

# OBSAH

Předmluva . . . . .	13
<b>I ● ÚVOD . . . . .</b>	<b>15</b>
1.1 Analogové počítače a automatizace . . . . .	15
Hybridní počítače . . . . .	17
Druhy analogových počítačů . . . . .	17
Vývoj analogových počítačů . . . . .	18
1.2 Jednoduchý příklad analogového výpočtu . . . . .	18
1.3 Kmitočtová metoda řešení zpětnovazebních systémů . . . . .	22
1.3.1 Sestrojování amplitudových a fázových charakteristik . . . . .	22
1.3.2 Přenosové funkce zpětnovazebních systémů . . . . .	30
1.3.3 Kritéria a podmínky stability . . . . .	32
1.4 Zásady řešení tranzistorových obvodů . . . . .	36
1.4.1 Symboly základních veličin tranzistorových obvodů . . . . .	36
1.4.2 Přenos základních tranzistorových stupňů . . . . .	37
1.4.3 Korekční obvody . . . . .	43
Jednoduché stupně s pasívní impedancí mezi vstupní a výstupní svorkou . . . . .	44
Pasívní korekční členy . . . . .	45
Vícestupňové zpětnovazební korekční obvody . . . . .	47
1.4.4 Tranzistor jako zdroj konstantního proudu . . . . .	52
1.4.5 Parametry tranzistorů . . . . .	53
1.4.6 Šum odporů a tranzistorů . . . . .	54
1.5 Základní pojmy analogové počítačové techniky . . . . .	56
<b>A. ANALOGOVÉ A HYBRIDNÍ POČÍTAČÍ PRVKY . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>II ● POČÍTAČÍ ZESILOVAČE . . . . .</b>	<b>59</b>
2.1 Vytváření lineárních operací s počítačemi zesilovači . . . . .	59
2.1.1 Ideální počítač zesilovač s jednoduchým vstupem . . . . .	60
Základní zapojení počítačového zesilovače . . . . .	61
Vytváření složitějších operací . . . . .	65
Použití počítačových zesilovačů v měřicích přístrojích . . . . .	68
2.1.2 Ideální rozdílový počítač zesilovač . . . . .	75
Základní operace vytvářené s ideálním rozdílovým počítačem zesilovačem . . . . .	77
Příklady dalších zapojení . . . . .	79

2.1.3	Vlastnosti reálných počítačích zesilovačů . . . . .	84
	Reálný počítač zesilovač s jednoduchým vstupem . . . . .	85
	Reálný rozdílový počítač zesilovač . . . . .	93
2.2	Přímo vázané počítač zesilovače . . . . .	98
2.2.1	Příklad podrobné analýzy aktivní části přímo vázaného rozdílového zesilovače . . . . .	99
	Stejnoseměrný obvod aktivní části . . . . .	99
	Stejnoseměrné zesílení . . . . .	103
	Závislost zesílení na kmitočtu . . . . .	104
	Rušivé vstupní signály . . . . .	107
	Přenosové vlastnosti celého počítač zesilovače . . . . .	109
2.2.2	Variety zapojení rozdílových zesilovačů . . . . .	113
	Rozdílový zesilovač s tranzistory $n-p-n$ a $p-n-p$ . . . . .	113
	Variety koncových částí . . . . .	115
	Jištění koncového stupně . . . . .	122
	Zpětnovazební potlačování vlivu součtového signálu . . . . .	122
	Úprava dynamických vlastností aktivní části . . . . .	124
2.2.3	Rozdílové počítač zesilovače řešené technikou integrovaných obvodů . . . . .	125
2.2.4	Širokopásmové rozdílové zesilovače . . . . .	137
	Zesilovače s omezeným počtem stupňů . . . . .	138
	Zesilovače s paralelními zesilovacími kanály . . . . .	139
2.2.5	Přímo vázané počítač zesilovače se sníženým vstupním proudem a zvýšenou vstupní impedancí . . . . .	144
2.3	Modulační počítač zesilovače . . . . .	146
2.3.1	Analýza modulačního počítač zesilovače . . . . .	147
	Přenosové konstanty spínacího modulátoru a demodulátoru . . . . .	148
	Analýza st zesilovače . . . . .	150
	Přenosy vnější smyčky . . . . .	152
2.3.2	Modulátory a demodulátory . . . . .	153
	Kontaktní modulátory . . . . .	153
	Modulátory s tranzistory řízenými polem . . . . .	154
	Fotoelektrické modulátory . . . . .	156
	Tranzistorové modulátory . . . . .	156
	Kapacitní modulátory . . . . .	156
	Demodulátory . . . . .	157
2.3.3	Střídavé zesilovače . . . . .	157
2.3.4	Variety sestav modulačních zesilovačů . . . . .	158
2.3.5	Generátory modulačních napětí . . . . .	159
2.4	Počítač zesilovače s automatickým nulováním . . . . .	161
2.4.1	Podrobná analýza činnosti aktivní části automaticky nulovaného počítač zesilovače . . . . .	163
	Popis činnosti . . . . .	164
	Přenosová funkce aktivní části . . . . .	164
	Přenos typických zapojení počítač zesilovače . . . . .	169
	Rušivé signály . . . . .	170
	Filtrační obvody . . . . .	170
2.4.2	Jednoduché variety zapojení automaticky nulovaných počítačích zesilovačů . . . . .	173
2.4.3	Automaticky nulované počítač zesilovače s širokým pásmem zesílení . . . . .	180
2.5	Počítač, parazitní a korekční impedance a pomocné obvody . . . . .	187
2.5.1	Počítač odpory . . . . .	188



2.5.2	Počítací kondenzátory . . . . .	190
2.5.3	Korekční impedance . . . . .	192
	Chyby sčítačky a integrátoru při přenosu sinusových napětí . . . . .	192
	Kruhová zkouška . . . . .	194
	Korekce vlivu velké kapacitní a indukční zátěže . . . . .	197
2.5.4	Korekce rušivých signálů $u_d$ a $i_d$ . . . . .	199
2.5.5	Omezovače rozsahu výstupních napětí . . . . .	201
2.6	Zásady zapojování, napájení, zemnění a mechanická konstrukce . . . . .	202
2.6.1	Zemnění . . . . .	202
2.6.2	Napájecí zdroje . . . . .	202
2.6.3	Konstrukční řešení . . . . .	204
III	● PASÍVNÍ POČÍTAČÍ PRVKY . . . . .	205
3.1	Sčítací obvody . . . . .	205
3.1.1	Jednoduchý sčítací mnohopól . . . . .	205
3.1.2	Vliv nepřesnosti sčítacích odporů . . . . .	207
3.1.3	Sčítání napětí spojením do série . . . . .	208
3.1.4	Symetrické sčítací mnohopóly . . . . .	208
3.1.5	Symetrický sčítací prvek pro větší počet výstupních napětí . . . . .	213
3.1.6	Symetrický sčítací mnohopól s konstantními vstupními i výstupními odpory . . . . .	214
3.1.7	Obecný případ symetrického mnohopólu . . . . .	215
3.1.8	Přesnost odporů sčítacích symetrických obvodů . . . . .	216
3.2	Pasívní elektrické obvody pro integraci a derivaci . . . . .	218
3.3	Počítací potenciometry . . . . .	219
3.3.1	Konstrukce počítacích potenciometrů . . . . .	220
3.3.2	Základní charakteristiky potenciometru . . . . .	222
3.3.3	Šum potenciometru . . . . .	223
3.3.4	Výstupní odpor potenciometru . . . . .	224
3.3.5	Zatížený potenciometr . . . . .	225
3.3.6	Vytváření funkčních závislostí na lineárním potenciometru . . . . .	226
3.3.7	Lineární potenciometr s odbočkami a bočníky . . . . .	228
3.3.8	Potenciometry pro trigonometrické funkce . . . . .	229
3.3.9	Přesnost potenciometru, napájeného střídavým napětím . . . . .	230
3.4	Počítací prvky, složené z proměnných odporů . . . . .	232
3.4.1	Články s konstantním vstupním i výstupním odporem . . . . .	234
3.4.2	Článek pro symetrické napětí . . . . .	236
3.5	Počítací prvky pro střídavou počítací síť . . . . .	238
3.5.1	Sčítání střídavých napětí . . . . .	238
3.5.2	Kapacitní sčítací prvky . . . . .	239
3.5.3	Rozkladač (rezolver) . . . . .	241
3.5.4	Linvar (induktivní potenciometr) . . . . .	246
3.5.5	Počítací autotransformátor . . . . .	247
3.5.6	Autotransformátor s odbočkami a interpolací výstupního napětí po- mocí linvaru . . . . .	248
3.5.7	Kapacitní počítací prvky . . . . .	250
3.5.8	Laděný kapacitní počítací prvek . . . . .	251
3.5.9	Integrace střídavého napětí . . . . .	253

3.5.10	Důsledky omezeného frekvenčního rozsahu střídavých zesilovačů a střídavých počítačích prvků . . . . .	255
3.5.11	Zesilovače střídavého napětí . . . . .	256
<b>IV ●</b>	<b>ELEKTROMECHANICKÉ, SERVOMECHANICKÉ A MECHANICKÉ POČÍTAČÍ PRVKY . . . . .</b>	<b>259</b>
4.1	Tachogenerátory . . . . .	259
4.1.1	Tachodynamo . . . . .	259
4.1.2	Střídavý tachogenerátor . . . . .	261
4.2	Počítači servomechanismus . . . . .	262
4.2.1	Základní funkce . . . . .	262
4.2.2	Korekční obvody stejnosměrných servomechanismů . . . . .	263
4.2.3	Návrh počítačíservomechanismu . . . . .	266
4.2.4	Chyby počítačíservomechanismu . . . . .	269
4.3	Servomechanická počítačís zařízení . . . . .	272
4.3.1	Servonásobička . . . . .	272
4.3.2	Sledovač křivek . . . . .	273
4.3.3	Servomechanický integrátor . . . . .	274
4.4	Mechanické počítačís prvky . . . . .	275
4.4.1	Mechanické diferenciály . . . . .	275
4.4.2	Mechanický integrátor . . . . .	276
4.4.3	Třírozměrné funkční těleso . . . . .	278
4.5	Elektromechanické generátory funkcí dvou proměnných . . . . .	278
4.5.1	Generátor funkce dvou proměnných používající ekvipotenciálních čar . . . . .	278
4.5.2	Generátor funkce dvou proměnných používající nelineárních potenciometrů . . . . .	279
4.5.3	Aproximace funkcí součtem součinů jednotlivých proměnných . . . . .	279
4.6	Dodatek — základní principy teorie servomechanismu . . . . .	280
<b>V ●</b>	<b>NELINEÁRNÍ POČÍTAČÍ OBVODY . . . . .</b>	<b>286</b>
5.1	Využití prvků s přirozenou funkční závislostí . . . . .	286
5.1.1	Násobičky založené na Hallově jevu (Hallový násobičky) . . . . .	287
	Jednoduchá Hallova násobička . . . . .	288
	Zpětnovazební Hallova násobička . . . . .	289
	Zesilovač s proudovou zpětnou vazbou a induktivní zátěží . . . . .	291
5.1.2	Varistorové funkční generátory . . . . .	294
5.1.3	Logaritmické funkční generátory a násobičky . . . . .	298
	Jednoduché logaritmické násobičky a děličky . . . . .	301
	Logaritmické zesilovače . . . . .	303
	Logaritmické násobičky a děličky . . . . .	308
5.2	Komparátory, spínače a přepínače . . . . .	311
5.2.1	Komparátory . . . . .	311
5.2.2	Spínací prvky . . . . .	315



Diody . . . . .	316
Bipolární tranzistory . . . . .	316
Tranzistory řízené polem . . . . .	317
5.2.3 Diodové můstky . . . . .	318
5.2.4 Tranzistorové spínače a přepínače . . . . .	321
5.2.5 Příklady nelineárních obvodů s komparátory a přepínači . . . . .	322
5.3 Aproximace funkčních závislostí lomenými čarami . . . . .	324
5.3.1 Základní diodové omezovače . . . . .	325
5.3.2 Spojení diodového omezovače s počítačím zesilovačem . . . . .	327
5.3.3 Zlepšené omezovací obvody . . . . .	330
5.3.4 Přehled typických nelinearit . . . . .	333
5.3.5 Dynamické vlastnosti diodových omezovačů . . . . .	335
5.3.6 Tranzistorové omezovače . . . . .	337
5.3.7 Nastavitelné funkční generátory . . . . .	337
5.3.8 Zásady syntézy pevně zapojených diodových generátorů . . . . .	341
5.3.9 Diodové generátory funkcí dvou i více proměnných . . . . .	347
5.3.10 Diodové násobičky . . . . .	348
5.4 Násobičky s nosnou vlnou . . . . .	352
5.4.1 Pulsní násobičky . . . . .	352
Principy šířkové a amplitudové modulace pravouhlé vlny . . . . .	352
Aktivní dolnoproputné filtry . . . . .	357
Přesné pulsní násobičky . . . . .	359
Jednoduché pulsní násobičky . . . . .	360
5.4.2 Kvadratické násobičky s trojúhelníkovou vlnou . . . . .	363
5.4.3 Násobičky založené na dvojí modulaci sinusové vlny . . . . .	365
5.5 Obrazkově nelineární prvky . . . . .	367
5.5.1 Obrazkové generátory funkčních závislostí . . . . .	367
5.5.2 Obrazková násobička s elektrostatickým a elektromagnetickým vychylováním paprsků . . . . .	369
5.5.3 Obrazková násobička s kruhovým paprskem . . . . .	370
<b>VI ● ČÍSLICOVÉ A KOMBINOVANÉ PRVKY HYBRIDNÍCH POČÍTAČŮ</b> . . . . .	<b>371</b>
6.1 Úvod . . . . .	371
6.2 Logické funkce a logické obvody . . . . .	372
6.3 Paměťové prvky . . . . .	377
6.3.1 Čítače . . . . .	381
6.3.2 Monostabilní klopný obvod . . . . .	382
6.4 Převodníky analogově-číslicové a číslicově-analogové . . . . .	383
6.4.1 Převodník číslo—napětí . . . . .	383
6.4.2 Převodníky napětí—číslo . . . . .	385
6.4.3 Porovnávací převodník . . . . .	386
6.4.4 Převodníky typu hřídel—číslo . . . . .	388
6.4.5 Kód se změnou v jednom řádu (Grayův kód) . . . . .	389
6.4.6 Odstranění neurčitosti čtení zdvojením kontaktů . . . . .	391
6.4.7 Kontaktní a fotoelektrické převodníky . . . . .	392
6.4.8 Převodníky s čítačem . . . . .	394
6.4.9 Převodníky číslo—hřídel . . . . .	395

6.5	Hybridní počítačící prvky . . . . .	396
6.5.1	Generování funkcí pomocí číslicové paměti . . . . .	396
6.5.2	Kombinované analogově-číslicové počítačící prvky . . . . .	397
B.	ANALOGOVÉ POČÍTAČÍ SYSTÉMY . . . . .	399
VII ●	VYTVÁŘENÍ POČÍTAČÍCH SÍTÍ . . . . .	399
7.1	Spojování počítačících prvků do počítačících řetězců a počítačících sítí . . . . .	399
7.1.1	Úvod . . . . .	399
7.1.2	Klasifikace počítačících prvků . . . . .	400
7.2	Lineární diferenciální rovnice . . . . .	404
7.2.1	Homogenní diferenciální rovnice s konstantními koeficienty . . . . .	404
7.2.2	Nehomogenní lineární diferenciální rovnice s konstantními koeficienty . . . . .	404
7.2.3	Systém lineárních diferenciálních rovnic . . . . .	407
7.2.4	Lineární diferenciální rovnice s proměnnými koeficienty a nelineární diferenciální rovnice . . . . .	409
7.3	Řešení nelineárních rovnic s použitím servomechanismů . . . . .	410
7.3.1	Implicitní funkce jedné proměnné . . . . .	410
7.3.2	Řešení soustavy nelineárních rovnic s užitím servomechanismů . . . . .	414
7.4	Měřítka . . . . .	415
7.4.1	Amplitudová měřítka . . . . .	415
7.4.2	Časové měřítka . . . . .	416
7.5	Můstková zapojení . . . . .	417
7.6	Mnohofázové střídavé počítačící sítě . . . . .	419
7.6.1	Součet a součin dvojrozměrných vektorů . . . . .	420
7.6.2	Realizace výsledného vektoru . . . . .	421
7.7	Modelování dopravního zpoždění . . . . .	423
7.7.1	Paděho aproximace . . . . .	423
7.7.2	Dopravní zpoždění modelované kondenzátorovou pamětí . . . . .	425
7.7.3	Modelování dopravního zpoždění s použitím magnetické páskové paměti . . . . .	427
7.8	Řešení diferenčních rovnic a impulsních řídicích soustav . . . . .	427
7.8.1	Diferenční rovnice . . . . .	427
	Modelování impulsních řídicích soustav . . . . .	429
7.9	Metody řešení, používající opakovaných cyklů simulace . . . . .	431
7.9.1	Iterace . . . . .	431
7.10.	Řešení parciálních diferenciálních rovnic . . . . .	433
7.11	Řešení lineárních algebraických rovnic . . . . .	434
7.11.1	Řešení lineárních algebraických rovnic na univerzálním analogovém počítači . . . . .	434



7.11.2	Řešení soustavy lineárních rovnic s komplexními koeficienty . . .	437
7.11.3	Přesnost řešení . . . . .	438
7.12	Řešení kořenů algebraických rovnic . . . . .	440
7.12.1	Řešení kořenů algebraických rovnic na univerzálním analogovém počítači . . . . .	440
7.12.2	Jednoúčelové analogové počítače pro řešení kořenů algebraických rovnic . . . . .	441
7.13	Řešení korelačních funkcí. . . . .	450
7.14	Přesnost analogového výpočtu . . . . .	450
	Odhad přesnosti. . . . .	453
7.15	Příklady analogových počítačích sítí . . . . .	454
VIII ● POMOCNÉ OBVODY . . . . .		462
8.1	Prostředky k řízení a kontrole výpočtu. . . . .	462
8.1.1	Úplná zapojení vnějšího obvodu počítačích zesilovačů . . . . .	463
	Příprava k výpočtu. . . . .	464
	Výpočtové režimy . . . . .	465
	Kontrolní režimy. . . . .	468
8.1.2	Integrační zesilovače s elektronickým ovládním . . . . .	471
	Univerzální integrační zesilovač s elektronickým řízením . . . . .	471
	Vzorkovací zesilovače a integrační zesilovače se zrychleným zadáváním počátečních podmínek . . . . .	474
8.1.3	Prostředky k časovému řízení výpočtových režimů . . . . .	480
	Analogové časové systémy. . . . .	480
	Číslicové časové systémy . . . . .	482
8.2	Prostředky k nastavení parametrů počítačích sítí . . . . .	485
8.2.1	Nastavování potenciometrů . . . . .	485
8.2.2	Servomechanické nastavování . . . . .	486
8.2.3	Normálové potenciometry . . . . .	490
8.2.4	Adresové systémy . . . . .	493
8.2.5	Číslicové potenciometry . . . . .	493
8.3	Prostředky k zapojení úlohy . . . . .	495
8.3.1	Výměnné programové desky . . . . .	496
8.3.2	Systémy automatického záznamu a kontroly zapojení programové desky . . . . .	497
8.3.3	Výměnné impedanční jednotky. . . . .	498
8.4	Generátory vstupních signálů . . . . .	498
8.4.1	Generátory sinusových napětí . . . . .	499
8.4.2	Generátory vln nesinusového průběhu. . . . .	502
8.4.3	Univerzální generátor periodických napětí . . . . .	503
8.4.4	Šumové generátory . . . . .	506
	Modulační šumové generátory . . . . .	507
	Aktivní pásmové propusti . . . . .	510
	Generátor náhodných procesů . . . . .	511
8.5	Prostředky k měření, indikaci a záznamu výsledků výpočtů . . . . .	513
8.5.1	Galvanometrické zapisovače . . . . .	515

8.5.2	Servomechanické zapisovače . . . . .	518
8.5.3	Souřadnicové zapisovače . . . . .	521
8.6	Stabilizátory ss napětí . . . . .	524
8.6.1	Dvojice stabilizátorů pro napájení počítačích zesilovačů . . . . .	524
8.6.2	Stabilizátory počítačích napětí . . . . .	527
<b>IX</b>	<b>● ANALOGOVÉ A HYBRIDNÍ POČÍTAČE . . . . .</b>	<b>529</b>
9.1	Elektronické univerzální analogové počítače . . . . .	529
9.1.1	Malé univerzální analogové počítače . . . . .	535
9.1.2	Iterační počítače . . . . .	546
9.1.3	Univerzální analogové počítače středního a velkého rozsahu . . . . .	551
9.2	Univerzální hybridní výpočtové systémy . . . . .	554
9.3	Odporové počítací sítě pro řešení parciálních diferenciálních rovnic . . . . .	556
9.4	Jednouúčelové analogové počítače . . . . .	560
9.5	Číslicový diferenciální analyzátor . . . . .	561
	Literatura . . . . .	566
	Rejstřík . . . . .	570