

# Obsah

<b>VYSVĚTLIVKY POUŽITÝCH ZKRATEK</b>	<b>3</b>
<b>1. OPERAČNÍ ZESILOVAČE - ÚVOD</b>	<b>4</b>
1.1 <b>Ideální operační zesilovač</b>	<b>4</b>
1.1.1 Některé další vlastnosti ideálního operačního zesilovače	6
1.2 <b>Některé další vlastnosti reálných operačních zesilovačů</b>	<b>7</b>
1.2.1 Frekvenční vlastnosti operačního zesilovače	7
1.2.2 Rychlost přeběhu S (slew rate)	8
1.2.3 Přechodová charakteristika reálného operačního zesilovače	11
1.2.4 Vstupní klidové proudy operačního zesilovače	12
1.2.5 Vstupní proudový offset $I_{os}$ (vstupní proudová nesymetrie)	12
1.2.6 Vstupní napěťový offset (vstupní napěťová nesymetrie)	12
1.2.7 Proudový a napěťový drift	13
1.2.8 Činitel potlačení součtového signálu H (common mode rejection ratio)	13
1.2.9 Šum operačního zesilovače	13
1.3 <b>Napájení operačních zesilovačů</b>	<b>15</b>
<b>2 PROPORCIÁLNÍ STUPNĚ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI</b>	<b>17</b>
2.1 <b>Invertující zesilovač</b>	<b>17</b>
2.1.1 U-R diagram pro invertující zesilovač	22
2.1.2 Invertující zesilovač s děličem napětí na výstupu	22
2.1.3 Invertující sčítací zesilovač	23
2.2 <b>Neinvertující zesilovač</b>	<b>25</b>
2.3 <b>Sledovač signálu</b>	<b>27</b>
2.4 <b>Vliv zpětné vazby na vstupní a výstupní impedanci zesilovače</b>	<b>28</b>
2.4.1 Frekvenční vlastnosti operačních zesilovačů se zápornou zpětnou vazbou	29
2.4.2 Určení šířky frekvenčního pásma se zaručenou přesností	30
2.5 <b>Diferenční (rozdílový) zesilovač</b>	<b>31</b>
2.5.1 Můstkové zesilovače	33
2.5.2 Zásady používání diferenčních zesilovačů	34
2.6 <b>Přístrojové a izolační zesilovače</b>	<b>36</b>
2.7 <b>Převodníky napětí - proud</b>	<b>38</b>
2.7.1 Převodník proudu na napětí (i/u)	41
2.8 <b>Zesilovače s nastavitelným ziskem</b>	<b>41</b>
2.9 <b>Řízení zisku logickým signálem</b>	<b>45</b>
2.9.1 Zapojení zesilovače pro plynulé řízení zisku v rozsahu $(-1 < A_{Cl} < 1)$	47
<b>3 LINEÁRNÍ SYSTÉMY S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI</b>	<b>48</b>

<b>3.1</b>	<b>Integrátory s operačními zesilovači</b>	<b>48</b>
3.1.1	Invertující (Millerův) integrátor	48
3.1.2	Frekvenční vlastnosti reálného integrátoru	49
3.1.3	Přechodová charakteristika reálného integrátoru	50
3.1.4	Modifikace základního zapojení invertujícího integrátoru	52
3.1.5	Neinvertující integrátory	53
<b>3.2</b>	<b>Derivátory</b>	<b>56</b>
<b>3.3</b>	<b>Analogové regulátory</b>	<b>58</b>
<b>3.4</b>	<b>Gyrátory (pozitivní impedanční invertory)</b>	<b>59</b>
<b>3.5</b>	<b>Harmonické oscilátory</b>	<b>61</b>
3.5.1	Dvoufázový oscilátor	63
<b>4</b>	<b>AKTIVNÍ FILTRY</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>65</b>
4.1.1	Butterworthovy filtry	67
4.1.2	Příklad návrhu dolnoprostupného filtru	71
<b>4.2</b>	<b>Návrh pásmových propustí a zádrží</b>	<b>74</b>
4.2.1	Pásmové propusti	74
<b>4.3</b>	<b>Pásmové zádrže</b>	<b>76</b>
<b>4.4</b>	<b>Filtry se spínanými kondenzátory (SCF)</b>	<b>78</b>
4.4.1	Aliasing	80
4.4.2	Stabilita filtrů SCF	81
<b>4.5</b>	<b>Možnosti realizace filtrů SCF</b>	<b>81</b>
4.5.1	SCF filtry fy Thompson - SGF	82
4.5.2	Příklad filtru SCF firmy Texas Ins. TLC04	83
4.5.3	Filtry SCF firmy Linear Technology	84
4.5.4	FilterCAD – program pro návrh aktivních filtrů	85
<b>5</b>	<b>NELINEÁRNÍ APLIKACE OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ</b>	<b>91</b>
<b>5.1</b>	<b>Nelineární prvky v záporné zpětné vazbě operačních zesilovačů</b>	<b>91</b>
5.1.1	Diodové omezovače	91
5.1.2	Ideální dioda a obvody absolutní hodnoty	92
5.1.3	Nelineární funkční převodníky	93
5.1.3.1	Funkční převodník s rezistory ve zpětné vazbě	94
<b>5.2</b>	<b>Logaritmické a antilogaritmické zesilovače</b>	<b>95</b>
5.2.1	Logaritmická násobička	97
<b>5.3</b>	<b>Komparátory</b>	<b>97</b>
5.3.1	Vliv referenčního napětí invertujícího komparátoru na statickou charakteristiku	99
5.3.2	Neinvertující komparátor s kladnou zpětnou vazbou	99
5.3.3	Změna hystereze diodami	101
5.3.4	Nesymetrické napájení komparátorů s hysterezí	101
<b>5.4</b>	<b>Klopné obvody s operačními zesilovači</b>	<b>102</b>

5.4.1	Bistabilní klopné obvody	102
5.4.2	Astabilní klopný obvod	103
5.4.3	Monostabilní klopný obvod (MKO)	106
<b>6</b>	<b>GENERÁTORY TVAROVÝCH KMITŮ</b>	<b>109</b>
6.1.1	Generátor nesouměrného trojúhelníkového napětí	110
6.1.2	Generátor trojúhelníkového napětí s neinvertujícím integrátorem	110
6.1.3	Integrovaný funkční generátor 8038 Intersil	112
<b>6.2</b>	<b>Převodníky u - f</b>	<b>113</b>
6.2.1	Přesný převodník u - f	114
6.2.2	Pulzní šířkové modulátory	115
6.2.3	Přesný impulzní šířkový modulátor	116
<b>7</b>	<b>ANALOGOVÉ NÁSOBIČKY</b>	<b>117</b>
<b>7.1</b>	<b>Používané principy analogového násobení</b>	<b>118</b>
7.1.1	Kvadratická násobička	118
7.1.2	Logaritmická násobička	118
7.1.3	PWM násobička	118
7.1.4	Transkonduktanční násobička	119
7.1.5	Aplikace analogových násobiček	120
<b>8</b>	<b>SYSTÉMY S PULZNÍ ŠÍŘKOVOU MODULACÍ (PWM)</b>	<b>121</b>
<b>8.1</b>	<b>PWM - pulzní šířková modulace</b>	<b>122</b>
8.1.1	PWM pro jednkvadrantové operace	122
8.1.2	PWM pro dvoukvadrantové operace	123
8.1.3	PWM pro čtyřkvadrantové operace	124
8.1.4	Obecné čtyřkvadrantové řízení	126
8.1.5	Řídicí jednotky servozesilovačů s PWM	127
8.1.6	PW modulátory řízené číslem	128
<b>9</b>	<b>VÝKONOVÁ ELEKTRONIKA</b>	<b>131</b>
<b>9.1</b>	<b>Stručný přehled polovodičových výkonových spínacích prvků</b>	<b>132</b>
9.1.1	Tyristor - SCR (Silicon - controlled rectifier)	132
9.1.2	Triac	132
9.1.3	GTO tyristor (Gate turn - off thyristor)	133
9.1.4	Bipolární výkonové spínací tranzistory BJT (Bipolar Junction Transistor)	134
9.1.5	Darlingtonova dvojice BJT	134
9.1.6	Výkonové MOSFETY	135
9.1.7	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	135
9.1.8	SIT (Static Induction Transistor)	136
9.1.9	SITH (Static Induction Thyristor)	136
9.1.10	MCT - MOS Controlled Thyristor	136
<b>9.2</b>	<b>Oblasti využití výkonových prvků</b>	<b>137</b>
<b>9.3</b>	<b>Výkonové polovodičové relé (SSR)</b>	<b>138</b>
<b>9.4</b>	<b>Výkonové integrované obvody (PIC)</b>	<b>141</b>
<b>9.5</b>	<b>Poznámky pro aplikaci výkonových MOSFETů a IGBT tranzistorů</b>	<b>144</b>
9.5.1	Ochrana spínačů MOSFET proti přepětí	144

9.5.2	Ochrana při spínání indukční zátěže	145
9.5.3	Řídicí obvody spínačů MOSFET	146
9.5.4	Význam katalogového údaje $E_{AS}$	147
9.5.5	Energie opakovací $E_{AR}$ (avalanche repetitive)	148
<b>9.6</b>	<b>Poznámky při aplikaci spínačů IGBT</b>	<b>149</b>
<b>9.7</b>	<b>Řízení trojfázových indukčních motorů</b>	<b>151</b>
9.7.1	Možnosti řízení trojfázových můstek	152
<b>10</b>	<b>NAPÁJECÍ ZDROJE</b>	<b>155</b>
<b>10.1</b>	<b>Klasické napájecí zdroje</b>	<b>155</b>
10.1.1	Zdvojovače a násobiče napětí	157
10.1.2	Využití násobičů pro DC/DC měniče bez transformátoru	158
10.1.2.1	DC - DC převodníky bez indukčnosti jako IO.	158
<b>10.2</b>	<b>Stabilizace a regulace napětí</b>	<b>160</b>
<b>10.3</b>	<b>Regulátory ss napětí</b>	<b>161</b>
10.3.1	Spojité regulátory ss napětí	162
10.3.2	Integrované regulátory ss napětí	163
<b>11</b>	<b>IMPULZNÍ NAPÁJECÍ ZDROJE</b>	<b>165</b>
11.1.1	Měniče (DC - DC konvertory)	165
11.1.2	Základní zapojení DC - DC měničů	166
11.1.2.1	Propustný měnič - zapojení se společnou diodou	166
11.1.2.2	Blokující měnič	167
11.1.2.3	Blokující měnič s transformátorem (Flyback converter)	168
11.1.2.4	Čukův měnič	169
11.1.2.5	Rezonanční měniče	171
11.1.3	Principy spínaných regulátorů napětí	172
11.1.3.1	Spínaný regulátor s blokujícím měničem 10V/300V	173
11.1.4	Integrované spínané regulátory - návrh s pomocí programu SWITCHERCAD III	174
<b>12</b>	<b>KONSTRUKCE ELEKTRONICKÝCH SYSTÉMŮ S PODPOROU CAD</b>	<b>181</b>
<b>12.1</b>	<b>Plošná montáž</b>	<b>182</b>
<b>12.2</b>	<b>Návrhový systém Cadence (OrCAD) ver. 9</b>	<b>183</b>