

Spis treści

Od Autora	XVII
Wprowadzenie	XIX
Wykaz oznaczeń wielkości fizycznych	XXIII
Część 1	
Opis i analiza dynamiki obiektu	1
1. Fizyczne podstawy dynamiki obiektów	3
1.1. Statyka i dynamika obiektów	3
1.2. Analityczne metody konstrukcji modeli dynamiki	5
1.2.1. Charakterystyka ogólna	5
1.2.2. Uogólnione prawa zachowania	5
1.2.3. Modelowanie w ujęciu makroskopowym	6
1.2.4. Modelowanie w ujęciu mikroskopowym	8
1.2.5. Szczególne przypadki opisu obiektu	9
2. Modele w postaci równań różniczkowych	13
2.1. Równania różniczkowe zwyczajne	13
2.2. Równania różniczkowe zwyczajne liniowe	14
2.2.1. Rozwiązanie liniowego równania różniczkowego n -tego rzędu	14
2.2.2. Rozwiązanie układu n równań stanu	16
2.2.3. Przekształcanie równań	17
2.2.4. Analityczne metody badania liniowych równań dynamiki	20
2.2.5. Charakterystyki statyczne i dynamiczne (czasowe)	22
2.2.6. Podstawowe liniowe modele dynamiki	24
2.3. Równania różniczkowe zwyczajne nieliniowe	28
2.3.1. Lokalna linearyzacja dynamiczna	28
2.3.2. Lokalna linearyzacja statyczna	30
2.3.3. Układ n nieliniowych równań stanu	31
2.3.4. Analityczne metody badania stabilności modeli nieliniowych	32
2.4. Opis w przestrzeni stanów	34
2.4.1. Zmienne stanu	34
2.4.2. Płaszczyzna fazowa i płaszczyzna stanów	36
2.4.3. Własności portretów na płaszczyźnie fazowej i płaszczyźnie stanów	39
2.4.4. Zastosowanie płaszczyzny fazowej do analizy dynamiki układów	41
2.4.5. Definicja stabilności wg Lapunowa	42
3. Modele operatorowe	45

3.1. Rachunek operatorowy	45
3.2. Transmitancje Laplace'a	46
3.2.1. Przekształcenie Laplace'a	46
3.2.2. Transmitancja operatorowa	47
3.2.3. Zastosowanie transmitancji operatorowej w badaniach	50
3.2.4. Macierz transmitancji	52
3.2.5. Transmitancje operatorowe podstawowych członów dynamiki	53
3.3. Transmitancje Fouriera	56
3.3.1. Przekształcenie Fouriera	56
3.3.2. Transmitancja widmowa	58
3.3.3. Charakterystyki częstotliwościowe	60
3.3.4. Charakterystyki podstawowych członów dynamiki	62
3.3.5. Układy minimalnofazowe	69
3.3.6. Linearyzacja harmoniczna	71
3.3.7. Zastosowanie częstotliwościowego opisu obiektu	71
4. Porównanie własności i form opisu modeli	75
4.1. Wprowadzenie	75
4.2. Podstawowe własności różnych form opisu	75
4.2.1. Opisy analityczne i graficzne	75
4.2.2. Układy liniowe i nieliniowe	77
4.3. Relacje między różnymi formami opisu	78
4.3.1. Położenie biegunów a odpowiedź skokowa	78
4.3.2. Odpowiedź skokowa a odpowiedź impulsowa	80
4.3.3. Transmitancja operatorowa a charakterystyki czasowe	80
4.3.4. Transmitancja operatorowa a charakterystyki częstotliwościowe	82
4.3.5. Charakterystyki częstotliwościowe a odpowiedź skokowa	82
4.4. Ograniczenia i pułapki	84
4.4.1. Twierdzenie o wartości końcowej	84
4.4.2. Aproksymacja transformat w otoczeniu punktu $s = 0$	85
4.4.3. Hipoteza skracalności	85
4.4.4. Równoważność opisów	88
5. Modele rzeczywistych układów	91
5.1. Nieliniowość rzeczywistych obiektów	91
5.2. Schematy strukturalne	92
5.2.1. Charakterystyka ogólna	92
5.2.2. Elementy schematów strukturalnych	92
5.2.3. Przekształcanie schematów układów liniowych	93
5.2.4. Przekształcanie schematów układów nieliniowych	95
5.3. Eksperymentalna identyfikacja dynamiki	96
5.3.1. Ogólne zasady identyfikacji dynamiki obiektu	96
5.3.2. Metoda charakterystyk czasowych	97
5.3.3. Metoda charakterystyk częstotliwościowych	102

5.3.4. Inne metody identyfikacji dynamiki	104
5.4. Podstawowe reguły upraszczania modeli dynamiki	105
5.4.1. Wprowadzenie	105
5.4.2. Pomijanie biegunów transmitancji	105
5.4.3. Obniżanie rzędu równania różniczkowego	106
5.4.4. Metoda średniej stałej czasowej	107

Część II

Elementy modeli dynamiki obiektów 109

6. Elementy obwodów elektrycznych 111

6.1. Charakterystyka	111
6.2. Idealne źródła energii elektrycznej	112
6.3. Rezystancja (opór czynny)	113
6.4. Pojemność elektryczna	114
6.5. Indukcja magnetyczna i elektromagnetyczna	116
6.5.1. Wprowadzenie	116
6.5.2. Indukcja magnetyczna	116
6.5.3. Siła pola magnetycznego	118
6.5.4. Indukcja elektromagnetyczna	120
6.5.5. Indukcyjność własna	121
6.5.6. Indukcyjność wzajemna	122
6.6. Podstawy działania maszyn elektrycznych	123
6.6.1. Transformator idealny	123
6.6.2. Prądnica	125
6.6.3. Silnik elektryczny	126
6.7. Zastępcze opisy elementów liniowych	127
6.7.1. Impedancja operatorowa	127
6.7.2. Impedancja zespolona (opór pozorny)	129
6.7.3. Wzmacniacze operacyjne	131

7. Elementy układów mechanicznych 133

7.1. Charakterystyka	133
7.2. Idealne źródła energii mechanicznej	134
7.2.1. Definicja źródła energii	134
7.2.2. Źródła siły i prędkości	134
7.2.3. Źródła momentu siły i prędkości obrotowej	135
7.3. Sprężystość postaci	135
7.3.1. Sprężyna w ruchu posuwistym	135
7.3.2. Sprężyna w ruchu obrotowym	137
7.3.3. Kształt sprężyny a odkształcenia sprężyste materiału	137
7.4. Tarcie	139
7.4.1. Wprowadzenie	139
7.4.2. Tarcie lepkie w ruchu posuwistym	139
7.4.3. Tarcie lepkie w ruchu obrotowym	141

7.4.4. Tarcie suche	141
7.5. Bezwładność ciał w ruchu	142
7.5.1. Bezwładność w ruchu posuwistym	142
7.5.2. Moment bezwładności	143
7.6. Maszyny proste	144
7.7. Wektorowy charakter wielkości opisujących ruch	146
7.7.1. Wprowadzenie	146
7.7.2. Ruch po okręgu	146
7.7.3. Wypadkowe wielkości układu sił	148
7.7.4. Pole grawitacyjne	150
8. Elementy układów hydraulicznych	153
8.1. Charakterystyka	153
8.2. Źródła ciśnienia i przepływu	154
8.3. Opór hydrauliczny (opór czynny przepływu)	155
8.3.1. Czynniki warunkujące opór przepływu	155
8.3.2. Opór przewodu	156
8.3.3. Opory miejscowe	157
8.4. Pojemność ściśliwości	158
8.4.1. Pojęcie ściśliwości i sprężystości	158
8.4.2. Pojemność ściśliwości cieczy w sztywnym zbiorniku	158
8.4.3. Pojemność elastycznej aparatury przy nieściśliwej cieczy	159
8.4.4. Pojemność ściśliwej cieczy i elastycznej aparatury	159
8.5. Bezwładność cieczy (inertancja)	160
8.6. Transformacja ciśnienia i siły	160
8.6.1. Przekładnia tłokowa	160
8.6.2. Przekładnia turbinowa	161
8.6.3. Prasa hydrauliczna	162
8.7. Dynamika cieczy doskonałej	162
8.7.1. Równanie ciągłości	162
8.7.2. Stan równowagi dynamicznej	163
8.8. Zbiornik	164
8.8.1. Bilans zbiornika	164
8.8.2. Swobodny wypływ	165
8.9. Elementy nastawcze	166
8.9.1. Wprowadzenie	166
8.9.2. Przepływ przez zwężkę	167
8.9.3. Charakterystyka zaworu	168
9. Elementy układów przenoszenia substancji	171
9.1. Charakterystyka	171
9.2. Źródła ruchu	171
9.3. Transport i opóźnienie transportowe	172
9.4. Zasób (zbiornika, magazynu) i gromadzenie zasobu	172
9.4.1. Bilans wielkości zasobu	172

9.4.2. Cechy zasobu	173
10. Elementy układów termokinetycznych	175
10.1. Charakterystyka	175
10.2. Przenoszenie energii w postaci ciepła	176
10.2.1. Mechanizmy przenoszenia ciepła	176
10.2.2. Przewodzenie (konduktancja)	176
10.2.3. Konwekcja (unoszenie)	178
10.2.4. Promieniowanie (radiacja)	178
10.3. Gromadzenie energii dostarczonej w postaci ciepła	179
10.4. Wymiennik ciepła	179
10.5. Opóźnienie transportowe w układach termokinetycznych	181
10.6. Wpływ temperatury na parametry układu	181
11. Elementy układów termodynamicznych	183
11.1. Charakterystyka	183
11.2. Opis stanu gazu	184
11.2.1. Równanie stanu	184
11.2.2. Przemiana izotermiczna	185
11.2.3. Przemiana adiabatyczna	185
11.3. Mechanika gazów	186
11.3.1. Wprowadzenie	186
11.3.2. Opór czynny	186
11.3.3. Pojemność ściśliwości	186
12. Analogie elementów	189
Część III	
Zasady konstrukcji modeli dynamiki obiektów i przykłady modeli	191
13. Obwody elektryczne	193
13.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	193
13.2. Operatorowe modele obwodów liniowych	194
13.2.1. Ogólne zasady układania równań dla obwodów elektrycznych	194
13.2.2. Metoda prądów oczkowych	194
13.2.3. Metoda praw Kirchhoffa	198
13.2.4. Metoda potencjałów węzłowych	198
13.2.5. Metoda przekształcania sieci	198
13.2.6. Zastosowanie schematów zastępczych	198
13.3. Równania stanu obwodów elektrycznych	199
13.3.1. Zasady wyboru zmiennych stanu	199
13.3.2. Dwuoczkowy obwód z dwoma magazynami energii	199
13.3.3. Dwuoczkowy obwód z trzema magazynami	200
13.3.4. Obwody z zależnymi magazynami energii	201

13.4. Transformator	202
13.4.1. Założenia dla modelu transformatora	202
13.4.2. Transformator bez obciążenia	203
13.4.3. Transformator z obciążeniem czynnym	204
13.5. Silnik prądu stałego	206
13.5.1. Zasada działania silnika prądu stałego	206
13.5.2. Silnik z trwałym polem magnetycznym	207
13.5.3. Silnik obcowzbudny	208
14. Układy mechaniczne	211
14.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	211
14.2. Prosty ruch postępowy i obrotowy	212
14.2.1. Zasady konstruowania modelu	212
14.2.2. Układ pojedynczej masy i tłumika	212
14.2.3. Układ pojedynczej sprężyny i tłumika	213
14.2.4. Układ pojedynczej masy, sprężyny i tłumika	213
14.2.5. Przykład układu z kilkoma punktami ruchu	214
14.2.6. Układ obrotowy z pojedynczą masą, sprężyną i tłumikiem	215
14.2.7. Przykład układu z punktami o różnej prędkości obrotu	216
14.3. Ruch względny	216
14.3.1. Względny układ odniesienia	216
14.3.2. Przesunięty układ odniesienia	218
14.3.3. Układ odniesienia względny i przesunięty	219
14.4. Ruch złożony	219
14.4.1. Wprowadzenie	219
14.4.2. Ruch mechanizmu odśrodkowego	220
14.4.3. Uproszczony model mechanizmu odśrodkowego	222
14.5. Układy z napędem elektrycznym	223
14.5.1. Charakterystyka ogólna	223
14.5.2. Napęd z silnikiem o trwałych magnesach	224
14.5.3. Napęd z silnikiem obcowzbudnym	224
15. Układy hydrauliczne	227
15.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	227
15.2. Zbiornik ze swobodnym wypływem	228
15.2.1. Model ogólny dynamiki wypływu	228
15.2.2. Prosty zbiornik o płaskim dnie i pionowych ścianach	228
15.2.3. Zbiornik o kształcie ostrosłupa	229
15.2.4. Zbiorniki z pionową osią obrotu	229
15.3. Układy zbiorników	231
15.3.1. Wprowadzenie	231
15.3.2. Zbiornik z pompą	231
15.3.3. Zbiornik z wypływem swobodnym	231
15.3.4. Zbiornik z wypływem swobodnym przez zawór	232
15.3.5. Zbiornik z wypływem ograniczonym oporem hydraulicznym	232

15.3.6. Kaskada zbiorników ze swobodnym wypływem	234
15.3.7. Kaskada zbiorników połączonych krótkim przewodem rurowym	236
15.4. Sieci hydrauliczne	237
15.4.1. Wprowadzenie	237
15.4.2. Pozioma sieć z obiegiem zamkniętym	238
15.4.3. Rekurencyjny model sieci z obiegiem zamkniętym	240
15.5. Elementy hydrauliczne	240
15.5.1. Siłownik	240
15.5.2. Siłownik ze sprężyną	241
15.6. Kaskady przepływowe	243
15.6.1. Wprowadzenie	243
15.6.2. Kaskada sztywna otwarta	243
15.6.3. Kaskada sztywna zamknięta	243
15.6.4. Kaskada elastyczna otwarta	244
16. Układy przenoszenia substancji	247
16.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	247
16.2. Przepływ substancji przez pojedynczy zasobnik	247
16.2.1. Zasobnik ze sterowanym dopływem i odpływem	247
16.2.2. Zasobnik o proporcjonalnym odpływie	248
16.2.3. Zasobnik uśredniający	248
16.2.4. Zasobnik uśredniający ze zmiennym wypełnieniem	249
16.3. Układy zasobników	252
17. Układy termokinetyczne	255
17.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	255
17.2. Magazyny energii w układzie termokinetycznym	255
17.2.1. Obiekt z grzałką i „cienką” obudową	255
17.2.2. Obiekt z grzałką i „grubą” obudową	256
17.2.3. Obiekt z grzejnikiem kumulacyjnym	258
17.3. Centralne ogrzewanie	260
17.3.1. Wprowadzenie	260
17.3.2. Obiekt z grzejnikiem c.o. o temperaturze T_g	260
17.3.3. Obiekt z grzejnikiem c.o. o temperaturze zasilania T_{gz}	260
17.3.4. Obiekt z grzejnikiem c.o. o temperaturze zasilania T_{gz} i pojemności cieplnej C_{vg}	263
17.3.5. Kocioł c.o. o mocy q_k i pojemności C_{vk}	264
17.3.6. Sieć grzewcza	265
17.4. Wymienniki ciepła	266
17.4.1. Wprowadzenie	266
17.4.2. Wymiennik charakteryzowany przez temperaturę wypływu	267
17.4.3. Wymiennik charakteryzowany przez temperatury średnie	267
17.5. Mieszanie substancji	268
17.5.1. Klimatyzacja (ogrzewanie przez nawiew)	268
17.5.2. Ogrzewanie zbiornika przepływowego	269

18. Układy termodynamiczne	271
18.1. Ogólne zasady konstruowania modeli	271
18.2. Przepływ gazu przez zbiorniki	272
18.2.1. Wprowadzenie	272
18.2.2. Zbiornik włączony szeregowo	272
18.2.3. Zbiornik włączony równolegle	273
18.2.4. Układ zbiorników włączonych szeregowo	273
18.3. Kaskady przepływowe	274
18.3.1. Wprowadzenie	274
18.3.2. Izotermiczne sprężanie gazu w kaskadzie otwartej	275
18.3.3. Adiabatyczne sprężanie gazu w kaskadzie otwartej	276
19. Analogie układów	279
19.1. Charakterystyka ogólna	279
19.2. Układy mechaniczne i elektryczne	279
19.2.1. Wprowadzenie	279
19.2.3. Przykłady układów analogicznych	279
19.3. Układy hydrauliczne (pneumatyczne) i elektryczne	281
19.3.1. Charakterystyka ogólna	281
19.3.2. Analogiczne układy inercyjne	281
19.3.3. Filtrujące własności zbiorników	282
19.3.4. Różne formy układu analogicznego	282
19.4. Układy cieplne i hydrauliczne	283
19.4.1. Wprowadzenie	283
19.4.2. Układ dwóch współdziałających zasobników	283
19.4.3. Układ trzech współdziałających zasobników	284
19.4.4. Układ z „martwą” pojemnością boczną	284
19.4.5. Układ z „czynną” i „martwą” pojemnością boczną	285
19.5. Analogie a różnice i uogólnienia	286
20. Układy o parametrach rozłożonych	287
20.1. Jednorodna linia elektryczna	287
20.2. Przewód rurowy	287
20.3. Wymiennik ciepła	287
20.3.1. Wymiennik ogrzewany parą	287
20.3.2. Przeciuprądowy wymiennik ciepła typu rura w rurze	287
Część IV	
Zastosowanie prostych modeli dynamiki	289
21. Techniczne aspekty badań symulacyjnych	291
21.1. Wprowadzenie	291
21.2. Identyfikacja parametrów modelu	291
21.3. Aplikacja modelu w programie symulacyjnym	294

21.3.1. Ogólne zasady	294
21.3.2. Aplikacja modelu w postaci transmitancji operatorowych	295
21.3.3. Aplikacja modelu w postaci liniowych równań stanu	297
21.3.4. Aplikacja modelu w postaci nieliniowych równań różniczkowych	298
21.4. Weryfikacja modelu	301
21.4.1. Wprowadzenie	301
21.4.2. Poprawność aplikacji modelu	301
21.4.3. Wiarygodność modelu	303
21.5. Badania symulacyjne modelu	304
21.5.1. Skrypty jako robocza dokumentacja badań	304
21.5.2. Warunki początkowe	305
21.5.3. Badania z rejestracją przebiegów czasowych	306
21.5.4. Interpretacja wyników symulacji	308
21.5.5. Funkcje wspomagające podstawowe badania dynamiki	308
22. Warianty modelu na przykładzie instalacji c.o	311
22.1. Opis modelowanego obiektu	311
22.2. Sparаметryzowany model ogrzewanego pomieszczenia	312
22.2.1. Opis zmiennych i parametrów modelu	312
22.2.2. Nieliniowy model pomieszczenia przy założeniu $C_{vg} \ll C_{vw}$	313
22.2.3. Nieliniowy model pomieszczenia przy założeniu $C_{vg} \gg C_{vw}$	314
22.2.4. Liniowe modele pomieszczenia ogrzewanego	314
22.3. Model ogrzewanego budynku - zjawiska cieplne	315
22.3.1. Zastępczy model całego budynku	315
22.3.2. Model budynku jako suma zastępczych modeli mieszkań	316
22.3.3. Model budynku z opóźnieniami transportowymi	317
22.4. Model instalacji c.o. - zjawiska cieplne i hydrauliczne	317
22.4.1. Opis zmiennych i parametrów modelu	317
22.4.2. Prosty model hydrauliczny instalacji	318
22.4.3. Model instalacji c.o	319
22.5. Sparаметryzowany model kotła	320
22.5.1. Opis parametrów i zmiennych	320
22.5.2. Nieliniowy model kotła przy założeniu $C_{vk} \ll C_{vw}$	320
22.5.3. Nieliniowy model kotła przy założeniu $C_{vk} \gg C_{vw}$	321
22.5.4. Liniowe modele kotła	321
22.5.5. Model budynku i kotłowni	321
23. Zastosowanie prostych modeli	323
23.1. Wprowadzenie	323
23.2. Badanie dynamiki obiektów	323
23.2.1. Cel zastosowania prostych modeli	323
23.2.2. Ogólna metodologia konstrukcji modelu	324
23.2.3. Analiza własności modelu	326
23.3. Układy regulacji	328
23.3.1. Wybór układu regulacji	328

23.3.2. Dobór nastaw	329
23.3.3. Model jako element układu regulacji	330
Część V	
Zadania	333
24. Formy modeli	335
24.1. Klasyfikacja modeli i podstawowa analiza	335
24.2. Interpretacja charakterystyk	335
24.3. Przekształcanie formy modeli	335
24.4. Modele złożone	335
25. Obiekty jednorodne	336
25.1. Odpowiedzi czasowe	336
25.2. Własności układów elementarnych	336
26. Parametry charakterystyk częstotliwościowych	337
26.1. Układy elektryczne	337
26.2. Układy mechaniczne	337
27. Przepływ cieczy przez zbiorniki	338
27.1. Wypływ cieczy ze zbiorników o różnych kształtach	338
27.2. Zbiorniki o różnych kształtach w kaskadzie	338
27.3. Przepływ przez kaskadę niewspółdziałającą	338
27.4. Przepływ przez kaskadę współdziałającą	338
27.5. Układ trzech zbiorników	338
28. Układy z ogrzewaniem	339
28.1. Przepływ ciepłego (zimnego) medium	339
28.2. Ogrzewanie (chłodzenie) elementu	339
28.3. Model zastępczy układu cieplnego	339
28.4. Przepływ i podgrzewanie	339
29. Ruch i napęd	340
29.1. Kierunek ruchu i punkt odniesienia	340
29.2. Napęd elektryczny	340
29.3. Elementy hydrauliczne	340
29.4. Parametry ruchu	340
30. Symulacja	341
30.1. Parametry symulacji	341
30.2. Rozwiązania analityczne i symulacyjne	341
31. Egzamin	341
31.1. Egzamin z teorii	

Egzamin z „obiektów"	342
Bibliografia	342
Skorowidz	342
	343
	345

Dodatki - na CD

A. Algebra

A1. Algebra wektorowa

A1.1. Dodawanie i odejmowanie wektorów

A1.2. Mnożenie wektora przez skalar

A1.3. Iloczyn skalarny dwóch wektorów

A1.4. Iloczyn wektorowy dwóch wektorów

A2. Algebra liczb zespolonych

A2.1. Postać i interpretacja liczby zespolonej

A2.2. Działania na liczbach zespolonych

A3. Pierwiastki wielomianów

A3.1. Podstawowe własności wielomianów

A3.2. Algebraiczne wyznaczanie pierwiastków wielomianu

A3.3. Numeryczne wyznaczanie pierwiastków wielomianu

A4. Macierze i ich wyznaczniki

A4.1. Działania na macierzach

A4.2. Podstawowe własności wyznaczników

A4.3. Obliczanie wyznaczników

A4.4. Wybrane własności macierzy

A4.5. Zastosowanie macierzy do rozwiązywania układu równań liniowych

A4.6. Zastosowanie macierzy w rachunku różniczkowym

B. Analiza matematyczna

B1. Pochodne funkcji B1.1.

Ciągłość funkcji B1.2.

Pochodna funkcji

B1.3. Podstawowe twierdzenia rachunku różniczkowego B1.4.

Pochodne funkcji elementarnych

B2. Całki

B2.1. Całka nieoznaczona

B2.2. Całka oznaczona (Riemanna)

B2.3. Całka niewłaściwa

B3. Wybrane funkcje

B3.1. Funkcje wykładnicze

B3.2. Funkcje harmoniczne (harmoniki)

B4. Dystrybucje (pseudofunkcje)

B4. Rozwinięcia funkcji w szeregi

B4.1. Szereg Taylora i Maclaurina B4.2. Szereg trygonometryczny
Fouriera

C. Rachunek operatorowy

- C.1. Idea rachunku operatorowego
- C.2. Definicje i własności przekształcenia Laplace'a
 - C2.1. Definicja przekształcenia Laplace'a
 - C2.2. Własności przekształcenia
 - C2.3. Wybrane oryginały i transformaty Laplace'a
- C.3. Definicja i własności przekształcenia Fouriera
 - C3.1. Definicja i interpretacja przekształcenia Fouriera
 - C3.2. Podstawowe własności przekształcenia
- C.4. Podstawowe własności przekształceń

D. Rozwiązanie liniowych równań różniczkowych zwyczajnych

- D1. Metoda klasyczna rozwiązywania równań różniczkowych
 - D1.1. Rozwiązanie swobodne
 - D1.2. Rozwiązanie wymuszone
 - D1.3. Rozwiązanie pełne
 - D1.4. Przykłady
- D2. Metoda operatorowa
 - D2.1. Metoda rozkładu na ułamki proste
 - D2.2. Metoda residuów
 - D2.3. Przykłady

E. Teoria sterowania

- E1. Charakterystyki wybranych członów dynamiki
 - E1.1. Typowe parametry członów dynamiki
 - E1.2. Charakterystyki czasowe podstawowych członów
 - E1.3. Charakterystyki częstotliwościowe podstawowych członów
 - E1.4. Charakterystyki $Q(P)$ członów połączonych szeregowo
 - E1.5. Porównanie wybranych członów
- E2. Badania różne
 - E2.1. Badanie sterowalności i obserwowalności
 - E2.2. Konstrukcja charakterystyk modułu i fazy
 - E2.3. Graficzne wyznaczanie charakterystyk zastępczych układów liniowych

F. Fizyka

- F1. Zestawienie wzorów i oznaczeń
 - F1.1. Obwody elektryczne
 - F1.2. Układy mechaniczne
 - F1.3. Układy hydrauliczne i pneumatyczne
 - F1. 4. Układy cieplne

F1.5. Równania bilansowe

F2. Własności fizyczne wybranych materiałów

F2.1. Opór właściwy ρ i współczynniki temperaturowe α

F2.2. Przenikalność elektryczna

F2.3. Przenikalność magnetyczna

F2.4. Moduły sprężystości (ściśliwości)

F2.5. Współczynniki tarcia

F2.6. Lepkość

F2.7. Gęstość

F2.8. Ciepło właściwe

F2.9. Przewodność cieplna

G. Oprogramowanie do badań symulacyjnych

G1. Opis wybranych bloków Matlaba

G1.1. Matlab G1.2. Simulink G1.3.

Control

G2. Wybrane programy symulacyjne

G2.1. Scilab

G2.2. Tutsim

G2.3. 20-sim

G2.4. Dymola

G2.5. Modelica

G2.6. Mathematica

G2.7. PSPICE

G2.8. NAP

G2.9. A CS L Sim