

# OBSAH

PŘEDMLUVA .....	11
<b>I. ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....</b>	<b>13</b>
1. Proč operační zesilovač .....	13
2. Rozdílový operační zesilovač napěťový .....	14
3. Ideální operační zesilovač .....	14
4. Neinvertující zapojení s ideálním operačním zesilovačem .....	17
5. Neinvertující zapojení s neideálním operačním zesilovačem .....	20
6. Jak ovlivňuje neinvertující zapojení operačního zesilovače předcházející obvody? .....	23
7. Invertující zapojení operačního zesilovače .....	24
8. Jak ovlivňuje invertující zapojení operačního zesilovače předcházející obvody? .....	28
9. Co se skrývá v symbolické značce? .....	29
10. Jak skutečně zesiluje? .....	31
11. Když nejsou tranzistory stejné .....	33
12. Za co může korekční kapacita? .....	35
13. Základní údaje v katalogu .....	39
14. Závěrečná poznámka .....	42
<b>II. REÁLNÝ OPERAČNÍ ZESILOVAČ .....</b>	<b>44</b>
15. Lineární parametry a model OZ .....	44
16. Nelineární a dynamické parametry, provozní vlastnosti .....	49
17. Kmitočtové vlastnosti zesilovače .....	52
18. Příklady konstrukce reálného operačního zesilovače .....	56
18.1. Bipolární operační zesilovače .....	57
18.2. Operační zesilovače s tranzistory řízenými polem .....	59
19. Rozdělení operačních zesilovačů .....	61
<b>III. ZPĚTNÁ VAZBA, STABILITA A KOREKCE .....</b>	<b>63</b>
20. Zpětná vazba a Nyquistovo kritérium stability .....	63
20.1 Korekce operačních zesilovačů .....	71
20.2. Korekce na vstupu OZ .....	72
20.3 Korekce ve „vnitřních“ bodech OZ .....	73
20.4 Korekce kapacity zátěže .....	74
20.5 Výběr korekce .....	76
21. Vliv záporné zpětné vazby na vlastnosti zesilovače .....	78
21.1 Změna zesílení $A_z$ se změnou $A$ .....	82
21.2 Potlačení vlivu šumů a poruch .....	83

21.3	Vliv zpětné vazby na zkreslení .....	84
21.4	Vliv zpětné vazby na vstupní impedanci .....	84
21.5	Vliv zpětné vazby na výstupní impedanci .....	86
21.6	Aplikace na operační zesilovače .....	88
<b>IV.</b>	<b>DYNAMICKÉ VLASTNOSTI OZ A JEJICH SOUVISLOST S ČINITELEM NELINEÁRNÍHO ZKRESLENÍ</b> .....	<b>97</b>
22.	Omezení proudu - příčina konečné rychlosti přeběhu i zkreslení .....	98
23.	Kritérium pro určení rychlosti přeběhu pro zesilovače NF .....	100
<b>V.</b>	<b>ŠUMY OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ</b> .....	<b>103</b>
24.	„Sečítání šumů“ .....	103
25.	Šumová šířka pásma .....	105
26.	Druhy šumu .....	106
27.	Výpočet výstupního šumového napětí a reálné OZ .....	108
28.	Šumy poruch .....	110
29.	Princip konstrukce zesilovačů s malými šumy .....	113
<b>VI.</b>	<b>ZÁSADY PRO PRÁCI S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI</b> .....	<b>117</b>
30.	Statická elektřina .....	117
31.	Ochrana vstupů a výstupů .....	118
32.	Napájení OZ .....	120
33.	Ošetření napájecích napětí a zásady zemnění .....	121
34.	Kompenzace parazitních kapacit spojů .....	130
35.	Kompenzace napěťové a proudové nesymetrie vstupů .....	131
36.	Zvětšení proudového a napěťového rozsahu .....	133
37.	Rozšíření pracovní oblasti pomocí stejného zesilovače .....	136
37.1	Rozšíření frekvenčního rozsahu .....	137
37.2	Zvětšení výstupního proudu .....	139
38.	Výběr operačního zesilovače .....	141
39.	Boucherotův člen .....	141
39.1	Transport náboje přes kapacitu .....	142
39.2	Klidový proud $I_{CCO}$ , příčné přepínací proudy .....	145
39.3	Měření zesilovačů bez zátěže .....	146
39.4	Závěr .....	148
<b>VII.</b>	<b>ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI</b> .....	<b>152</b>
40.	Invertující a neinvertující zesilovač .....	152
	Úkol 40.1 Stanovení přenosu neinvertujícího zesilovače .....	158
	Úkol 40.2 Ztrátový výkon a oteplení přechodu .....	160
	Úkol 40.3 Frekvenční závislost zesílení a doba náběhu $t_n$ .....	161



	Úkol 40.4 Určení korekční kapacity .....	162
	Úkol 40.5 Výpočet korekční kapacity .....	166
	Úkol 40.6 Úhel fázové rezervy .....	167
41.	Součtový invertující zesilovač .....	168
42.	Rozdílový zesilovač .....	168
	Úkol 42.1 Současná realizace součtu a rozdílu .....	171
43.	Rozdílový zesilovač s velkým vstupním odporem (přístrojový) .....	173
44.	Integrační zesilovač .....	174
	Úkol 44.1 Integrační obvod s „vybitím“ .....	177
45.	Derivační zesilovač .....	180
46.	Logaritmický zesilovač .....	182
	Úkol 46.1 Stabilita logaritmického zesilovače .....	183
47.	Exponenciální převodník „zpětnovazební“ .....	187
	Úkol 47.1 Realizace exponenciálního převodníku .....	188
48.	Obvod umocňování napětí .....	189
49.	Zesilovač s exponenciálním řízením zesílení .....	190
50.	Funkční generátor .....	191
51.	Analogová násobička .....	192
52.	Jednocestný usměrňovač .....	195
53.	Precizní dvoucestný usměrňovač .....	196
54.	Rychlý jednocestný usměrňovač .....	198
55.	Doba rozpojení diodového typu zpětné vazby operačního zesilovače ....	199
56.	Vrcholový detektor .....	210
57.	Precizní omezovač .....	211
	Úkol 57.1 Oboustranný omezovač .....	213
	Úkol 57.2 Symetrický omezovač .....	214
58.	Obnovitel stejnosměrné složky řízený napětím .....	215
59.	Zdroje napětí .....	218
	Úkol 59.1 Stabilizátor napětí (zvětšený výstupní proud, omezení proudu) .....	221
	Úkol 59.2 Stabilizátor napětí .....	223
	Úkol 59.3 Číslicově řízený zdroj napětí .....	227
	Úkol 59.4 Stabilizátor napětí s omezením výkonové ztráty .....	228
	Úkol 59.5 Vlečný (sledovací) stabilizátor napětí .....	231
60.	Zdroje proudu .....	233
	Úkol 60.1 Zdroj proudu s uzemněnou zátěží .....	236
	Úkol 60.2 Zdroj proudu pro malé hodnoty výstupního proudu .....	238
	Úkol 60.3 Zdroj proudu s uzemněnou zátěží (Howlandův) .....	240
61.	Komparátory .....	242
	Úkol 61.1 Schmittův klopný obvod .....	248
62.	Převodníky proud - napětí .....	250
63.	Amplitudový selektor .....	251

64.	Indikátor napětí (okénkový diskriminátor).....	252
65.	Zesilovače s nastavitelným zesílením .....	253
66.	Nastavení amplitudy a polarity signálu jediným potenciometrem .....	256
	Úkol 66.1 Přepínač polarity zesílení .....	261
	Úkol 66.2 Analogový spínač s nulovým výstupním odporem .....	262
67.	Multiplexor (přepínač) analogových signálů .....	263
68.	Vzorkovací zesilovač .....	265
69.	Mústkový zesilovač.....	267
70.	Kapacitní násobič (řízený) .....	269
71.	Syntetická indukčnost (gyrátor) .....	270
72.	Lineární převodník teploty na napětí .....	271
	Úkol 72.1 Lineární převodník teploty na napětí .....	272
73.	Dvou vodičový snímač (čidlo).....	274
74.	Optoelektronický převodník .....	275
75.	Monostabilní obvod .....	276
76.	Astabilní obvody .....	277
	Úkol 76.1 Generátor obdélníkového napětí s nastavitelnou střídou ...	288
	Úkol 76.2 Číslicově (napětově) řízený generátor pilového napětí ...	289
77.	Kompresní zesilovače .....	292
78.	Generátory harmonických signálů (oscilátory) .....	293
78.1	Generátor s fázovým posuvem 180° ve zpětnovazební smyčce .....	304
79.	Převodníky napětí - frekvence .....	307
80.	Základní měřicí zapojení operačních zesilovačů .....	316
	Úkol 80.1 Zapojení pro určení $U_{IO}$ , $I_{IB}$ , $I_{IO}$ .....	316
	Úkol 80.2 Vliv omezení výstupního proudu ( $I_{omax}$ ) na výstupní napětí ..	318
	Úkol 80.3 Zapojení pro určení zesílení bez zpětné vazby - $ \bar{A}_v $ .....	318
	Úkol 80.4 Zapojení pro určení vlivu změn napájecího napětí .....	319
	Úkol 80.5 Ekvivalentní napětí vstupního šumu .....	320
	Úkol 80.6 Přeslech mezi zesilovači .....	321
81.	Měření ss proudového zesílení tranzistorů .....	322
<b>VIII.</b>	<b>OPERAČNÍ ZESILOVAČE V TECHNICE NF .....</b>	<b>326</b>
<b>VIIIa.</b>	<b>FILTRY S OZ (AKTIVNÍ FILTRY) .....</b>	<b>326</b>
82.	Popis přenosových charakteristik .....	326
82.1	Dolní propusti (aproximace) .....	329
	Butterworthova aproximace (Butterworthovy filtry).....	329
	Čebyševova aproximace (Čebyševovy filtry) .....	332
	Besselova aproximace (Besselovy filtry, Thomsonovy) .....	335
82.2	Minimální řád dolní propusti .....	337
82.3	Horní propusti (aproximace) .....	338
83.	Realizace přenosových funkcí typu DP 1. a 2. řádu a řazení do kaskád ...	340
	Úkol 83.1 Aktivní dolní propust 1. řádu (integrátor) .....	348



Úkol 83.2 Dolní propust 2. řádu (zesilovač invertující - - s konečným zesílením K - filtr Sallen - Key) .....	351
Úkol 83.3 Butterworthova dolní propust 2. řádu .....	355
Úkol 83.4 Číslicově řízená dolní propust .....	356
84. Realizace přenosových funkcí typu HP 1. a 2. řádu a řazení do kaskád ...	358
Úkol 84.1 Horní propust (derivátor) .....	364
Úkol 84.2 Horní propust 2. řádu .....	365
Úkol 84.3 Číslicově řízená horní propust .....	367
85. Jiné typy filtrů .....	368
86. Realizace PP 2. řádu .....	372
87. Vliv prvního pólu operačního zesilovače na vlastnosti pásmové propusti (s invertujícím zesilovačem) .....	373
87.1 Analýza zapojení .....	374
87.2 Zatížení výstupu zesilovače, vstupní impedance .....	376
87.3 Zapojení s reálnými operačními zesilovači .....	377
87.4 Postup návrhu při $C_3 = C_4 = C$ .....	380
87.5 Postup návrhu při $C_3 \neq C_4, R_2 = \infty$ .....	382
87.6 Závěr .....	382
Úkol 87.1 Číslicově řízená pásmová propust a dolní propust 2. řádu ..	385
Úkol 87.2 Napětím řízená pásmová propust a dolní propust 2. řádu ..	387
88. Pásmové zádrže .....	388
89. Realizace filtrů 2. řádu se třemi (čtyřmi) OZ (state variable) .....	391
90. Fázovací články .....	398
91. Pásmová propust s vazbou typu „bootstrap“ .....	400
91.1 Princip činnosti pásmové propusti .....	400
91.2 Stabilita struktury .....	403
91.3 Realizace pásmové propusti s operačními zesilovači .....	404
92. Korektory .....	409
<b>VIIIb. VÝKONOVÉ ZESILOVAČE .....</b>	<b>413</b>
<b>IX. ZÁKLADNÍ STRUKTURY ZESILOVAČŮ .....</b>	<b>416</b>
93. Diferenční napěťový operační zesilovač - shrnutí .....	416
94. Nortonův zesilovač .....	419
95. Zesilovače s proudovou zpětnou vazbou .....	428
96. Srovnání struktur .....	434
97. Transkonduktanční zesilovač - OTA .....	435
97.1 Základní schéma .....	435
97.2 Linearizační diody .....	438
97.3 Oddělovací zesilovač .....	439
97.4 Oblast použití OTA .....	440
98. Current conveyor - „proudový převodník“ .....	447

<b>X.</b>	<b>PERSPEKTIVNÍ OPERAČNÍ ZESILOVAČE</b> .....	452
99.	Některé moderní OZ .....	452
100.	Zesilovače RAIL-TO-RAIL .....	457
100.1	Základní obvodové principy .....	458
<b>XI.</b>	<b>ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY</b> .....	462
	Operační zesilovače jako podsystém, programovatelná analogová pole .....	462
	Operační zesilovač v teorii obvodů .....	463
	Vztah mezi číslicovou a analogovou technikou .....	465
	K literatuře .....	466
	Úplně na závěr .....	467
<b>XII.</b>	<b>LITERATURA</b> .....	468
<b>XIII.</b>	<b>REJSTŘÍK</b> .....	478

## PŘÍLOHA

Program VISIO, kterým byly kresleny obrázky v této knize .....	486
Knihy nakladatelství BEN - technická literatura .....	490
Prodejní místa BEN - technická literatura .....	495
Pár slov o nakladatelství BEN - technická literatura .....	496

