
27.2	Ukázkový příklad	203
28.	Zesílení operační sítě	204
28.1	Základní tvar zesílení operační sítě	204
28.2	Zesílení operační sítě a zpětnovazební poměr	206
28.3	Kmitočtová charakteristika zesílení operační sítě	207
28.4	Příklady výpočtu zesílení operační sítě	209
29.	Dynamické chování vybraných operačních sítí	215
29.1	Neinvertující zesilovač	215
29.2	Napěťový invertor	218
29.3	Integrátor	219
29.4	Řízený zdroj proudu	222
29.5	Vliv dopředného přenosu	224
	Shrnutí	229
	Literatura	230

VIII.	<i>Statické a dynamické chyby v kmitočtové oblasti</i>	232
30.	Vektorová, amplitudová a fázová chyba	233
30.1	Definice chyb	233
30.2	Dynamické chyby jednopólového zpožďovacího članku	236
30.3	Vliv statické chyby	238
30.4	Filtr druhého řádu	239
31.	Statické chyby	239
31.1	Chyba způsobená stejnosměrným zesílením	239
31.2	Chyba způsobená stejnosměrným potlačením	240
31.3	Chyba způsobená souhlasným vstupním odporem	241
31.4	Chyby způsobené zpětnovazebním obvodem	242
31.5	Kompenzace statických chyb	245
32.	Dynamické chyby	247
32.1	Chyba způsobená zesílením rozpojené smyčky	247
32.2	Chyba způsobená dopředným přenosem	251
32.3	Chyba způsobená souhlasnou vstupní kapacitou	253
32.4	Kompenzace dynamických chyb	254
33.	Měření chyb	260
33.1	Měření statických chyb	260
33.2	Měření dynamických chyb	260
	Shrnutí	262
	Literatura	264
IX.	<i>Dynamické chyby v časové oblasti</i>	265
34.	Doba ustálení operační sítě	265
34.1	Exponenciální skoková odezva	266
34.2	Vliv mezní rychlosti přeběhu	268
34.3	Vliv zesílení operační sítě	270
35.	Kmitočtové dvojče	271
35.1	Kvalitativní vysvětlení dlouhého doběhu	272
35.2	Lineární analýza	277
35.3	Optimální poloha kmitočtového dvojčete	281
36.	Kapacita sčítacího uzlu	284
36.1	Ustálení napětového invertoru	284
36.2	Kompenzace vstupní kapacity	287
37.	Rychlostní chyba	288
37.1	Rychlostní chyba neinvertujícího zesilovače	290
37.2	Rychlostní chyba integrátoru	291
38.	Měření doby ustálení	292
	Shrnutí	298
	Literatura	300
X.	<i>Vstupní a výstupní impedance</i>	301
39.	Vstupní impedance operační sítě	301
39.1	Blackmanův imedanční vztah	301
39.2	Proudová a napětová definice vstupní impedance	304
39.3	Příklady výpočtu vstupní impedance	305
40.	Výstupní impedance operační sítě	309
40.1	Proudová a napětová definice výstupní impedance	309
40.2	Příklady výpočtu výstupní impedance	310
	Shrnutí	312
	Literatura	313
XI.	<i>Ofset</i>	314
41.	Základní vztahy	314
41.1	Výstupní a vstupní rušení operační sítě	314

41.2	Šumové zesílení	316
41.3	Zjednodušený výpočet výstupního a vstupního rušení	317
41.4	Ofset operační sítě	320
42.	Ofset jednoduchých operačních sítí	320
42.1	Napěťový invertor	320
42.2	Oporové vyvážení operační sítě	324
42.3	Interakce zesílení a ofsetu. Překompenzovaný invertor	327
42.4	Sumátor	329
42.5	Proudově napěťový převodník p	330
42.6	Oporový článek T	332
42.7	Napěťový sledovač	334
42.8	Neinvertující zesilovač	335
42.9	Proudový zesilovač	336
42.10	Derivátor	338
42.11	Analogová paměť	339
42.12	Integrátor	340
42.13	Rozdílový zesilovač	342
42.14	Měřicí zesilovač	343
42.15	Logaritmický zesilovač	345
43.	Ofset způsobený zpětnovazebním obvodem	347
43.1	Termoelektrická napětí	347
43.2	Zemní úbytky	351
43.3	Svodové proudy	352
44.	Nulování ofsetu operační sítě	355
44.1	Nulování napěťové složky ofsetu operační sítě	357
44.2	Nulování proudové složky ofsetu operační sítě	358
	Shrnutí	358
	Literatura	360
XII.	Šum	362
45.	Filtrace šumu	362
45.1	Šumová šířka pásma	363
45.2	Jednopolová dolní propust	364
45.3	<i>m</i> -násobná dolní propust	367
45.4	Butterworthova dolní propust <i>m</i> -tého řádu	367
45.5	Jednoduchá pásmová propust	369
45.6	Filtrace barevného šumu	370
46.	Nízkofrekvenční šum operační sítě	373
46.1	Šum napěťového sledovače	374
46.2	Vliv souhlasné vstupní kapacity	378
46.3	Teoretická mez měření šumového proudu	379
46.4	Šum proudově napěťového převodníku	380
46.5	Vliv kapacit operační sítě	383
47.	Širokopásmový šum operační sítě	385
47.1	Šum napěťového invertoru	385
47.2	Rezonanční zvětšení šumu	386
48.	Interferenční šum	388
	Shrnutí	390
	Literatura	391
XIII.	Stabilita	393
49.	Zpětnovazební stabilita	393
49.1	Absolutní stabilita. Nyquistovo kritérium stability	394
49.2	Relativní stabilita. Fázová a amplitudová bezpečnost	397
49.3	Odvozené ukazatele relativní stability. Rezonanční převýšení a poměrný překmit	400

49.4	Operační síť ν -tého řádu	404
49.5	Operační síť druhého řádu	408
49.6	Výstupní kapacitní zátěž	414
50.	Kmitočtová korekce operační sítě	420
50.1	Korekce derivátoru	420
50.2	Izolace kapacitní zátěže	424
50.3	Korekce vstupní kapacity	428
50.4	Operační síť s přidavným boosterem	431
50.5	Korekce operačního zesilovače	432
50.6	Blokování napájecích přívodů	439
50.7	Praktická stabilizace operační sítě	439
	Shrnutí	440
	Literatura	442
XIV.	<i>Dobré laboratorní praktiky</i>	443
	<i>Souhrnné tabulky</i>	451
	<i>Rejstřík</i>	468