

Obsah

PŘEDMLUVA	1
1 ÚVOD DO MODELOVÁNÍ A IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	3
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY	3
1.2 TYPY SYSTÉMŮ A FORMY JEJICH POPISU	6
1.3 STAVOVÁ TRAJEKTORIE, ROVNOVÁŽNÝ STAV SYSTÉMU	8
1.4 PŘÍPADOVÁ STUDIE AUTOMOBIL.....	10
1.4.1 <i>Subsystém otáčení kola</i>	12
2 MATEMATICKÉ MODELÝ MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ	17
2.1 SESTAVENÍ POHYBOVÉ ROVNICE APLIKACÍ DRUHÉHO NEWTONOVA ZÁKONA	18
2.2 SESTAVENÍ POHYBOVÉ ROVNICE APLIKACÍ DRUHÉHO D' ALEMBERTOVA PRINCIPU	18
2.3 PRVKY MATEMATICKÉHO MODELU MECHANICKÉHO SYSTÉMU.....	18
2.3.1 <i>Hmotný bod</i>	19
2.3.2 <i>Pružina (poddajnost)</i>	19
2.3.3 <i>Tlumič</i>	19
2.3.4 <i>Zdroj síly, zdroj rychlosti</i>	20
2.3.5 <i>Základní prvky rotačních soustav</i>	20
2.4 MATEMATICKÉ MODELÝ SOUSTAV S PŘÍMOČARÝM POHYBEM.....	20
2.5 MATEMATICKÉ MODELÝ SOUSTAV KONAJÍCÍCH ROTAČNÍ POHYBY.....	27
2.6 LAGRANGEOVY ROVNICE DRUHÉHO DRUHU	29
3 ELEKTRICKÉ SYSTÉMY	39
3.1 CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH PRVKŮ.....	40
3.1.1 <i>Ideální zdroj napětí</i>	40
3.1.2 <i>Ideální zdroj proudu</i>	40
3.1.3 <i>Ideální rezistor</i>	40
3.1.4 <i>Ideální kapacitor</i>	41
3.1.5 <i>Ideální induktor</i>	41
3.2 ZÁKLADY TOPOLOGIE ELEKTRICKÝCH OBVODŮ	41
3.3 SESTAVOVÁNÍ ROVNIC ELEKTRICKÝCH OBVODŮ	43
3.3.1 <i>Přímá aplikace Kirchhoffových zákonů</i>	44
3.3.2 <i>Metoda smyčkových proudů</i>	46
3.3.3 <i>Metoda uzlových napětí</i>	47
3.4 MATEMATICKÝ MODEL STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU S CIZÍM BUZENÍM.....	48
3.5 MODELOVÁNÍ OBVODŮ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI.....	52
3.5.1 <i>Operační zesilovač</i>	52
3.5.2 <i>Invertor</i>	54
3.5.3 <i>Sumátor</i>	54
3.5.4 <i>Integrátor</i>	55
3.5.5 <i>Derivační člen</i>	55
4 HYDRAULICKÉ SYSTÉMY	56
4.1 ZÁKON ZACHOVÁNÍ HMOTNOSTI – ROVNICE KONTINUITY	56
4.2 ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE – BERNOULLIHO ROVNICE.....	57
4.3 VÝTOK KAPALINY Z NÁDOB	59
4.3.1 <i>Výtok z uzavřené nádrže</i>	59
4.3.2 <i>Dynamika výšky hladiny v otevřené nádrži</i>	61

4.3.3 Výtok z nádrže s přítokem	62
4.3.4 Regulace výšky hladiny pomocí změny přítoku	63
4.3.5 Systém tří nádrží	66
4.4 MODELOVÁNÍ HYDRAULICKÝCH MECHANISMŮ	70
4.4.1 Hydraulické odpory	71
4.4.2 Odpor proti pohybu	71
4.4.3 Odpor proti zrychlení	73
4.4.4 Odpor proti deformaci	74
4.5 MATEMATICKÉ MODEL Y PRVKŮ HYDRAULICKÉHO OBVODU	75
4.5.1 Hydrogenerátor	75
4.5.2 Hydraulické vedení	78
4.5.3 Ventil pro plynulou regulaci průtoku	81
4.5.4 Přímočarý hydromotor	83
4.5.5 Rotační hydromotor	86
4.5.6 Servoventil - hydromotor	87
4.5.7 Pojistovací ventil, tlakový filtr	88
4.5.8 Model hydraulického akumulátoru	88
4.5.9 Simulace elektrohydraulického servomechanismu	89
5 PNEUMATICKÉ SYSTÉMY	93
5.1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ ZÁKONY POUŽÍVANÉ PŘI MODELOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ	93
5.2 PNEUMATICKÁ TUHOST	95
5.3 PROUDĚNÍ PLYNU PŘES TRYSKU	97
5.4 MODEL PNEUMATICKÉHO PÉROVÁNÍ	102
6 TEPELNÉ PROCESY	104
6.1 VEDENÍ TEPLA TUHÝMI TĚLESY	105
6.2 SDÍLENÍ TEPLA PROUDĚNÍM, PŘESTUP A PROSTUP TEPLA	106
6.3 SÁLÁNÍ	106
6.4 TEPELNÁ ENERGIE PROUDU KAPALINY	107
6.5 AKUMULACE TEPLA	107
6.6 DYNAMIKA TEPELNÝCH PROCESŮ	107
6.6.1 Ohřev látky vedením tepla	108
6.6.2 Dynamika změny teploty při mísení tekutin	109
6.6.3 Řízení tepelných procesů	109
6.7 DOKONALE IZOLOVANÁ NÁDOBA	110
6.8 NÁDOBA S TEPELNÝMI ZTRÁTAMI	111
6.9 NÁDOBA S TEPELNOU KAPACITOU A TEPELNÝMI ZTRÁTAMI	113
6.10 NEPŘÍMÝ JEDNODUCHÝ VÝMĚNÍK TEPLA	116
7 FYZIKÁLNÍ ANALOGIE	119
8 EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	122
8.1 ROZDĚLENÍ IDENTIFIKAČNÍCH METOD	124
8.1.1 Typy matematických modelů	125
8.1.2 Rozdělení vstupních signálů	125
8.1.3 Vyhodnocení kvality modelu	126
8.1.4 Měření a vyhodnocení dat	126
8.1.5 Algoritmy zpracování dat	126
8.2 VOLBA IDENTIFIKAČNÍ METODY	127

8.3 VSTUPNÍ SIGNÁLY	129
8.3.1 Deterministické vstupní signály.....	129
9 CHARAKTERISTIKY LINEÁRNÍCH DYNAMICKÝCH SYSTÉMŮ.....	131
9.1 IMPULSNÍ CHARAKTERISTIKA	131
9.2 PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA	131
9.3 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA	132
9.3.1 Vyhodnocení bodu frekvenční charakteristiky.....	135
9.3.2 Zobrazení frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích.....	136
9.3.3 Frekvenční analýza pomocí harmonického signálu a integrace.....	137
10 MATEMATICKÉ MODEL Y ZÁKLADNÍCH PŘENOSOVÝCH ČLENŮ	140
10.1 PROPORCIONÁLNÍ ČLEN.....	140
10.2 INTEGRAČNÍ ČLEN	140
10.3 DERIVAČNÍ ČLEN	141
10.4 PROPORCIONÁLNÍ ČLEN SE SETRVAČNOSTÍ PRVNÍHO ŘÁDU	142
10.5 PROPORCIONÁLNÍ ČLEN SE SETRVAČNOSTÍ DRUHÉHO ŘÁDU.....	146
11 EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE POMOCÍ DETERMINISTICKÝCH SIGNÁLŮ	154
11.1 SESTAVENÍ PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY Z ODEZVY NA PRAVOUHLÝ IMPULZ.....	155
11.2 STANOVENÍ PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY Z ODEZVY NA RAMPOVOU FUNKCI	156
11.3 STANOVENÍ PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY Z ODEZVY NA OBECNÝ DETERMINISTICKÝ VSTUPNÍ SIGNÁL	157
11.4 APROXIMACE FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY	159
11.5 VYHODNOCENÍ BODŮ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY Z PŘECHODOVÉ.....	161
11.6 VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍCH CHARAKTERISTIK	163
11.6.1 Vyhodnocení frekvenční charakteristiky integrační soustavy.....	169
11.7 APROXIMACE PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK	173
11.7.1 Aproximace proporcionální soustavou se setrvačností 1.řádu.....	174
11.7.2 Aproximace přechodové charakteristiky s kmitavým průběhem.....	175
11.7.3 Aproximace přechodových charakteristik s aperiodickým průběhem	175
11.7.4 Aproximace proporcionální soustavou 2.řádu s rozdílnými časovými konstantami	176
11.7.5 Aproximace proporcionální soustavou n-tého řádu se stejnými časovými konstantami	177
11.8 APROXIMACE ODEZEV INTEGRAČNÍCH ČLENŮ	178
11.9 APROXIMACE ODEZEV DERIVAČNÍCH ČLENŮ	181
11.10 APROXIMACE PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK S DOPRAVNÍM ZPOŽDĚNÍM.....	182
11.10.1 Aproximace pomocí tečny v inflexním bodě.....	182
11.10.2 Aproximace pomocí sečny v inflexním bodě.....	182
11.10.3 Aproximace pomocí dvou bodů odezvy.....	182
11.10.4 Aproximace přenosem druhého řádu.....	183
12 PARAMETRIZACE CHARAKTERISTIK SYSTÉMU	184
12.1 PARAMETRIZACE IMPULSNÍ CHARAKTERISTIKY.....	184
12.2 PARAMETRIZACE PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY - METODA PLOCH	188
12.3 METODA POSTUPNÉ INTEGRACE	194
13 STATISTICKÉ METODY IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	200
13.1 DISTRIBUČNÍ FUNKCE, HUSTOTA PRAVDĚPODOBNOSTI.....	201
13.1.1 Stanovení distribuční funkce a hustoty pravděpodobnosti náhodného procesu.....	203

13.2 STACIONÁRNOST NÁHODNÉHO PROCESU	204
13.3 ERGODIČNOST NÁHODNÉHO PROCESU	205
13.4 STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY STACIONÁRNÍHO ERGODICKÉHO NÁHODNÉHO PROCESU	206
13.5 AUTOKORELAČNÍ FUNKCE NÁHODNÉHO PROCESU	207
13.5.1 Stanovení délky realizace a periody vzorkování při výpočtu autokorelační funkce	208
13.5.2 Vlastnosti autokorelační funkce	208
13.6 VZÁJEMNÁ KORELAČNÍ FUNKCE	210
13.7 KOVARIANCE	211
13.8 SPEKTRÁLNÍ VÝKONOVÁ HUSTOTA	212
13.9 VZÁJEMNÁ SPEKTRÁLNÍ VÝKONOVÁ HUSTOTA	213
14 IDENTIFIKACE POMOCÍ KORELAČNÍCH METOD	215
14.1 AKTIVNÍ A PASIVNÍ METODY	215
14.2 STOCHASTICKÁ FORMULACE DYNAMICKÉHO SYSTÉMU	215
14.2.1 Stanovení váhové funkce	216
14.2.2 Numerický výpočet váhové funkce	217
14.3 SPEKTRÁLNÍ TRANSFORMACE NÁHODNÉHO PROCESU PŘI PRŮCHODU LINEÁRNÍ SOUSTAVOU	221
15 TESTOVACÍ SIGNÁLY	224
15.1 BÍLÝ ŠUM	224
15.2 PSEUDONÁHODNÉ TESTOVACÍ SIGNÁLY	225
15.3 GENERÁTORY PSEUDONÁHODNÉHO BINÁRNÍHO SIGNÁLU	227
16 IDENTIFIKACE SYSTÉMU ODHADEM PARAMETRŮ MODELU	230
16.1 STRUKTURA MODELU	231
16.1.1 Model náhodného procesu	231
16.1.2 Model systému	232
16.2 STANOVENÍ PARAMETRŮ MODELU	236
16.3 REKURZIVNÍ POSTUP IDENTIFIKACE	243
16.3.1 Rekurzivní metoda nejmenších čtverců	244
16.4 METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ S VÁHOVÝMI KOEFICIENTY	248
16.4.1 Exponenciální zapominání	249
16.5 METODA PŘÍDAVNÝCH PROMĚNNÝCH (INSTRUMENT VARIABLES)	250
16.5.1 Rekurzivní metoda přídatných proměnných	251
16.6 APLIKACE REKURZIVNÍCH ALGORITMŮ A EXPONENCIÁLNÍHO ZAPOMÍNÁNÍ	252
16.7 ODHAD PARAMETRŮ INTEGRAČNÍCH PROCESŮ	254
17 IDENTIFIKACE V UZAVŘENÉM REGULAČNÍM OBVODU	256
17.1 IDENTIFIKACE POMOCÍ KORELAČNÍ ANALÝZY	256
17.2 ODHAD PARAMETRŮ MODELU V UZAVŘENÉM REGULAČNÍM OBVODU	258
17.2.1 Nepřímá identifikace s přídatným testovacím signálem	258
17.2.2 Nepřímá identifikace bez přídatného signálu	259
17.2.3 Přímá identifikace bez přídatného signálu	264
17.2.4 Přímá identifikace s použitím přídatného signálu	267
LITERATURA	271
REJSTŘÍK	273