

Skróty	9
1. WIADOMOŚCI OGÓLNE	13
1.1. Regulacja i sterowanie	13
1.2. Struktura systemu elektroenergetycznego	17
1.3. Równania sieci elektroenergetycznej	19
1.4. Klasyfikacja stanów nieustalonych	25
1.5. Regulacja napięcia	27
1.6. Regulacja mocy czynnej i częstotliwości	30
1.7. Pytania kontrolne i zadania	33
2. GENERATORY SYNCHRONICZNE I ICH REGULACJA	35
2.1. Wiadomości ogólne	35
2.1.1. Generator synchroniczny jako obiekt regulacji	35
2.1.2. Zespoły generator–transformator	38
2.2. Charakterystyki generatora synchronicznego w stanie ustalonym	42
2.2.1. Schematy zastępcze i wykresy fazorowe	42
2.2.2. Moc czynna i bierna bloku generator–transformator	54
2.2.3. Dopuszczalny obszar pracy zespołu wytwórczego	56
2.2.4. Wpływ regulacji przekładni transformatora	62
2.2.5. Charakterystyka $U(Q)$ i jej kształtowanie	66
2.3. Źródła wzbudzenia generatorów synchronicznych	74
2.3.1. Rodzaje wzbudnic	74
2.3.2. Odwzbudzenie generatora	84
2.4. Regulatory generatorów synchronicznych	90
2.4.1. Schemat funkcjonalny regulacji	91
2.4.2. Jakość regulacji i aktualne wymagania	94
2.4.3. Cyfrowe regulatory generatorów synchronicznych	98
2.5. Modele dynamiczne	104
2.5.1. Równanie ruchu wirnika	105
2.5.2. Przykłady modeli dynamicznych generatora synchronicznego	107
2.5.3. Modele układu wzbudzenia i regulacji	112
2.6. Pytania kontrolne	119

3.	ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII	121
3.1.	Wstęp	121
3.2.	Magazyny energii elektrycznej	122
3.2.1.	Magazyny elektryczne	124
3.2.2.	Magazyny ciepłe	127
3.2.3.	Magazyny mechaniczne	128
3.2.4.	Magazyny chemiczne	133
3.2.5.	Magazyny elektrochemiczne	137
3.3.	Elektrownie wiatrowe	145
3.3.1.	Zmienność wiatru a obciążenie systemu	145
3.3.2.	Turbiny wiatrowe	146
3.3.3.	Moc pozyskiwana z wiatru	150
3.3.4.	Przykładowe parametry	153
3.4.	Prądnice elektrowni wiatrowych dużych mocy	154
3.4.1.	Prądnice asynchroniczne dwustronnie zasilane	155
3.4.2.	Prądnice synchroniczne	162
3.4.3.	Obszary dopuszczalnych stanów pracy	167
3.5.	Farmy wiatrowe	168
3.5.1.	Sposoby przyłączania FW do sieci	169
3.5.2.	Wymagania operatorów sieci	172
3.5.3.	Sterowanie centralne FW i sterowanie nadrzędne	177
3.6.	Elektrownie fotowoltaiczne	182
3.6.1.	Ogniwa fotowoltaiczne	183
3.6.2.	Moduły i panele PV	187
3.6.3.	Rozwój technologii wytwarzania modułów i paneli	189
3.6.4.	Charakterystyki i dane znamionowe	192
3.6.5.	Metody ustalania punktu mocy maksymalnej	194
3.6.6.	Falowniki i regulatory fotowoltaiczne	197
3.6.7.	Rodzaje instalacji ze względu na współpracę z SEE	202
3.6.8.	Fotowoltaika w Polsce	212
3.7.	Modele matematyczne	212
3.7.1.	Elektrownie wiatrowe	213
3.7.2.	Elektrownie solarne	221
3.8.	Pytania kontrolne i zadania	221
4.	REGULACJA TRANSFORMATORÓW	223
4.1.	Transformator jako obiekt regulacji	223
4.2.	Uzwojenia regulacyjne	224
4.3.	Przełączniki zaczepów	228
4.4.	Zadania regulatorów transformatorów	232
4.4.1.	Regulacja transformatorów WN/SN	233
4.4.2.	Regulacja transformatorów WN/WN	242
4.4.3.	Regulacja transformatorów blokowych	244
4.5.	Przykład regulatora cyfrowego	246
4.6.	Modele matematyczne	254
4.6.1.	Transformatory dwuuzwojeniowe	254
4.6.2.	Eliminowanie idealnej przekładni – schematy rezonansowe	265
4.6.3.	Transformatory i autotransformatory trójuzwojeniowe	270
4.6.4.	Schemat blokowy modelu regulacji przekładni	292
4.7.	Pytania i zadania	293

5.	KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ I REGULACJA NAPIĘCIA	295
5.1.	Kondensatory i baterie kondensatorów	296
5.2.	Kompensacja mocy biernej a regulacja napięcia	304
5.3.	Regulatory baterii kondensatorów	305
5.4.	Bocznikowe urządzenia FACTS	308
5.4.1.	Kompensatory SVC	310
5.4.2.	Kompensator STATCOM	313
5.5.	Kompensacja bocznikowa w sieciach WN	315
5.5.1.	Linie przesyłowe jako źródła i odbiory mocy biernej	315
5.5.2.	Urządzenia do kompensacji w sieciach WN	321
5.5.3.	Algorytmy regulacji	324
5.6.	Regulacja grupowa	324
5.6.1.	Automatyczna regulacja stacji transformatorowych	326
5.6.2.	Automatyczna regulacja stacji elektrownianych	328
5.7.	Modele matematyczne	333
5.8.	Pytania kontrolne i zadania	334
6.	REGULACJA PRZEPLÝWÓW W SIECIACH PRZESYŁOWYCH	336
6.1.	Ogólnie o regulacji przepływów	336
6.2.	Regulacja za pomocą przesuwników fazowych	337
6.2.1.	Napięcia dodawcze	337
6.2.2.	Przesuwniki fazowe asymetryczne i symetryczne	339
6.2.3.	Ilustracja wpływu regulacji kąta przesunięcia fazowego	347
6.3.	Zmiana reaktancji linii przesyłowych	348
6.3.1.	Kompensacja reaktancji baterią kondensatorów szeregowych	349
6.3.2.	Zwiększenie reaktancji dławikami szeregowymi	350
6.3.3.	Kompensacja reaktancji linii źródłem napięcia	352
6.4.	Szeregowe urządzenie FACTS	353
6.4.1.	Urządzenie TCPAR	354
6.4.2.	Regulowany kompensator szeregowy SSC	355
6.4.3.	Regulowany kompensator szeregowy CSC	356
6.4.4.	Regulowany kompensator szeregowy SSSC	356
6.4.5.	Uniwersalne urządzenie UPFC	357
6.5.	Urządzenia PLG	359
6.6.	Modele matematyczne	361
6.7.	Pytania kontrolne i zadania	363
7.	REGULACJA CZĘSTOTLIWOŚCI I MOCY WYMIANY	365
7.1.	Regulacja pierwotna	365
7.1.1.	Charakterystyki odbiorów	365
7.1.2.	Charakterystyki zespołu wytwórczego	367
7.1.3.	Charakterystyka systemu elektroenergetycznego	375
7.1.4.	Punkt pracy systemu elektroenergetycznego	378
7.1.5.	Zmiana punktu pracy w wyniku zmiany obciążenia	380
7.2.	Regulacja wtórna	383
7.2.1.	Regulacja częstotliwości	383
7.2.2.	Regulacja mocy wymiany i zasada nieinterwencji	386

7.3. Regulacja trójna	391
7.4. Organizacja regulacji i stawiane jej wymagania	392
7.5. Zmiany częstotliwości po zaburzeniu bilansu mocy	400
7.5.1. Opis stanów nieustalonych	400
7.5.2. Wpływ energii kinetycznej	404
7.5.3. Wpływ OZE i wirtualna inercja	406
7.5.4. Rola magazynów energii w poprawie elastyczności SEE	408
7.6. Działania obronne	414
7.7. Modele matematyczne	416
7.7.1. Turbina parowa z przegrzewem międzystopniowym	416
7.7.2. Turbina wodna	420
7.7.3. Turbiny gazowe	424
7.7.4. Uproszczony model regulacji częstotliwości i mocy wymiany	426
7.8. Pytania kontrolne i zadania	431
Literatura	432