

SPIS TREŚCI

1. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE.	15
1.1. Układ jednostek SI.	15
1.1.1. Jednostki podstawowe i pochodne.	15
1.1.2. Określenia jednostek podstawowych i uzupełniających.	16
1.1.3. Jednostki główne i pokrewne.	18
1.1.4. Ważniejsze jednostki stosowane w elek- trotechnice.	19
1.2. Sposoby pisania równań.	23
1.2.1. Równania wielkościowe.	23
1.2.2. Równania liczbowe.	23
1.3. Pojęcia podstawowe.	26
1.3.1. Uwagi ogólne	26
1.3.2. Wymuszenie i odpowiedź	26
1.3.3. Zwroty prądów i napięć	28
1.4. Układy liniowe i nieliniowe	29
1.5. Podstawowe pojęcia dotyczące obwodów elek- trycznych	30
1.5.1. Uwagi ogólne	30
1.5.2. Podstawowe właściwości topologiczne.	32
1.5.3. Liczba oczek obwodu.	34
1.6. Pasywne elementy idealne.	35
1.6.1. Uwagi ogólne	35
1.6.2. Opornik idealny.	35
1.6.3. Cewka idealna.	36
1.6.4. Kondensator idealny.	38
1.6.5. Obwody stacjonarne i niestacjonarne.	39
1.6.6. Obwody o parametrach skupionych i roz- łożonych	40

1.7.	Zróżdka energii	41
1.7.1.	Zróżdka idealne	41
1.7.2.	Zróżdka rzeczywiste	43
1.7.3.	Zróżdka sterowane	45
1.8.	Cewki magnetycznie sprzężone	47
1.8.1.	Zależności podstawowe	47
1.8.2.	Znak indukcyjności wzajemnej	49
1.8.3.	Kilka cewek magnetycznie sprzężonych	50
1.9.	Elementy czterozaciskowe	50
1.9.1.	Transformator idealny	52
1.9.2.	Żyrator	53
1.9.3.	Ujemny konwertor	55
1.10.	Klasyfikacja prądów i napięć	57
1.11.	Moc i energia	57
1.11.1.	Moc chwilowa i energia	58
1.11.2.	Elementy aktywne i pasywne	59
1.11.3.	Moc i energia elementów idealnych	61
1.11.4.	Moc czynna prądu okresowego	63
1.12.	Wartość skuteczna prądów i napięć okresowych	65
2.	RÓWNANIA OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH	65
2.1.	Wiadomości wstępne	66
2.2.	Prawa Kirchhoffa	66
2.2.1.	Pierwsze prawo Kirchhoffa	67
2.2.2.	Drugie prawo Kirchhoffa	70
2.3.	Zastosowanie praw Kirchhoffa	70
2.3.1.	Ogólna metoda postępowania	73
2.3.2.	Obwody zawierające cewki magnetycznie sprzężone	77
2.4.	Równania oczkowe	77
2.4.1.	Zależności podstawowe	79
2.4.2.	Zastosowanie operatorów	82
2.4.3.	Obwody zawierające źródło prądu	85
2.4.4.	Obwody zawierające źródła sterowane	

2.5. Równania węzłowe.	85
2.5.1. Zależności podstawowe.	85
2.5.2. Zastosowanie operatorów.	88
2.6. Obwody dualne	93
2.6.1. Uwagi ogólne	93
2.6.2. Wyznaczanie obwodów dualnych	96
PRĄDY I NAPIĘCIA SINUSOIDALNE.	99
3.1. Prądy i napięcia sinusoidalne	99
3.1.1. Określenia podstawowe.	99
3.1.2. Kąt przesunięcia fazowego.	102
3.1.3. Wartość skuteczna prądu sinusoidalnego	103
3.2. Opornik idealny w obwodzie prądu sinusoidalnego.	104
3.2.1. Zależności podstawowe.	104
3.2.2. Zależności energetyczne.	105
3.3. Cewka idealna w obwodzie prądu sinusoidalnego	107
3.3.1. Zależności podstawowe.	107
3.3.2. Zależności energetyczne.	109
3.4. Kondensator idealny w obwodzie prądu sinusoidalnego.	111
3.4.1. Zależności podstawowe.	111
3.4.2. Zależności energetyczne.	113
3.5. Połączenie szeregowe elementów R , L , C	115
3.6. Moc w obwodach prądu sinusoidalnego	120
3.6.1. Moc czynna	120
3.6.2. Moc bierna i pozorna	122
METODA LICZB ZESPOLONYCH	126
4.1. Przedstawianie wielkości sinusoidalnych za pomocą liczb zespolonych.	126
4.1.1. Liczby zespolone	126
4.1.2. Wartość zespolona napięcia i prądu	127
4.2. Wykresy wskazowe (wektorowe).	131
4.2.1. Wskaz wirujący	131

4.2.2.	Wskaz nieruchomy	132
4.2.3.	Podstawowe właściwości wykresów wska- zowych	133
4.3.	Prawa Kirchhoffa w postaci zespolonej	136
4.3.1.	Zależności podstawowe.	136
4.3.2.	Pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa	138
4.4.	Równania zespolone elementów idealnych.	140
4.4.1.	Opornik idealny.	140
4.4.2.	Cewka idealna.	142
4.4.3.	Kondensator idealny.	144
4.4.4.	Przejście od równań dla wartości chwi- lowych do równań zespolonych	146
4.5.	Prawo Ohma w postaci zespolonej	147
4.5.1.	Impedancja	147
4.5.2.	Admitancja	150
4.5.3.	Zależność między rezystancją i reaktan- cją a konduktancją i susceptancją.	153
4.6.	Połączenie szeregowe i równoległe dwójników	155
4.6.1.	Połączenie szeregowe	155
4.6.2.	Połączenie równoległe.	156
4.7.	Połączenie szeregowe i równoległe elementów R, L, C	159
4.7.1.	Połączenie szeregowe	159
4.7.2.	Przypadki szczególne	161
4.7.3.	Połączenie równoległe elementów R, L, C.	163
4.7.4.	Kondensator ze stratami.	166
4.7.5.	Przykład liczbowy.	167
4.8.	Źródła napięcia i prądu	169
4.9.	Charakterystyka amplitudowo-fazowa.	170
4.9.1.	Uwagi ogólne	170
4.9.2.	Charakterystyka amplitudowo-fazowa o po- staci okręgu	172
4.9.3.	Charakterystyki amplitudowo-fazowe po- łączenia szeregowego i równoległego elementów	177

4.10.	Moc zespolona.	179
5.	LINIOWE OBWODY PRĄDU SINUSOIDALNEGO.	185
5.1.	Analiza obwodów metodą praw Kirchhoffa	185
5.1.1.	Obwody nie zawierające cewek magnetycznie sprzężonych	185
5.1.2.	Obwody zawierające cewki magnetycznie sprzężone	189
5.2.	Połączenie szeregowo i równoległe cewek magnetycznie sprzężonych.	190
5.3.	Transformator bezrdzeniowy	193
5.4.	Mostek Wheatstone'a prądu sinusoidalnego	197
5.5.	Rezonans w obwodach elektrycznych.	200
5.6.	Rezonans napięć.	202
5.6.1.	Zależności podstawowe	202
5.6.2.	Zależności energetyczne	203
5.6.3.	Rozstrojenie względne	204
5.6.4.	Szerokość pasma przepuszczania.	206
5.7.	Rezonans prądów.	209
5.8.	Metoda oczkowa	213
5.9.	Metoda węzłowa	221
5.10.	Twierdzenie Thevenina.	229
5.11.	Twierdzenie Nortona.	237
5.12.	Dopasowanie odbiornika do źródła	240
5.12.1.	Dopasowanie ze względu na moc czynną	240
5.12.2.	Dopasowanie przy stałej wartości współczynnika mocy.	242
6.	OKRESOWE PRĄDY NIESINUSOIDALNE	244
6.1.	Uwagi ogólne	244
6.2.	Szereg Fouriera.	244
6.3.	Analiza harmoniczna.	248
6.4.	Symetryczne krzywe okresowe.	250
6.4.1.	Funkcje nieparzyste	250

6.4.2.	Funkcje parzyste.	251
6.4.3.	Funkcje antysymetryczne	252
6.4.4.	Jednoczesne występowanie dwóch symetrii.	254
6.5.	Wartości średnie i skuteczne	259
6.5.1.	Wartości średnie.	259
6.5.2.	Wartość skuteczna	260
6.6.	Obwody liniowe zasilane okresowymi napięciami niesinusoidalnymi	265
6.7.	Rezonans przy okresowych prądach niesinusoidalnych	269
6.8.	Wpływ indukcyjności i pojemności na wyższe harmoniczne prądu i napięcia	271
6.9.	Moc okresowych prądów niesinusoidalnych.	273
6.9.1.	Moc czynna.	273
6.9.2.	Moc bierna i pozorna.	276
6.10.	Szereg Fouriera w postaci zespolonej	278
7.	STANY NIEUSTALONE W OBWODACH LINIOWYCH	281
7.1.	Pojęcia podstawowe	281
7.1.1.	Stan przejściowy i ustalony	281
7.1.2.	Równania różniczkowe.	283
7.1.3.	Wymuszenie i odpowiedź w stanie nieustalonym obwodu.	285
7.1.4.	Równania ciągłości.	286
7.2.	Obwody zawierające szeregowe połączenie elementów R, L.	288
7.2.1.	Wzór Helmholtza	288
7.2.2.	Włączenie napięcia stałego.	290
7.2.3.	Zwarcie gałęzi.	292
7.2.4.	Zmiana rezystancji w obwodzie	293
7.2.5.	Włączenie napięcia sinusoidalnego	295
7.3.	Obwody zawierające szeregowe połączenie elementów R, C.	298

7.3.1. Wzór Helmholtza	298
7.3.2. Ładowanie kondensatora przez opornik.	300
7.3.3. Wyładowanie kondensatora przez opornik.	304
7.3.4. Włączenie napięcia sinusoidalnego	307
7.4. Stany nieustalone w szeregowym połączeniu ele- mentów R, L, C	309
7.5. Szeregowe połączenie elementów R, L, C zasila- ne napięciem stałym.	316
7.5.1. Wyładowanie kondensatora.	316
7.5.2. Ładowanie kondensatora.	322
7.6. Szeregowe połączenie elementów R, L, C zasila- ne napięciem sinusoidalnym	327
7.7. Stany nieustalone w obwodach rozgałęzionych.	329
8. OBWODY NIELINIOWE PRĄDU STAŁEGO I OKRESOWEGO.	333
8.1. Elementy nieliniowe.	333
8.1.1. Pojęcia podstawowe.	333
8.1.2. Odształcanie wielkości sinusoidalnych.	339
8.1.3. Aproksymacja charakterystyk nieliniowych.	342
8.2. Parametry statyczne i dynamiczne	342
8.2.1. Opór statyczny.	343
8.2.2. Opór dynamiczny	348
8.2.3. Opór ujemny	348
8.2.4. Parametry statyczne i dynamiczne cewki i kondensatora.	349
8.3. Nieliniowe obwody rezystancyjne.	350
8.3.1. Wiadomości podstawowe	350
8.3.2. Połączenie szeregowo elementów nieli- niowych	351
8.3.3. Połączenie równoległe elementów nieli- niowych	353
8.4. Obwody prądu stałego zawierające jeden ele- ment nieliniowy.	355

8.5.	Elementy warunkowo-nieliniowe.	357
8.6.	Cewka z rdzeniem stalowym w obwodzie prądu zmiennego.	359
8.6.1.	Uwagi ogólne.	359
8.6.2.	Odkształcenie prądu	360
8.6.3.	Siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniu cewki	363
8.6.4.	Wpływ strat w rdzeniu	364
8.6.5.	Schemat zastępczy cewki z rdzeniem sta- lowym	366
8.7.	Transformator z rdzeniem stalowym.	371
8.7.1.	Zależności podstawowe	371
8.7.2.	Równania i schemat zastępczy trans- formatora	376
8.7.3.	Charakterystyki częstotliwościowe transformatora.	382
8.8.	Ferrorezonans napięć i prądów.	386
8.8.1.	Ferrorezonans napięć.	386
8.8.2.	Ferrorezonans prądów.	389
8.8.3.	Stabilizacja napięcia	392
8.9.	Prostowanie prądu sinusoidalnego	394
8.9.1.	Prostowanie półokresowe	394
8.9.2.	Prostowanie całookresowe.	397
8.10.	Obwód zawierający prostownik i kondensator	399
8.10.1.	Obwód zawierający jeden prostownik.	399
8.10.2.	Obwód zawierający dwa prostowniki	402
8.11.	Obwód zawierający prostownik i cewkę	402
8.11.1.	Obwód zawierający jeden prostownik.	402
8.11.2.	Obwód zawierający dwa prostowniki	406
8.12.	Drgania relaksacyjne	408
9.	ZASTOSOWANIE PRZEKSZTAŁCENIA LAPLACE'A DO ANALIZY STANÓW NIEUSTALONYCH	41

9.1. Wiadomości wstępne	411
9.2. Podstawowe wzory i twierdzenia	412
9.2.1. Przekształcenie Laplace'a	412
9.2.2. Twierdzenie o liniowości.	415
9.2.3. Twierdzenie o podobieństwie	417
9.2.4. Twierdzenie o przesunięciu.	417
9.2.5. Twierdzenie o opóźnieniu.	418
9.2.6. Twierdzenia graniczne	419
9.2.7. Przekształcanie funkcji okresowych.	420
9.2.8. Przekształcanie pochodnych.	422
9.2.9. Przekształcenie całki	423
9.2.10. Twierdzenie Borela.	425
9.2.11. Całka Duhamela.	426
9.3. Przekształcenie odwrotne	427
9.3.1. Zależności podstawowe	427
9.3.2. Twierdzenie o rozkładzie.	429
9.3.3. Wzór Heaviside'a	430
9.3.4. Pierwiastki zespolone	433
9.3.5. Pierwiastki wielokrotne	436
9.4. Rozwiązywanie równań różniczkowych i różniczko- wo-całkowych	438
9.5. Immitancje dwójnika	440
9.5.1. Impedancja operatorowa.	440
9.5.2. Admitancja operatorowa.	446
9.5.3. Układ drabinkowy.	447
9.6. Prawo Ohma w postaci operatorowej.	449
9.7. Prawa Kirchhoffa w postaci operatorowej.	457
9.7.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa	457
9.7.2. Drugie prawo Kirchhoffa	457
9.7.3. Obwody nie zawierające cewek magnetycz- nie sprzężonych	458
9.7.4. Schemat zastępczy obwodu z niezerowymi warunkami początkowymi.	470

9.7.5.	Źródła napięcia i prądu	472
9.7.6.	Obwody zawierające cewki magnetycz- nie sprzężone	474
9.8.	Twierdzenie Thevenina i Nortona	478
9.8.1.	Twierdzenie Thevenina	478
9.8.2.	Twierdzenie Nortona	487
9.9.	Zakłócenie równań ciągłości	493
9.10.	Funkcja impulsowa Diraca.	496
10.	ELEMENTY ANALIZY MACIERZOWEJ OBWODÓW.	504
10.1.	Wiadomości wstępne.	504
10.2.	Prawa Kirchhoffa w postaci macierzowej.	504
10.2.1.	Uwagi ogólne.	504
10.2.2.	Pierwsze prawo Kirchhoffa	506
10.2.3.	Drugie prawo Kirchhoffa	510
10.2.4.	Zależność między macierzami łącza- cymi.	514
10.3.	Macierze impedancji i admitancji gałęzio- wych.	516
10.3.1.	Macierz impedancji gałęziowych.	516
10.3.2.	Macierz admitancji gałęziowych.	520
10.4.	Równania oczkowe i węzłowe w postaci macie- rzowej.	522
10.4.1.	Równania oczkowe.	522
10.4.2.	Równania węzłowe.	532
10.5.	Twierdzenie o wzajemności	538
11.	RÓWNANIA I POŁĄCZENIA CZWÓRNIKÓW.	543
11.1.	Określenia podstawowe	543
11.2.	Równania czwórnik pasywnego.	545
11.2.1.	Równania admitancyjne	545
11.2.2.	Równania impedancyjne	550
11.2.3.	Równania łańcuchowe	554
11.2.4.	Równania mieszane	557

11.3.	Czwórnik odwracalny i symetryczny	560
11.3.1.	Czwórnik odwracalny	560
11.3.2.	Zmiana strony zasilania czwornika.	564
11.3.3.	Czwórnik symetryczny.	566
11.4.	Czwórnik T, Π , X.	567
11.4.1.	Czwórnik T	567
11.4.2.	Czwórnik Π	570
11.4.3.	Symetryczny czwórnik X	573
11.5.	Połączenie łańcuchowe.	576
11.6.	Połączenie szeregowe	581
11.7.	Połączenie równoległe.	586
11.8.	Połączenie szeregowo-równoległe.	590
11.9.	Połączenie równoległo-szeregowe.	591
12.	WŁAŚCIWOŚCI CZWÓRNIKÓW PRZY PRĄDZIE SINUSOIDALNYM	594
12.1.	Uwagi ogólne	594
12.2.	Parametry falowe czwornika symetrycznego	595
12.2.1.	Impedancja falowa.	595
12.2.2.	Stała przenoszenia	598
12.2.3.	Przekładnia mocy	600
12.3.	Równania łańcuchowe czwornika symetrycznego zawierające funkcje hiperboliczne.	601
12.3.1.	Równania podstawowe.	601
12.3.2.	Połączenie łańcuchowe jednakowych czworników symetrycznych	604
12.4.	Stan jałowy i stan zwarcia czwornika syme- trycznego.	605
12.5.	Impedancje wejściowe czwornika niesymetrycz- nego	607
12.6.	Parametry falowe czwornika niesymetrycznego.	610
12.6.1.	Impedancja falowa.	610
12.6.2.	Stała przenoszenia czwornika	614
12.6.3.	Równania łańcuchowe zawierające funk- cje hiperboliczne.	616

13. FILTRY ELEKTRYCZNE.	619
13.1. Wiadomości podstawowe	619
13.2. Podstawowe właściwości filtrów reaktancyj- nych.	620
13.3. Wyznaczanie zakresów przepuszczania i tłu- mienia filtrów reaktancyjnych	622
13.4. Przykłady filtrów reaktancyjnych.	625
13.4.1. Filtry dolnoprzepustowe	625
13.4.2. Filtry górnoprzepustowe	628
13.4.3. Filtr pasmowy	630
13.5. Filtry RC	633
LITERATURA.	637
DODATEK	639