

LĂCRIMIOARA GRAMA

**PRELUCRAREA NUMERICĂ  
A SEMNALELOR**

*Îndrumător de laborator*



**UTPRESS**

# Cuprins

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Prefață</b>   | <b>i</b>  |
| Lista figurilor . . . . .                                      | vii       |
| Lista tabelelor . . . . .                                      | xiii      |
| <b>1 Introducere în MATLAB</b>                                 | <b>1</b>  |
| 1.1 Considerații generale . . . . .                            | 1         |
| 1.1.1 Definirea variabilelor . . . . .                         | 2         |
| 1.1.2 Funcții predefinite . . . . .                            | 3         |
| 1.1.3 Scalari, vectori și matrice . . . . .                    | 4         |
| 1.1.4 Construirea unei funcții . . . . .                       | 6         |
| 1.1.5 Instrucțiuni de control logic . . . . .                  | 9         |
| 1.1.6 Reprezentări grafice . . . . .                           | 11        |
| 1.2 Desfășurarea lucrării . . . . .                            | 13        |
| 1.3 Exerciții . . . . .  | 15        |
| <b>2 Semnale discrete în timp</b>                              | <b>17</b> |
| 2.1 Considerații generale . . . . .                            | 17        |
| 2.1.1 Semnale sinusoidale discrete în timp . . . . .           | 17        |
| 2.2 Resurse MATLAB . . . . .                                   | 18        |
| 2.3 Desfășurarea lucrării . . . . .                            | 20        |
| 2.4 Exerciții . . . . .  | 26        |
| <b>3 Eșantionarea semnalelor analogice</b>                     | <b>29</b> |
| 3.1 Considerații generale . . . . .                            | 29        |
| 3.1.1 Conversia analog-digitală și digital-analogică . . . . . | 29        |
| 3.1.2 Semnale analogice sinusoidale . . . . .                  | 30        |
| 3.1.3 Eșantionarea semnalelor analogice . . . . .              | 31        |
| 3.1.4 Teorema eșantionării . . . . .                           | 31        |
| 3.2 Resurse MATLAB . . . . .                                   | 32        |
| 3.3 Desfășurarea lucrării . . . . .                            | 33        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.4      | Exerciții . . . . .   | 40         |
| <b>4</b> | <b>Sisteme discrete LTI</b>   | <b>41</b>  |
| 4.1      | Considerații generale . . . . .                                       | 41         |
| 4.1.1    | Clasificarea sistemelor discrete în timp . . . . .                    | 41         |
| 4.1.2    | Analiza sistemelor discrete liniare și invariante în timp . . . . .   | 42         |
| 4.1.3    | Răspunsul sistemelor discrete liniare și invariante în timp . . . . . | 43         |
| 4.2      | Resurse MATLAB . . . . .  | 44         |
| 4.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .                                       | 46         |
| 4.4      | Exerciții . . . . .   | 54         |
| <b>5</b> | <b>Transformata Fourier discretă</b>                                  | <b>57</b>  |
| 5.1      | Considerații generale . . . . .                                       | 57         |
| 5.1.1    | Transformata Fourier discretă. Definiție . . . . .                    | 57         |
| 5.1.2    | Proprietățile transformatei Fourier discrete . . . . .                | 57         |
| 5.2      | Resurse MATLAB . . . . .  | 61         |
| 5.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .                                       | 61         |
| 5.4      | Exerciții . . . . .   | 70         |
| <b>6</b> | <b>Convoluția liniară și convoluția circulară</b>                     | <b>71</b>  |
| 6.1      | Considerații generale . . . . .                                       | 71         |
| 6.1.1    | Convoluția liniară pentru semnale discrete în timp . . . . .          | 71         |
| 6.1.2    | Convoluția circulară pentru semnale discrete în timp . . . . .        | 72         |
| 6.2      | Resurse MATLAB . . . . .  | 73         |
| 6.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .                                       | 74         |
| 6.4      | Exerciții . . . . .   | 84         |
| <b>7</b> | <b>Filtre FIR. Metode de proiectare</b>                               | <b>89</b>  |
| 7.1      | Considerații generale . . . . .                                       | 89         |
| 7.1.1    | Filtre FIR de fază liniară . . . . .                                  | 89         |
| 7.1.2    | Metode de proiectare a filtrelor FIR . . . . .                        | 90         |
| 7.2      | Resurse MATLAB . . . . .  | 95         |
| 7.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .                                       | 99         |
| 7.4      | Exerciții . . . . .   | 104        |
| <b>8</b> | <b>Sisteme LTI ca filtre selective în frecvență</b>                   | <b>107</b> |
| 8.1      | Considerații generale . . . . .                                       | 107        |
| 8.1.1    | Caracteristicile filtrelor ideale . . . . .                           | 107        |
| 8.1.2    | Filtre trece jos, trece sus și trece bandă . . . . .                  | 107        |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 8.1.3     | Rezonator digital . . . . .  | 108        |
| 8.1.4     | Oscilator sinusoidal digital . . . . .   | 108        |
| 8.1.5     | Filtru de rejectie . . . . .   | 108        |
| 8.1.6     | Filtru pieptene . . . . .  | 108        |
| 8.1.7     | Filtru trece tot . . . . .   | 109        |
| 8.2       | Resurse MATLAB . . . . .   | 109        |
| 8.3       | Desfășurarea lucrării . . . . .  | 109        |
| 8.4       | Exerciții . . . . .  | 120        |
| <b>9</b>  | <b>Filtre IIR. Metode indirecte de proiectare</b>                              | <b>123</b> |
| 9.1       | Considerații generale . . . . .  | 123        |
| 9.1.1     | Proiectarea filtrelor IIR pornind de la filtre analogice<br>prototip . . . . . | 124        |
| 9.1.2     | Transformări de frecvență în domeniul analogic . . . . .                       | 125        |
| 9.1.3     | Metoda invarianței răspunsului la impuls . . . . .                             | 127        |
| 9.1.4     | Metoda transformării biliniare . . . . .                                       | 127        |
| 9.1.5     | Avantajele filtrelor IIR . . . . .   | 128        |
| 9.2       | Resurse MATLAB . . . . .   | 128        |
| 9.3       | Desfășurarea lucrării . . . . .  | 132        |
| 9.4       | Exerciții . . . . .  | 141        |
| <b>10</b> | <b>Filtre IIR. Metode directe de proiectare</b>                                | <b>143</b> |
| 10.1      | Considerații generale . . . . .  | 143        |
| 10.1.1    | Metoda de aproximare Padé . . . . .  | 143        |
| 10.1.2    | Metoda celor mai mici pătrate . . . . .  | 144        |
| 10.1.3    | Metoda Yule-Walker . . . . .   | 148        |
| 10.2      | Resurse MATLAB . . . . .   | 148        |
| 10.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .  | 149        |
| 10.4      | Exerciții . . . . .  | 155        |
| <b>11</b> | <b>Structuri pentru realizarea sistemelor FIR</b>                              | <b>157</b> |
| 11.1      | Considerații generale . . . . .  | 157        |
| 11.1.1    | Implementarea sub formă directă . . . . .                                      | 157        |
| 11.1.2    | Implementarea sub formă cascadă . . . . .                                      | 158        |
| 11.1.3    | Implementarea cu eșantionare în frecvență . . . . .                            | 159        |
| 11.1.4    | Implementarea laticială . . . . .  | 160        |
| 11.2      | Resurse MATLAB . . . . .   | 162        |
| 11.3      | Desfășurarea lucrării . . . . .  | 163        |
| 11.4      | Exerciții . . . . .  | 172        |

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>12 Structuri pentru realizarea sistemelor IIR</b>  | <b>173</b> |
| 12.1 Considerații generale . . . . .  | 173        |
| 12.1.1 Implementarea sub formele directe . . . . .  | 173        |
| 12.1.2 Implementarea sub formă cascadă . . . . .  | 174        |
| 12.1.3 Implementarea sub formă paralelă . . . . .   | 175        |
| 12.1.4 Structuri laticiale și laticiale scară pentru sisteme IIR .                                | 176        |
| 12.2 Resurse MATLAB . . . . .   | 180        |
| 12.3 Desfășurarea lucrării . . . . .  | 181        |
| 12.4 Exerciții . . . . .  | 192        |
| <br>  |            |
| <b>13 Cuantizarea coeficienților filtrelor digitale</b>   | <b>193</b> |
| 13.1 Considerații generale . . . . .  | 193        |
| 13.1.1 Analiza sensibilității la cuantizarea coeficienților filtru-<br>lui – filtru IIR . . . . . | 194        |
| 13.2 Resurse MATLAB . . . . .   | 196        |
| 13.3 Desfășurarea lucrării . . . . .  | 198        |
| 13.4 Exerciții . . . . .  | 219        |
| <br>  |            |
| <b>Bibliografie</b>   | <b>221</b> |



**EDITURA U.T.PRESS**

str. Observatorului nr. 34  
C.P. 42, O.P. 2  
400775 Cluj-Napoca  
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro

**ISBN 978-973-662-968-6**

**[www.utcluj.ro/editura](http://www.utcluj.ro/editura)**



9 789736 629686