

1 ZESILOVAČE 9

1.1	Úvod	10
1.2	Přehled integrovaných zesilovačů	11

2 OPERAČNÍ ZESILOVAČE (OZ) (OPERATIONAL 13

2.1	Stručně z historie operačních zesilovačů	14
2.2	Co je operační zesilovač	16
2.3	Ideální operační zesilovač s napět'ovou zpětnou vazbou (voltage feedback amplifiers, VFA)	19
2.3.1	Hlavní vlastnosti ideálního OZ	19
2.3.2	Základní zapojení ideálního operačního zesilovače1	22
2.3.2.1	Neinvertující zapojení zesilovacího stupně s OZ (Non-Inverting Op Amp) ...	24
2.3.2.2	Invertující zapojení zesilovacího stupně s OZ	28
2.3.2.3	Rozdílový (diferenční) zesilovač (Differential Op Amp)	33
2.3.2.4	Operační zesilovač jako invertující součtový zesilovač (Voltage Adder)	36
2.3.2.5	Složený zpětnovazební obvod	38
2.3.2.6	Obecný tvar invertujícího zapojení OZ	41
2.4	Reálný operační zesilovač s napět'ovou zpětnou vazbou	54
2.4.1	Zjednodušené schéma zapojení	54
2.4.2	Přehled technologií monolitických operačních zesilovačů	57
2.4.2.1	Bipolární operační zesilovače	57
2.4.2.2	CMOS operační zesilovače	60
2.4.2.3	Operační zesilovače BiFET	60
2.4.2.4	Operační zesilovače BiCMOS a BiMOS	61
2.4.3	Důležité vlastnosti reálného operačního zesilovače	61
2.4.3.1	Zjednodušený model operačního zesilovače	61
2.4.3.2	Vliv záporné zpětné vazby na velikost vstupní a výstupní impedance invertujícího a neinvertujícího zapojení OZ	64
2.4.3.3	Kladná a záporná saturace	66
2.4.3.4	Vliv konečné hodnoty zesílení otevřené smyčky	66
2.4.3.5	Potlačení souhlasného napětí (Common mode Rejection Ratio – CMRR) ..	73
2.4.3.6	Čitlivost na změnu napájecího napětí (PSRR – power supply rejection ratio, k_{SVR} – supply-voltage rejection ratio)	75

2.4.4	Důležité stejnosměrné parametry OZ	75
2.4.4.1	Vstupní napěťová nesymetrie, vstupní napěťový offset U_{IO} (Input Offset Voltage – V_{IO} , V_{OS})	75
2.4.4.2	Vstupní klidové proudy (Input Bias Currents, I_B)	77
2.4.4.3	Vstupní proudová nesymetrie (vstupní proudový offset) (input offset current – I_{IO} , I_{OS})	79
2.4.4.4	Celková chyba výstupního napětí způsobená vstupní napěťovou nesymetrií a vstupními klidovými proudy	81
2.4.5	Kmitočtové a přechodné charakteristiky operačních zesilovačů	84
2.4.5.1	Vnější kompenzace kmitočtové charakteristiky OZ	90
2.4.5.2	Vliv kapacit na vstupu a výstupu OZ na jeho stabilitu	92
2.4.5.3	Rychlost přeběhu – SR (Slew Rate)	97
2.4.6	Šumy v zapojeních s operačními zesilovači	101
2.5	Ideální operační zesilovač s proudovou zpětnou vazbou – transimpedanční zesilovač (current feedback amplifier, CFA, též CFB op amps)	107
2.5.1	Princip zesilovače s proudovou zpětnou vazbou (CFA)	107
2.5.2	Hlavní vlastnosti ideálního zesilovače s proudovou zpětnou vazbou	108
2.5.3	Základní zapojení OZ s proudovou zpětnou vazbou	109
2.5.3.1	Neinvertující zapojení OZ s proudovou zpětnou vazbou	110
2.5.3.2	Invertující zapojení OZ s proudovou zpětnou vazbou	111
2.6	Reálný operační zesilovač s proudovou zpětnou vazbou	112
2.6.1	Kmitočtové charakteristiky CFA	114
2.6.2	Porovnání hlavních vlastností operačních zesilovačů s napěťovou (VFA) a s proudovou (CFA) zpětnou vazbou	122
2.7	Operační zesilovače pro nízká napájecí napětí	125
2.7.1	Operační zesilovače s nesymetrickým (jednopolovým) napájením (Single Supply Op Amp)	126
2.7.1.1	Stejnosemná vazba zdroje signálu se vstupem zesilovače	127
2.7.1.2	Střídavá vazba zdroje signálu se vstupem zesilovače	134
2.7.2	Operační zesilovače se zvětšenými mezemi vstupního a výstupního napětí (rail to rail R–R, r to r)	136
2.8	Rozdělení operačních zesilovačů	141
2.8.1	Dělení OZ podle typu zpětné vazby	142
2.8.2	Dělení OZ podle použité technologie	142
2.8.3	Dělení OZ podle parametrů	144
2.9	Příklady aplikací operačních zesilovačů	147

3 PŘÍSTROJOVÉ (MĚŘICÍ) ZESILOVAČE 155

3.1	Co je přístrojový zesilovač	156
3.2	Rozdílové zesilovače	157
3.2.1	Přístrojový zesilovač se třemi operačními zesilovači	158
3.2.1.1	Potlačení souhlasného signálu CMRR	160
3.2.1.2	Vstupní napěťová nesymetrie	161
3.2.2	Základní zapojení přístrojového zesilovače složeného ze dvou operačních zesilovačů	162
3.2.3	Způsoby nastavení zesílení přístrojových zesilovačů	164
3.2.4	Přístrojové zesilovače s autonulováním	166
3.2.5	Hlavní vlastnosti přístrojových zesilovačů a jejich použití	167
3.2.6	Monolitické diferenční zesilovače	168
3.3	Poznámky k aplikacím přístrojových zesilovačů	169
3.4	Příklady použití přístrojových zesilovačů	170
3.4.1	Příklad měření signálu z tenzometrického můstku napájeného střídavým proudem	170
3.4.2	Nesymetrické napájení přístrojového zesilovače	171
3.4.3	Aplikace AD628	172

4 NAPĚŤOVÉ KOMPARÁTORY 175

4.1	Úvod	176
4.2	Princip funkce napěťového komparátoru	176
4.3	Obvodové uspořádání napěťových komparátorů	178
4.4	Komparační úroveň a hystereze	180
4.4.1	Komparační úroveň	180
4.4.2	Hystereze	180
4.4.3	Komparátor s hysterezí	182
4.4.3.1	Invertující zapojení komparátoru s hysterezí	182
4.4.3.2	Neinvertující zapojení komparátoru s hysterezí	184
4.5	Operační zesilovač ve funkci komparátoru	186
4.6	Použití komparátorů	188

5	AUDIO ZESILOVAČE	193
	Audio předzesilovače	194
	Výkonové audio zesilovače	195
	DODATKY	197
	DODATEK A	197
	DODATEK B	204
	DODATEK C	207
	DODATEK D	215
	LITERATURA	219
	REJSTŘÍK	224
	SLOVNÍČEK	227