

# CUPRINS

## CAPITOLUL 1

<b>SEMNALE ALEATOARE</b> .....	1
1.1. Definirea semnalului aleator, a variabilei aleatoare, a funcției și a densității de repartiție .....	1
1.2. Valori medii statistice și temporale ale procesului aleator, continuu în timp .....	9
1.3. Procese aleatoare continue în timp, staționare .....	16
1.4. Determinarea tensiunii de prag în cazul recepției pe canale perturbate .....	18
1.5. Teorema Wiener-Khintchine .....	22
1.6. Proprietățile principale ale funcției de autocorelație .....	28
1.7. Determinarea funcției de autocorelație a semnalelor recepționate, afectate de perturbații .....	32
1.8. Determinarea funcției de autocorelație și a densității spectrale de putere a unei secvențe binare aleatoare .....	35
1.9. Determinarea funcției de autocorelație și a densității spectrale de putere a unui semnal aleator telegrafic .....	42
1.10. Determinarea funcției de autocorelație a secvențelor pseudoaleatoare (SPA) periodice .....	45
1.11. Determinarea funcției pondere a unui sistem liniar invariant în timp prin metoda corelației .....	50
1.12. Determinarea funcției de autocorelație și a densității spectrale de putere la ieșirea unui sistem analogic, liniar, invariant în timp .....	52
1.13. Valori medii statistice definite pe procese aleatoare, discrete în timp .....	54
1.14. Procese aleatoare discrete în timp, staționare .....	57
1.15. Valori medii temporale ale proceselor aleatoare, discrete în timp .....	58
1.16. Procese aleatoare discrete în timp, ergodice .....	61
1.17. Proprietățile principale ale funcțiilor de corelație pentru procese aleatoare staționare în sens larg .....	67

1.18. Reprezentarea semnalelor aleatoare discrete în timp în domeniul frecvență .....	69
1.19. Răspunsul sistemelor discrete, liniare, invariante în timp la semnale aleatoare .....	70
1.20. Folosirea transformatei Z în calculul puterii medii .....	73
1.21. Matricea de autocorelație a unui proces staționar .....	79
1.22. Procese aleatoare regulate. Factorizare spectrală. Reprezentarea proceselor aleatoare staționare .....	86
1.23. Modelarea proceselor aleatoare .....	90
1.24. Relații între parametrii modelului și secvența de autocorelație a procesului .....	93
1.25. Probleme rezolvate .....	96

## **CAPITOLUL 2**

<b>ESTIMAREA FORMEI SEMNALULUI</b> .....	117
2.1. Schema bloc a unui sistem de transmisiuni care realizează estimarea formei semnalului .....	117
2.2. Ecuația integrală Wiener - Hopf .....	119
2.3. Soluția ecuației integrale Wiener - Hopf în cazul filtrelor optimale necauzale .....	125
2.4. Soluția ecuației integrale Wiener - Hopf în cazul când semnalul recepționat este zgomot alb .....	129
2.5. Soluția ecuației integrale Wiener - Hopf în domeniul frecvență .....	131
2.6. Filtrarea optimă în cazul semnalelor cu spectru Butterworth ( $n = 1$ ) .....	136
2.7. Determinarea erorii pătratice medii în cazul filtrelor optimale Wiener - Hopf .....	142
2.8. Principiul filtrării optimale Kalman - Bucy pentru semnale continue .....	146
2.9. Sisteme dinamice generatoare de semnale aleatoare .....	147
2.10. Probleme rezolvate .....	154

## **CAPITOLUL 3**

<b>PREDICȚIE LINIARĂ ȘI FILTRARE LINIARĂ OPTIMALĂ</b> .....	171
3.1. Predicție înainte (forward) .....	171

3.2. Predicție liniară înapoi (backward) .....	175
3.3. Structuri lattice pentru implementarea filtrelor FIR de eroare a predicției .....	178
3.2.1. Conversia coeficienților structurii lattice în coeficienți ai filtrului în formă directă .....	184
3.3.2. Conversia coeficienților filtrului FIR din forma directă în coeficienți ai structurii lattice .....	187
3.4. Coeficienții de reflexie optimi ai predictorului lattice înainte și înapoi .....	188
3.5. Relația dintre un proces AR și predicția liniară .....	190
3.6. Soluția ecuațiilor normale .....	191
3.6.1. Algoritmul Levison-Durbin .....	192
3.6.2. Algoritmul Schur .....	197
3.7. Proprietăți ale filtrelor erorii de predicție .....	203
3.7.1. Proprietatea de fază minimă a filtrului erorii de predicție înainte .....	203
3.7.2. Proprietatea de fază maximă a filtrului erorii de predicție înapoi .....	206
3.7.3. Proprietatea de albire .....	206
3.7.4. Proprietatea de ortogonalitate .....	207
3.8. Filtre lattice pentru procese AR și ARMA .....	208
3.8.1. Structura lattice AR .....	208
3.8.2. Procese ARMA și filtre lattice cu poli și zerouri .....	211
3.9. Filtre Wiener pentru filtrare și predicție .....	214
3.9.1. Filtru Wiener cu răspuns finit la impuls .....	215
3.9.2. Proprietatea de ortogonalitate a filtrului optimal .....	218
3.9.3. Determinarea funcției pondere a filtrelor Wiener cu răspuns infiniț la impuls (IIR) la recepționarea secvenței de zgomot alb .....	219
3.9.4. Filtru Wiener cauzal cu răspuns infiniț la impuls (IIR) ..	221
3.9.5. Filtru Wiener IIR necauzal .....	225
3.10. Probleme rezolvate .....	226
 <b>CAPITOLUL 4</b>	
<b>ESTIMAREA PARAMETRILOR .....</b>	<b>235</b>

4.1. Schema bloc a unui sistem de transmisiuni care realizează estimarea unui parametru .....	235
4.2. Determinarea estimatului în cazul funcțiilor de cost pătratul erorii și uniforme .....	239
4.3. Criterii de evaluare a estimatului .....	243
4.4. Determinarea estimatului unui parametru invariant în timp în cazul observării la momente discrete de timp .....	246
4.5. Estimarea liniară a unui parametru în cazul observării continue .....	251
4.6. Estimarea neliniară a unui parametru în cazul observării continue .....	258
4.7. Erori de estimare .....	263
4.8. Eroarea de estimare în cazul estimării liniare .....	269
4.9. Eroarea de estimare în cazul estimării neliniare .....	273
4.10. Estimarea neliniară a mai multor parametri .....	275
4.11. Probleme rezolvate .....	277

## **CAPITOLUL 5**

<b>ESTIMAREA SPECTRULUI DE PUTERE .....</b>	<b>285</b>
5.1. Estimarea spectrului semnalelor din observarea pe intervale de lungime finită .....	285
5.1.1. Calculul densității spectrale de energie .....	286
5.1.2. Estimarea funcției de autocorelație și a densității spectrale de putere a semnalelor aleatoare. Periodograma .....	293
5.1.2.1. Periodograma modificată .....	303
5.1.3. Folosirea Transformatei Fourier Discrete în estimarea spectrului de putere .....	306
5.2. Metode neparametrice pentru estimarea densității spectrale de putere .....	309
5.2.1. Metoda Bartlett. Periodograma mediată .....	309
5.2.2. Metoda Welch. Periodograma mediată modificată .....	311
5.2.3. Metoda Blackman Tukey. Netezirea periodogramei.....	314
5.2.4. Caracteristici de performanță ai estimatorilor densității spectrale de putere neparametrici .....	318
5.3. Metode parametrice pentru estimarea spectrului de putere .....	323
5.3.1. Relații între funcția de autocorelație și parametrii modelului .....	326

5.3.2. Estimarea spectrului de putere pe baza modelului autoregresiv (AR).....	328
5.3.3. Estimarea spectrului de putere a semnalelor modelate AR folosind metoda autocorelației sau Yule-Walker .....	329
5.3.4. Estimarea spectrului de putere a semnalelor modelate AR folosind metoda Burg.....	330
5.3.5. Estimarea spectrului de putere a semnalelor modelate AR folosind metoda covarianței modificate sau a celor mai mici pătrate fără constrângeri .....	334
5.3.6. Alegerea ordinului modelului AR .....	336
5.3.7. Estimarea spectrului de putere pe baza modelului cu medie alunecătoare (MA) .....	337
5.3.8. Estimarea spectrului de putere pentru semnale modelate ARMA .....	339
5.3.9. Rezultate experimentale .....	343
5.4. Probleme rezolvate .....	351
<b>6. BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>362</b>