

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 | 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. | Sprzężenia magnetyczne | 328 |
| 13.1. | Indukcyjność wzajemna | 328 |
| 13.2. | Obwody magnetycznie sprzężone | 330 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 13.3. | Sprężenia 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 |