

# Obsah

<b>Předmluva</b>	9
<b>1. Základní rovnice fázových závěsů</b>	11
1.1. Odvození základní rovnice fázového závěsu	11
1.2. Řešení základní rovnice fázového závěsu v časové oblasti	13
A. Řešení v uzavřeném tvaru	13
B. Linearizované řešení	14
1.3. Řešení základní rovnice fázového závěsu ve frekvenční oblasti	15
1.4. Řád a typ fázového závěsu	16
A. Řád fázového závěsu	17
B. Typ fázového závěsu	18
1.5. Algebra blokových schémat	21
<b>2. Fázové závěsy 1. a 2. řádu</b>	24
2.1. Fázové závěsy 1. řádu	24
2.2. Fázové závěsy 2. řádu typu 1	26
A. Prostý filtr $RC$	26
B. Poměrový filtr $RC$	29
2.3. Fázové závěsy 2. řádu typu 2	33
<b>3. Odezvy fázových závěsů 1. a 2. řádu na jednorázové i periodické fázové a frekvenční odchylky</b>	37
3.1. Odezvy fázových závěsů na jednorázové odchylky	37
A. Fázové závěsy 1. řádu	38
B. Fázové závěsy 2. řádu	40
3.2. Odezvy fázových závěsů na periodické poruchy	45
A. Fázová modulace vstupního signálu	45
B. Frekvenční modulace vstupního signálu	46
3.3. Rušivé diskrétní signály	47
A. Malý rušivý diskrétní signál na vstupu	47
B. Malý rušivý signál na výstupu fázového detektoru	48
C. Malý rušivý diskrétní signál na výstupu fázového závěsu	50
<b>4. Fázové závěsy třetího řádu a řádů vyšších</b>	52
4.1. Fázové závěsy 3. řádu se základním filtrem $RC$	52
A. Jednoduchý filtr $RC$ s přidavným členem $RC$	53
B. Jednoduchý filtr $RC$ – přidavný člen oddělen operačním zesilovačem	55
C. Jednoduchý filtr $RC$ s přidavným členem $RC$ se stejným sériovým odporem	56

4.2.	Fázové závěsy 3. řádu se základním poměrovým filtrem RC	57
	A. Fázové závěsy 3. řádu typu 1	57
	B. Fázové závěsy 3. řádu typu 2	59
4.3.	Fázové závěsy 3. řádu typu 3	61
4.4.	Fázové závěsy 4. řádu	61
	A. Přídavná sekce RC	62
	B. Přídavný přemostěný článek T	63
	C. Přídavný aktivní nf filtr	65
4.5.	Fázové závěsy 5. řádu	65
	A. Přídavný přemostěný článek T	66
	B. Přídavný aktivní nf filtr	68
4.6.	Fázové závěsy s přenosovým členem ve zpětnovazební cestě	70
4.7.	Fázové závěsy s dopravním zpožděním	74
<b>5.</b>	<b>Stabilita fázových závěsů</b>	74
5.1.	Hurwitzovo kritérium stability	77
5.2.	Výpočet kořenů polynomu $n$ -tého stupně	79
5.3.	Rozvoj funkce $1/[1 + G(s)]$ do součtu jednoduchých zlomků	80
5.4.	Geometrické místo kořenů funkce $1 + G(s)$	84
5.5.	Frekvenční analýza přenosových funkcí	84
	A. Bodeho diagramy	85
	B. Kreslení Bodeho diagramů	96
	C. Polární diagramy	97
5.6.	Nyquistovo kritérium stability	102
5.7.	Určení stability fázových závěsů	107
<b>6.</b>	<b>Pracovní frekvence fázových závěsů</b>	107
6.1.	Pásmo udržení	108
6.2.	Pásmo vtažení	109
	A. Závěsy 1. řádu	112
	B. Závěsy 2. řádu typu 1	113
	C. Fázové závěsy typu 2	115
6.3.	Pásmo rychlého zavěšení	122
	A. Fázový závěs 1. řádu	122
	B. Fázové závěsy 2. řádu	122
6.4.	Minimální frekvence rozpadu fázového závěsu	123
	A. Fázové závěsy 2. řádu	123
	B. Fázové závěsy 3. řádu a řádů vyšších	125
6.5.	Nesprávná zavěšení	126
	A. Falešná zavěšení	126
	B. Zavěšení na postranní pásma	127
	C. Zavěšení na harmonickém násobku	128
	D. Zavěšení na zrcadlové frekvenci	128
<b>7.</b>	<b>Doba vtahování a ustalování</b>	130
7.1.	Doba vtahování	130
7.2.	Doba ustalování	134
7.3.	Zkrácení doby vtahování a ustalování	135
	A. Předladění napěťově řízeného oscilátoru	135
	B. Přeladování napěťově řízeného oscilátoru	136

C. Doladování přidavným frekvenčním diskriminátorem . . . . .	136
D. Zvětšení propustného pásma fázového závěsu . . . . .	137

<b>8. Dílčí obvody fázových závěsů . . . . .</b>	<b>139</b>
8.1. Nízkofrekvenční filtry . . . . .	139
A. Prosté filtry RC . . . . .	139
B. Dvojitý přemostěný článek T . . . . .	140
C. Aktivní nf filtry . . . . .	142
8.2. Integrátory . . . . .	147
A. Aktivní integrátor s operačním zesilovačem . . . . .	147
B. Pasívní integrátory . . . . .	147
8.3. Směšovače . . . . .	150
A. Multiplikativní směšovače . . . . .	150
B. Spínací směšovače . . . . .	152
C. Kruhové modulátory . . . . .	153
8.4. Fázové detektory . . . . .	156
A. Jednoduchý spínač . . . . .	156
B. Kruhové modulátory . . . . .	158
C. Vzorkovací fázové detektory . . . . .	158
D. Klopné obvody . . . . .	162
E. Hradlo exclusive-OR . . . . .	163
F. Frekvenčně fázové detektory . . . . .	165
G. Mikrovlonné fázové detektory . . . . .	169
8.5. Děliče frekvence . . . . .	170
A. Dvojkové (binární) děliče . . . . .	172
B. Desítkové (dekadické) děliče . . . . .	173
C. Proměnné děliče . . . . .	174
D. Předděliče s dvojitým dělicím poměrem . . . . .	175
<b>9. Šumové vlastnosti fázových závěsů . . . . .</b>	<b>177</b>
9.1. Základní typy šumových signálů . . . . .	178
A. Bílý šum . . . . .	178
B. Šum $1/f$ . . . . .	181
C. Šum $1/f^2$ . . . . .	183
9.2. Šum oscilátorů . . . . .	184
A. Obecné řešení šumových rovnic oscilátoru . . . . .	184
B. Vliv šumového proudu $i_g(t)$ . . . . .	185
C. Náhodné změny kapacity v rezonančním obvodě . . . . .	186
D. Vliv budících obvodů na šum oscilátoru . . . . .	187
9.3. Šum fázového závěsu . . . . .	190
A. Základní šumové rovnice fázového závěsu . . . . .	191
B. Idealizované šumové charakteristiky fázového závěsu . . . . .	194
C. Skutečné šumové charakteristiky fázového závěsu . . . . .	196
9.4. Šumová šířka fázového závěsu . . . . .	200
9.5. Šum fázově řízených systémů . . . . .	202
A. Synchronizátor 5344S Hewlett-Packard . . . . .	202
B. Nízkošumový budič pro pozemní stanice družicových spojů . . . . .	205
9.6. Matematické základy teorie šumu . . . . .	209
A. Superpozice malých diskrétních signálů . . . . .	209
B. Úzkopásmový šum . . . . .	209

	C. Autokorelace	210
	D. Výkonové spektrální hustoty	210
	E. Variance	211
	F. Divergence variancí	213
	G. Vztah mezi výkonovou a fázovou spektrální hustotou	214
<b>10.</b>	<b>Praktická použití fázových závěsů v elektronice</b>	<b>214</b>
10.1.	Frekvenční syntezátory – základní úvahy a zapojení	214
	A. Fázově řízené násobiče frekvence	215
	B. Fázově řízené děliče frekvence	216
	C. Fázově řízené směšovače frekvence	217
	D. Fázově řízené jednoúčelové frekvenční syntezátory	218
10.2.	Fázově řízené frekvenční syntezátory přeladitelné v omezeném rozsahu	218
10.3.	Frekvenční syntezátory s děliči se zlomkovým dělicím poměrem	220
10.4.	Dekadicky přestavitelné frekvenční syntezátory	221
<b>11.</b>	<b>Číslicové fázové závěsy</b>	<b>227</b>
11.1.	Základy transformace $z$	227
11.2.	Principiální zapojení číslicových fázových závěsů	233
11.3.	Základní obvody číslicových fázových závěsů	234
	A. Vzorkovací fázové detektory	234
	B. Číslicové filtry	237
	C. Číslicově řízené oscilátory	239
11.4.	Číslicové fázové závěsy 1. a 2. řádu	242
	A. Číslicové fázové závěsy 1. řádu	242
	B. Číslicové fázové závěsy 2. řádu	243
11.5.	Odezvy číslicových fázových závěsů na jednorázové a periodické změny vstupní fáze a frekvence	245
11.6.	Šumová šířka číslicových fázových závěsů	246
11.7.	Číslicově analogové fázové závěsy	247
	<b>Literatura</b>	<b>250</b>