

Spis treści

Wstęp	9
Oznaczenia	12
1. Elektroenergetyka - początki odległe, ale terminologia znajoma	17
2. System elektroenergetyczny - podstawowe elementy, właściwości, terminologia	20
2.1. Energetyka i elektroenergetyka-historia i teraźniejszość w ujęciu statystycznym ..	20
2.2. Meandry jednostek fizycznych stosowanych w energetyce.	38
2.3. Elektrownie cieplne.	42
2.3.1. Wprowadzenie.	42
2.3.2. Elektrownie parowe konwencjonalne.	42
2.3.3. Elektrownie z turbinami i silnikami gazowymi.	47
2.3.4. Elektrownie jądrowe.	57
2.4. Odnawialne źródła energii.	62
2.4.1. Wprowadzenie.	62
2.4.2. Elektrownie wodne.	64
2.4.3. Elektrownie wiatrowe.	70
2.4.4. Elektrownie fotowoltaiczne.	77
2.5. Wytwarzanie energii elektrycznej w Polsce - trendy i polityka.	83
2.5.1. Struktura wytwarzania energii elektrycznej w Polsce.	83
2.5.2. Transformacja energetyczna-plany i oczekiwania.	86
2.6. Hierarchiczna struktura systemu elektroenergetycznego.	92
2.6.1. Informacje podstawowe, statystyka.	92
2.6.2. Sieć przesyłowa.	94
2.6.3. Sieci dystrybucyjne.	98
3. Budowa i modelowanie elementów systemu elektroenergetycznego	105
3.1. Wiadomości podstawowe.	105
3.2. Jednostki względne.	107
3.3. Składowe symetryczne.	112
3.4. Urządzenia wytwórcze - źródła.	122
3.4.1. Generatory synchroniczne.	123

3.4.2. Generatory asynchroniczne (indukcyjne)	127
3.4.3. Źródła współpracujące z inwerterami	131
3.5. Linie elektroenergetyczne	132
3.5.1. Linie napowietrzne - wiadomości podstawowe	132
3.5.2. Modelowanie linii dla stanów symetrycznych	139
3.5.3. Modelowanie linii napowietrznych dla stanów niesymetrycznych	154
3.5.4. Parametry typowych linii napowietrznych SN, WN i NN spotykanych w elektroenergetyce krajowej	176
3.5.5. Linie kablowe	180
3.5.6. Pomiarowe wyznaczanie impedancji linii	191
3.6. Transformatory i autotransformatory	193
3.6.1. Wiadomości podstawowe	193
3.6.2. Transformatory dwuuzwojeniowe	197
3.6.3. Transformatory trójuzwojeniowe	203
3.6.4. Transformatory czterouzwojeniowe	207
3.6.5. Autotransformatory	211
3.6.6. Modelowanie transformatorów w niesymetrycznych stanach pracy	213
3.6.7. Przesuwники fazowe	222
3.7. Obciążalność linii i transformatorów	225
3.7.1. Obciążalność przewodów linii elektroenergetycznych	225
3.7.2. Obciążalność transformatorów energetycznych	246
3.8. Odbiory	249
3.9. Dławiki i baterie kondensatorów	252
3.10. System zastępczy (ekwiwalentny)	254
3.11. Linie prądu stałego	254
3.12. Magazyny energii	257
3.13. Stacje i rozdzielnie	264
3.13.1. Wiadomości podstawowe	264
3.13.2. Układy połączeń stacji	266
3.13.3. Pola rozdzielcze	273
4. Problemy napięciowe w systemie elektroenergetycznym	277
4.1. Spadki, straty i odchylenia napięcia	278
4.2. Regulacja napięcia	294
4.2.1. Regulacja napięcia za pomocą napięć dodawczych	295
4.2.2. Regulacja napięcia za pomocą zmiany impedancji sieci	301
4.2.3. Regulacja napięcia za pomocą zmiany rozptyłów mocy biernej	302
4.3. Ograniczenia napięciowe energetyki odnawialnej	305
5. Straty mocy i energii w sieciach elektroenergetycznych	307
5.1. Straty mocy	307
5.1.1. Straty mocy w liniach elektroenergetycznych	307
5.1.2. Straty mocy w transformatorach elektroenergetycznych	309
5.1.3. Energetyczny równoważnik mocy biernej	313
5.2. Straty energii	315
5.3. Bilans strat energii spółki dystrybucyjnej	319
5.4. Straty wynikające z asymetrii obciążenia w sieciach niskich napięć	321

5.5. Kompensacja mocy biernej - aspekty techniczne i ekonomiczne.	322
5.5.1. Zależności podstawowe.	322
5.5.2. Dobór układu i pojemności kondensatorów.	326
5.5.3. Sposób naliczania opłat karnych za ponadumowny pobór mocy biernej	327
6. Rozpływy mocy w systemie elektroenergetycznym.	329
6.1. Wiadomości podstawowe.	329
6.2. Zależności podstawowe.	330
6.3. Metody służące do wyznaczania rozplływów mocy.	337
6.3.1. Metoda Newtona-Raphsona.	338
6.3.2. Metoda stałoprądowa.	358
7. Optymalizacja stanów pracy SEE.	366
7.1. Wiadomości podstawowe.	366
7.2. Ogólna postać zadania optymalizacji.	372
8. Zakłócenia w systemach elektroenergetycznych.	379
8.1. Wprowadzenie.	379
8.2. Podstawowe informacje o zakłóceniach zwarciovych.	379
8.3. Teoretyczne podstawy wyznaczenia prądów zwarć symetrycznych i niesymetrycznych	395
8.3.1. Zwarcie trójfazowe.	395
8.3.2. Zwarcia niesymetryczne.	399
8.3.3. Maksymalne wartości prądów zwarcia.	405
8.3.4. Warunek skuteczności uziemienia punktu neutralnego sieci.	407
8.4. Obliczanie wielkości zwarciovych wg PN-EN- 60909-0.	409
8.5. Problematyka zwarć z ziemią w sieciach średniego napięcia.	418
8.6. Przerwy w fazach.	425
8.7. Zakłócenia wielokrotne.	428
8.7.1. Podwójne zwarcie jednofazowe.	428
8.7.2. Zwarcie wraz z przerwą w jednej fazie.	431
8.8. Ograniczanie prądów zwarcia.	432
8.9. Metody numeryczne obliczania prądów zwarcia.	435
8.9.1. Wprowadzenie.	435
8.9.2. Macierzowe równania sieci.	436
8.9.3. Bifaktoryzacja - podstawowa metoda wyznaczania elementów macierzy impedancyjnej.	444
9. Problematyka przyłączeniowa.	447
9.1. Identyfikacja problemów związanych z przyłączaniem do sieci instalacji OZE	447
9.2. Ograniczenia sieciowe.	451
9.2.1. Sieć przesyłowa i 110 kV.	451
9.2.2. Sieć średniego napięcia.	458
9.2.3. Sieć niskiego napięcia ¹ prosumenci.	462
9.3. Problemy bilansowania SEE z dużym udziałem generacji odnawialnej.	467
9.3.1. Redysponowanie nierynkowe - nowa rzeczywistość w skali masowej.	467
9.3.2. Ocena ryzyka ograniczenia generacji z OZE.	468
9.4. NC RfG - podstawowe wymagania dla otrzymania FON.	480
9.5. Przyszły system elektroenergetyczny - kluczowa rola inwerterów GFM.	482

10. Stabilność systemu elektroenergetycznego	487
10.1. Wiadomości podstawowe	487
10.2. Stabilność kątowna	488
10.3. Stabilność napięciowa	496
10.4. Stabilność częstotliwościowa	503
10.5. Blackout, obrona przed awarią katastrofalną, restytucja poawaryjna	507
10.5.1. Wiadomości podstawowe	507
10.5.2. Obrona przed awarią katastrofalną	509
10.5.3. Odbudowa zdolności wytwórczych źródeł po wystąpieniu awarii katastrofalnej	511
11. Podstawy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej	513
11.1. Wiadomości podstawowe	513
11.2. Zabezpieczenia linii	514
11.3. Zabezpieczenia transformatorów	522
11.4. Zabezpieczenia generatorów synchronicznych	528
11.5. Zabezpieczenia silników elektrycznych	532
11.6. Zabezpieczenia źródeł generacji rozproszonej	535
12. Jakość energii elektrycznej	539
12.1. Problemy ogólne	539
12.2. Szczegółowe wymagania w zakresie jakości energii	541
12.3. Przykłady oceny jakości energii	548
13. Przykłady oprogramowania komputerowego stosowanego w elektroenergetyce	555
Bibliografia	559