

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
Wstęp	15
1. Elektromagnetyzm i teoria obwodów	17
1.1. Pojęcia podstawowe teorii pola	17
1.1.1. Strumień i potencjał	17
1.1.2. Równania Maxwella	19
1.2. Prawa Kirchhoffa	21
1.2.1. Prądowe prawo Kirchhoffa	21
1.2.2. Napięciowe prawo Kirchhoffa	23
1.3. Energia i moc w obwodzie. Zasada Tellegena	27
1.4. Elementy idealne tworzące obwód	29
1.4.1. Element idealny a element rzeczywisty	29
1.4.2. Źródło napięcia	32
1.4.3. Źródło prądu	33
1.4.4. Rezystancja	33
1.4.5. Indukcyjność	36
1.4.6. Układy indukcyjności sprzężonych	37
1.4.7. Pojemność	38
1.4.8. Źródła sterowane	39
1.5. Układy rzeczywiste	39
1.5.1. Źródła energii – modele stratne	39
1.5.2. Cewka i kondensator	41
1.6. Bilans mocy w obwodzie	41
1.7. Obwody SLS	42
1.7.1. Obwód stacjonarny	42

1.7.2.	Obwód liniowy	42
1.7.3.	Obwód o parametrach skupionych	42
1.7.4.	Informacje uzupełniające	43
1.8.	Idealne przyrządy pomiarowe	44
1.8.1.	Amperomierz	44
1.8.2.	Woltomierz	45
1.8.3.	Watomierz	46
2.	Teoria grafów	47
2.1.	Graf – definicja i podstawowe pojęcia	47
2.1.1.	Graf i podgraf	47
2.1.2.	Reprezentacja graficzna, grafy skierowane	48
2.1.3.	Rozszerzenie grafu	50
2.1.4.	Klika	50
2.1.5.	Grafy planarne (płaskie)	50
2.1.6.	Grafy izomorficzne	51
2.2.	Spójność grafu	51
2.3.	Przekrój grafu	52
2.4.	Kontur (cykl)	55
2.5.	Drzewo grafu	56
2.5.1.	Drzewo grafu spójnego	56
2.5.2.	Twierdzenie Kirchhoffa	58
2.5.3.	Drzewo grafu niespójnego	59
2.6.	Rodzaje połączeń gałęzi	60
2.6.1.	Połączenia szeregowo i równoległe gałęzi	60
2.6.2.	Gałęzie tworzące gwiazdę	61
2.6.3.	Gałęzie tworzące trójkąt	62
2.7.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	63
3.	Graf sieciowy obwodu	66
3.1.	Obwód SLS i uproszczony graf sieciowy	66
3.2.	Liczba niezależnych równań prądowych	68
3.3.	Liczba niezależnych równań napięciowych	71
3.4.	Pętla własna	73
3.5.	Graf sieciowy niespójny	73
3.6.	Zaciski	75
3.7.	Obwody sprzeczne	76

4. Obwody prądu stałego w stanie ustalonym	78
4.1. Wyznaczanie prądów i napięć w obwodzie	78
4.2. Obwód z przyrządami pomiarowymi idealnymi	81
4.3. Obwód ze źródłami sterowanymi	83
4.4. Dopasowanie odbiornika do źródła	86
4.5. Zadania do samodzielnego rozwiązania	88
5. Twierdzenia pomocnicze	94
5.1. Twierdzenie o przenoszeniu elementów pasywnych	94
5.2. Twierdzenia o dołączaniu źródeł	96
5.2.1. Dołączanie idealnych źródeł napięcia	96
5.2.2. Dołączanie idealnych źródeł prądu	100
5.3. Równoważność zaciskowa	101
5.3.1. Przypadek ogólny	101
5.3.2. Przypadek z cewką indukcyjną	101
5.3.3. Równoważność źródeł napięcia i prądu	102
5.4. Twierdzenie o wzajemności	104
5.5. Zasada kompensacji	105
6. Metoda rezystancji zastępczej	107
6.1. Redukcja połączeń rezystancji	107
6.1.1. Połączenie szeregowe rezystancji	108
6.1.2. Połączenie równoległe rezystancji	110
6.1.3. Przekształcenie trójkąt-gwiazda	113
6.2. Rezystancja zastępcza dwójników ze źródłami sterowanymi	116
6.3. Metoda rezystancji zastępczej	119
6.4. Dzielniki rezystancyjne	127
6.4.1. Rezystancyjny dzielnik napięcia	127
6.4.2. Rezystancyjny dzielnik prądu	129
6.5. Zadania do samodzielnego rozwiązania	131
6.5.1. Obliczanie rezystancji zastępczej	131
6.5.2. Zastosowanie metody rezystancji zastępczej	138
7. Zasada superpozycji	143
7.1. Wstęp	143
7.1.1. Warunek jednorodności	144
7.1.2. Warunek addytywności	144
7.2. Obwody z wieloma źródłami idealnymi	145

7.3.	Zastosowanie warunku jednorodności. Metoda wielkości proporcjonalnych	154
7.4.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	157
8.	Twierdzenie o źródle zastępczym	161
8.1.	Twierdzenie Thevenina	162
8.1.1.	Wyznaczanie parametrów źródła zastępczego	163
8.1.2.	Twierdzenie Thevenina w analizie obwodów	164
8.2.	Twierdzenie Nortona	170
8.2.1.	Wyznaczanie parametrów źródła zastępczego	171
8.2.2.	Przykłady zastosowania twierdzenia Nortona	173
8.3.	Dobór twierdzeń do różnych typów zadań	177
8.4.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	186
9.	Metoda prądów oczkowych	194
9.1.	Informacje wstępne	194
9.2.	Obwody z niezależnymi źródłami napięcia	195
9.3.	Obwody ze sterowanymi źródłami napięcia	202
9.4.	Obwody z idealnymi źródłami prądu	204
9.5.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	213
10.	Metoda napięć węzłowych	216
10.1.	Wstęp	216
10.2.	Metoda potencjałów węzłowych w obwodach ze źródłami sterowanymi	229
10.3.	Gałąź napięciowa, węzeł uogólniony	233
10.3.1.	Gałęzie bez elementów	233
10.3.2.	Obwody z jednym źródłem idealnym	235
10.3.3.	Dowolna liczba gałęzi z idealnymi źródłami napięcia	238
10.3.4.	Zmodyfikowana metoda węzłowa	242
10.3.5.	Redukcja liczby równań w układzie	245
10.3.6.	Eliminacja gałęzi napięciowych	247
10.4.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	249
11.	Obwody prądu przemiennego	256
11.1.	Wstęp	256
11.1.1.	Parametry sygnałów	256
11.1.2.	Klasyfikacja sygnałów	257

11.2.	Funkcja sinus	258
11.2.1.	Wielkości opisujące sygnał sinusoidalny	258
11.2.2.	Właściwości sygnału sinusoidalnego	259
11.2.3.	Liczby zespolone. Przekształcenie symboliczne	259
11.3.	Prądowe prawo Kirchhoffa dla prądów sinusoidalnych	262
11.3.1.	Przypadek ogólny. Prądy o różnych pulsacjach	262
11.3.2.	Prądy o jednakowej pulsacji	263
11.3.3.	Prądowe prawo Kirchhoffa – podsumowanie	265
11.4.	Napięciowe prawo Kirchhoffa	268
11.5.	Obwody rezystancyjne	269
11.6.	Pojęcie impedancji zespolonej. Uogólnione prawo Ohma	271
11.6.1.	Rezystancja	272
11.6.2.	Indukcyjność	273
11.6.3.	Pojemność	274
11.6.4.	Uogólnione prawo Ohma	276
11.7.	Zadania z rozwiązaniami	282
11.8.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	288
12.	Moc w obwodach prądu przemiennego	294
12.1.	Moc czynna, bierna i pozorna	294
12.1.1.	Moc czynna	295
12.1.2.	Moc pozorna	297
12.1.3.	Moc bierna	298
12.1.4.	Trójkąt mocy i współczynnik mocy	299
12.2.	Moc pozorna zespolona (moc symboliczna)	299
12.3.	Moc idealnych elementów pasywnych	302
12.3.1.	Rezystancja	302
12.3.2.	Indukcyjność	302
12.3.3.	Pojemność	303
12.3.4.	Impedancja zespolona dwójnika	304
12.4.	Bilans mocy w obwodach prądu sinusoidalnego	305
12.5.	Pomiar mocy	313
12.6.	Kompensacja mocy biernej	318
12.7.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	323
13.	Sprężenia magnetyczne	328
13.1.	Indukcyjność wzajemna	328
13.2.	Obwody magnetycznie sprzężone	330

13.3.	Sprzężenia magnetyczne w obwodach prądu sinusoidalnie zmiennego	333
13.4.	Zastosowanie twierdzenia o równoważności zaciskowej	341
13.5.	Metoda eliminacji sprzężeń	342
13.6.	Zadania z rozwiązaniami	348
13.7.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	352
14.	Rezonans	357
14.1.	Rezonans napięć (rezonans szeregowy)	357
14.2.	Rezonans prądów (rezonans równoległy)	369
14.3.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	373
15.	Obwody z wymuszeniami okresowymi odkształconymi	375
15.1.	Szeregi Fouriera	375
15.2.	Zastosowanie metody symbolicznej	377
15.3.	Wartość skuteczna i moc	378
15.4.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	387
16.	Układy trójfazowe	391
16.1.	Wprowadzenie	391
16.2.	Informacje wstępne	394
16.2.1.	Źródło trójfazowe	395
16.2.2.	Linia łącząca źródło i odbiornik	402
16.2.3.	Odbiornik trójfazowy symetryczny	402
16.3.	Analiza symetrycznych obwodów trójfazowych	404
16.3.1.	Odbiornik skojarzony w gwiazdę	404
16.3.2.	Odbiornik skojarzony w trójkąt	408
16.3.3.	Uwzględnienie impedancji linii zasilającej	413
16.3.4.	Układy zasilające kilka odbiorników	419
16.3.5.	Układy trójfazowe. Właściwości – podsumowanie	423
16.4.	Moc w układach trójfazowych symetrycznych	427
16.5.	Analiza niesymetrycznych układów trójfazowych	438
16.5.1.	Odbiorniki niesymetryczne	438
16.5.2.	Metoda składowych symetrycznych	445
16.6.	Stany awaryjne	450
16.7.	Pomiar mocy w układach trójfazowych	460
16.7.1.	Pomiar mocy czynnej za pomocą jednego watomierza w układzie symetrycznym	463

16.7.2.	Pomiar mocy biernej za pomocą jednego watomierza w układzie symetrycznym	466
16.7.3.	Pomiar mocy czynnej i biernej za pomocą dwóch watomierzy	471
16.7.4.	Pomiar mocy czynnej i biernej. Układy z trzema watomierzami	478
16.8.	Przebiegi odkształcone w układach trójfazowych	479
16.8.1.	Wstęp	479
16.8.2.	Pozostałe przykłady	487
16.9.	Układy trójfazowe – ujęcie uproszczone	494
16.10.	Zadania do samodzielnego rozwiązania	503
16.10.1.	Układy trójfazowe symetryczne	503
16.10.2.	Moc w układach trójfazowych symetrycznych	506
16.10.3.	Układy trójfazowe niesymetryczne	508
16.10.4.	Stany awaryjne	510
16.10.5.	Pomiar mocy w układach trójfazowych	514
16.10.6.	Przebiegi odkształcone	516
16.10.7.	Analiza za pomocą modeli uproszczonych	519
17.	Komputerowa analiza obwodów	522
17.1.	Obwody prądu stałego	522
17.1.1.	Wstęp. Rozwiązywanie układu równań	522
17.1.2.	Zastosowanie metody prądów oczkowych	525
17.1.3.	Metoda napięć węzłowych	528
17.1.4.	Podsumowanie	534
17.2.	Obwody prądu sinusoidalnie zmiennego	535
17.2.1.	Zastosowanie liczb zespolonych	535
17.2.2.	Moc chwilowa i czynna	541
17.2.3.	Rezonans	544
17.3.	Obwody z wymuszeniami okresowymi odkształconymi	547
17.4.	Układy trójfazowe	550
	Odpowiedzi do zadań	554