

# OBSAH

Předmluva . . . . .	11
---------------------	----

## Část 1

### Úvod. Význam a použití metod statistické dynamiky v automatické regulaci

1.1. Statistická dynamika regulačních obvodů . . . . .	15
1.2. Základní veličiny v regulačním obvodu . . . . .	16
1.3. Základní charakteristiky členů regulačního obvodu . . . . .	19
1.3.1. Odezva lineárního členu s konstantními parametry na jednotkový impuls . . . . .	20
1.3.2. Určení odezvy lineárního členu s konstantními parametry na průběh vstupní veličiny $\alpha_1(t)$ ze znalosti odezvy členu na jednotkový impuls . . . . .	20
1.3.3. Určení odezvy lineárního členu s proměnnými parametry na průběh vstupní veličiny $\alpha_1(t)$ ze znalosti odezvy členu na jednotkový impuls . . . . .	21

## Část 2

### Některé základní pojmy z počtu pravděpodobnosti a z matematické statistiky

2.1. Relativní četnost . . . . .	23
2.2. Statistická stálost . . . . .	23
2.3. Pravděpodobnost . . . . .	24
2.4. Náhodná veličina . . . . .	25
2.5. Distribuční funkce $F(x)$ náhodné veličiny $X$ . . . . .	25
2.6. Hustota pravděpodobnosti $f(x)$ náhodné veličiny $X$ . . . . .	28
2.7. Pravděpodobnostní element . . . . .	30
2.8. Střední hodnoty a momenty . . . . .	30
2.8.1. Průměrná hodnota $M^*[X]$ náhodné veličiny $X$ . . . . .	30
2.8.2. Střední hodnota $M[X]$ náhodné veličiny $X$ . . . . .	31
2.8.3. Střední absolutní hodnota náhodné veličiny $X$ . . . . .	32
2.8.4. Střední hodnota dvojmoci náhodné veličiny $X$ . . . . .	33
2.8.5. Střední hodnota $s$ -té mocniny náhodné veličiny $X$ . . . . .	33
2.8.6. Střední hodnota odchylky od střední hodnoty náhodné veličiny $X$ . . . . .	34
2.8.7. Střední hodnota dvojmoci odchylky od střední hodnoty náhodné veličiny $X$ . . . . .	34
2.8.8. Směrodatná odchylka od střední hodnoty náhodné veličiny $X$ . . . . .	35
2.8.9. Průměry a momenty kolem průměru . . . . .	35

2.9.	Korelační moment dvou náhodných veličin . . . . .	36
2.10.	Normální rozdělení (Gaussovo rozdělení) . . . . .	36
2.11.	Poissonovo rozdělení . . . . .	38
2.12.	Rayleighovo rozdělení . . . . .	40
2.13.	Normální rozdělení pro soustavu dvou náhodných veličin . . . . .	41

### ČÁST 3

#### Náhodné procesy

3.1.	Náhodné procesy . . . . .	44
3.1.1.	První distribuční funkce $F_1$ náhodného procesu . . . . .	46
3.1.2.	První hustota pravděpodobnosti náhodného procesu . . . . .	47
3.1.3.	První pravděpodobnostní element náhodného procesu . . . . .	47
3.1.4.	Druhá distribuční funkce $F_2$ náhodného procesu . . . . .	49
3.1.5.	Druhá hustota pravděpodobnosti náhodného procesu . . . . .	50
3.1.6.	Druhý pravděpodobnostní element náhodného procesu . . . . .	50
3.1.7.	Třetí distribuční funkce $F_3$ náhodného procesu . . . . .	50
3.1.8.	Třetí hustota pravděpodobnosti náhodného procesu . . . . .	50
3.1.9.	Třetí pravděpodobnostní element náhodného procesu . . . . .	51
3.2.	Stacionárnost náhodných procesů . . . . .	51
3.3.	Ergodičnost náhodných procesů . . . . .	53
3.4.	Určení první hustoty pravděpodobnosti ergodického stacionárního náhodného procesu . . . . .	56
3.5.	Kanonický rozvoj náhodných procesů . . . . .	58
3.6.	Jedna z metod kanonického rozvoje náhodného procesu . . . . .	61
3.7.	Okamžité spektrum realizace náhodného procesu . . . . .	67
3.8.	Markovovy procesy . . . . .	71

### ČÁST 4

#### Korelační funkce a spektrální hustota

4.1.	Dvě charakteristiky náhodných procesů . . . . .	72
4.2.	Autokorelační funkce . . . . .	73
4.2.1.	Autokorelační funkce náhodného procesu . . . . .	73
4.2.2.	Autokorelační funkce součtu náhodných procesů . . . . .	75
4.2.3.	Autokorelační funkce stacionárního náhodného procesu . . . . .	76
4.2.4.	Autokorelační funkce realizace stacionárního náhodného procesu . . . . .	77
4.2.5.	Autokorelační funkce realizace stacionárního náhodného procesu v konečném časovém intervalu . . . . .	81
4.2.6.	Autokorelační funkce realizace náhodného procesu v malém časovém intervalu . . . . .	82
4.2.7.	Autokorelační funkce vzorkovaného náhodného procesu $X^*(t)$ . . . . .	83
4.2.8.	Autokorelační funkce periodické funkce času . . . . .	84
4.3.	Vzájemná korelační funkce . . . . .	85
4.3.1.	Vzájemné korelační funkce dvou náhodných procesů . . . . .	85
4.3.2.	Vzájemné korelační funkce dvou stacionárních náhodných procesů . . . . .	86
4.3.3.	Vzájemné korelační funkce realizací dvou stacionárních náhodných procesů . . . . .	86
4.3.4.	Vzájemná korelační funkce realizací tří stacionárních náhodných procesů . . . . .	87

4.3.5.	Vzájemné korelační funkce realizací dvou stacionárních náhodných procesů v konečném intervalu . . . . .	88
4.3.6.	Vzájemná korelační funkce dvou periodických funkcí času . . . . .	89
4.4.	Výkonová spektrální hustota . . . . .	89
4.4.1.	Výkonová spektrální hustota náhodného procesu $X(t)$ . . . . .	89
4.4.2.	Výkonová spektrální hustota realizace náhodného procesu $X(t)$ . . . . .	90
4.5.	Vzájemná výkonová spektrální hustota . . . . .	93
4.5.1.	Vzájemná výkonová spektrální hustota náhodného procesu $X(t)$ a náhodného procesu $Y(t)$ . . . . .	93
4.5.2.	Vzájemná výkonová spektrální hustota náhodného procesu $Y(t)$ náhodného procesu $X(t)$ . . . . .	93
4.5.3.	Vzájemná výkonová spektrální hustota realizace $x^{(1)}(t)$ náhodného procesu $X(t)$ a realizace $y^{(1)}(t)$ náhodného procesu $Y(t)$ . . . . .	94
4.5.4.	Vzájemná výkonová spektrální hustota realizace $x^{(1)}(t)$ náhodného procesu $Y(t)$ a realizace $x^{(1)}(t)$ náhodného procesu $X(t)$ . . . . .	94
4.6.	Vztah mezi autokorelační funkcí a výkonovou spektrální hustotou stacionárního náhodného procesu . . . . .	95
4.7.	Vztah mezi vzájemnou korelační funkcí a vzájemnou výkonovou spektrální hustotou dvou stacionárních náhodných procesů . . . . .	101
4.8.	Průchod stacionárního náhodného procesu lineárním členem s konstantními parametry . . . . .	101
4.9.	Metoda odhadu výkonové spektrální hustoty náhodného procesu z periodogramů . . . . .	104
4.10.	Vztahy mezi korelačními funkcemi a spektrálními hustotami vstupních a výstupních veličin lineárních členů . . . . .	107
4.10.1.	Vztah mezi autokorelační funkcí výstupního stacionárního náhodného procesu z lineárního členu s konstantními parametry a autokorelační funkcí vstupního náhodného procesu do tohoto členu . . . . .	107
4.10.2.	Vztah mezi výkonovou spektrální hustotou výstupního stacionárního náhodného procesu z lineárního členu s konstantními parametry a výkonovou spektrální hustotou vstupního náhodného procesu do tohoto členu . . . . .	108
4.10.3.	Vztah mezi vzájemnou korelační funkcí vstupního a výstupního stacionárního náhodného procesu lineárního členu s konstantními parametry a autokorelační funkcí vstupního náhodného procesu do tohoto členu . . . . .	109
4.10.4.	Vztah mezi vzájemnou výkonovou spektrální hustotou výstupních stacionárních náhodných procesů a vzájemnou výkonovou spektrální hustotou vstupních stacionárních náhodných procesů dvou oddělených lineárních členů s konstantními parametry . . . . .	110
4.10.5.	Působení vektorového náhodného procesu na servomechanismus s vazbou několika proměnných . . . . .	112

## ČÁST 5

### Metody statistické dynamiky pro lineární regulační obvody

5.1.	Metody statistické dynamiky pro měření na regulačních obvodech . . . . .	118
5.2.	Metody pro určení frekvenčních charakteristik členů lineárního regulačního obvodu . . . . .	120

5.2.1.	Metoda pro vyloučení vlivu poruchových veličin při měření frekvenční charakteristiky lineární regulované soustavy . . . . .	121
5.2.2.	Metoda určení frekvenční charakteristiky lineárního členu regulačního obvodu korelační analýzou . . . . .	123
5.2.3.	Metoda určení frekvenční charakteristiky členů lineárního regulačního obvodu ze vzájemných korelačních funkcí stacionárních náhodných procesů v různých místech regulačního obvodu . . . . .	126
5.2.4.	Některé základní vztahy pro určení frekvenčních charakteristik členů regulačního obvodu ze vzájemných výkonových spektrálních hustot . . . . .	131
5.3.	Metody pro určení odezvy na jednotkový impuls . . . . .	134
5.3.1.	Metoda pro určení odezvy lineárního čtyřpólu na jednotkový impuls . . . . .	134
5.3.2.	Metoda výpočtu odezvy regulované soustavy s několika parametry na jednotkový impuls poruchové veličiny z naměřených náhodných průběhů . . . . .	138
5.4.	Metody pro určení jiných charakteristik regulačních obvodů . . . . .	142
5.4.1.	Metoda výpočtu střední hodnoty dvojmocí odchylky regulované veličiny u lineárního regulačního obvodu integrováním výkonových spektrálních hustot složek stacionárního náhodného procesu odchylky . . . . .	142
5.4.2.	Metoda výpočtu střední hodnoty dvojmocí odchylky u lineárního servomechanismu integrováním výkonových spektrálních hustot složek stacionárního náhodného procesu odchylky . . . . .	146
5.4.3.	Metoda určení vzájemné korelační funkce odchylky a výstupní veličiny u servomechanismu, na nějž působí šum . . . . .	151
5.4.4.	Metoda určení autokorelační funkce výstupního stacionárního náhodného procesu z lineárního členu s konstantními parametry na analogovém modelu . . . . .	154

## ČÁST 6

### Metody statistické dynamiky pro řešení nelineárních regulačních obvodů

6.1.	Nelineární regulační obvody . . . . .	156
6.2.	Metoda statistické linearizace . . . . .	157
6.3.	Výpočet koeficientu statistického přenosu $k_0$ nelineárního členu s konstantními parametry pro stejnosměrnou složku vstupní veličiny . . . . .	158
6.4.	Výpočet koeficientu statistického přenosu $k_1$ nelineárního členu pro náhodnou střídavou složku vstupní veličiny . . . . .	161
6.5.	Příklad použití metody statistické linearizace . . . . .	164
6.6.	Metoda určení autokorelační funkce náhodného procesu na výstupu z nelineárního členu typu omezovače . . . . .	172

## ČÁST 7

### Metody statistické dynamiky pro nestacionární náhodné procesy

7.1.	Nestacionární náhodné procesy . . . . .	174
7.2.	Metoda číslíkového výpočtu střední hodnoty v čase dvojmocí odchylky z koeficientů Laguerrova rozvoje vzorků realizace nestacionárního náhodného procesu . . . . .	176

7.3.	Průchod nestacionárního náhodného procesu lineárním členem s proměnnými parametry (obecný nestacionární případ) . . . . .	183
7.4.	Metoda pro určení rozptylu výstupního nestacionárního náhodného procesu lineárního členu s proměnnými parametry opakovaným měřením na analogovém modelu . . . . .	188
7.5.	Vztah mezi korelační funkcí a výkonovou spektrální hustotou u nestacionárních náhodných procesů . . . . .	190
7.6.	Metoda pro určování přenosu lineární regulované soustavy s proměnnými parametry . . . . .	191

## Část 8

### Optimální návrh regulačních obvodů podle statistických metod

8.1.	Optimální regulační obvod . . . . .	196
8.2.	Různé funkce automatických systémů, které se hodnotí při posuzování optimálnosti . . . . .	197
	8.2.1. Automatická regulace . . . . .	197
	8.2.2. Filtrace neboli vydělování užitečného signálu ze směsi signálu a šumu . . . . .	198
	8.2.3. Predikce neboli předpověď . . . . .	198
	8.2.4. Společná predikce a filtrace . . . . .	200
8.3.	Metoda numerického výpočtu střední hodnoty v čase dvojmoci odchylky při návrhu optimálního regulačního obvodu . . . . .	203
8.4.	Metoda pro určení střední hodnoty dvojmoci odchylky servomechanismu, jehož vstupní veličina má nenáhodnou složku a na něj působí šum . . . . .	206
	8.4.1. Nenáhodná složka odchylky při sledování . . . . .	207
	8.4.2. Náhodná složka odchylky při sledování . . . . .	216
8.5.	Adaptivní regulovaná soustava se samočinným nastavováním dynamické charakteristiky na optimální tvar . . . . .	217

## Část 9

### Přístroje a počítače pro statistickou dynamiku

9.0.	Různé druhy přístrojů a počítačů . . . . .	221
9.1.	Generátory šumu . . . . .	222
9.2.	Tvarovací filtry . . . . .	224
9.3.	Vyhodnocovací přístroje pro určování histogramů . . . . .	225
9.4.	Spektrální analyzátoři . . . . .	228
	9.4.1. Spektrální analyzátor pro velmi nízké frekvence . . . . .	229
	9.4.2. Spektrální analyzátor pro určování vzájemné spektrální hustoty dvou náhodných procesů . . . . .	230
	9.4.3. Spektrální analyzátor s filtrem s teoretickou odezvou na jednotkový impuls $k(t) = \cos \omega t$ . . . . .	232
	9.4.4. Ortogonální spektrální analyzátor stacionárních náhodných procesů s laguerovými modulátory . . . . .	234
9.5.	Korelátoři . . . . .	238
	9.5.1. Mechanické korelátoři . . . . .	245
	9.5.2. Korelátor s polovodičovými elementy (termistory), založený na tepelném účinku elektrického proudu . . . . .	247

9.5.3. Korelátor bez paměťového členu s využitím vlastností ortogonálních funkcí . . . . .	249
9.5.4. Korelátor pro Gaussovy procesy, založený na pravděpodobnosti shody znamének realizací těchto procesů . . . . .	263
9.5.5. Číslíkové korelátory . . . . .	265
9.6. Impulsní filtry . . . . .	266

## ČÁST 10

### Použití metod statistické dynamiky regulačních obvodů

10.1. Použití statistických metod . . . . .	271
10.2. Použití metod statistické dynamiky v energetice . . . . .	272
10.2.1. Výpočet střední hodnoty dvojmoci odchylky frekvence . . . . .	275
10.2.2. Měření náhodných fluktuací zatížení a energie v elektrické síti . . . . .	277
10.3. Použití statistických metod pro určení dynamických charakteristik členů regulačního obvodu výměníku tepla . . . . .	280
10.4. Použití statistických metod u extrémálních regulátorů . . . . .	285
10.5. Použití statistické dynamiky v důlním strojírenství . . . . .	290
10.6. Použití teorie náhodných procesů pro rozbor přesnosti vyráběných dílů při automatickém obrábění a ve výrobě letadel . . . . .	291
10.7. Použití metod statistické dynamiky v hutnictví . . . . .	294
10.8. Použití statistické dynamiky při návrhu regulačního obvodu automatických vah . . . . .	296
10.9. Použití statistické dynamiky pro automatickou regulaci zatížení trubnatých mlýnů, zvláště v cementárnách . . . . .	297
10.10. Použití statistických metod při geologickém hlubinném vrtání . . . . .	299
10.11. Použití statistické dynamiky v textilní výrobě . . . . .	304
10.12. Použití teorie náhodných procesů pro ekonomické výpočty v automatizované výrobě. Metoda dvojitého kritéria odchylky . . . . .	306
10.13. Použití statistické dynamiky v radiolokaci . . . . .	311
10.14. Použití statistické dynamiky při aplikacích jaderné techniky . . . . .	315
10.15. Použití statistické dynamiky pro zkoumání šumu polovodičů . . . . .	316
10.16. Použití teorie náhodných procesů v letectví . . . . .	317
Literatura . . . . .	323
Jmenný rejstřík . . . . .	329
Věcný rejstřík . . . . .	332