

Spis treści

1. Rozwój rozproszonych źródeł energii	15
Łukasz TOPOLSKI	
1.1. Definicja rozproszonych źródeł energii	16
1.2. Rozproszone źródła energii w świecie	17
1.3. Rozproszone źródła energii w Europie.	23
1.4. Rozproszone źródła energii w Polsce	27
Literatura	37
2. Sieci dystrybucyjne a rozwój RZE.	42
Zbigniew HANZELKA	
2.1. Wprowadzenie	42
2.2. Poziom nasycenia sieci elektroenergetycznych RZE	43
2.3. Wpływ RZE na rynek energii	43
2.4. Wpływ RZE na planowanie i zarządzanie majątkiem sieciowym	44
2.5. Wzrost liczby danych.	45
2.6. Wpływ RZE na zasady projektowania sieci.	46
2.6.1. Przeciżenia termiczne elementów sieci.	47
2.6.2. Regulacja napięcia	48
2.6.3. Wzrost mocy zwarciowej.	49
2.6.4. Układy sterowania i automatyka zabezpieczeniowa.	51
2.6.5. Jakość dostawy energii elektrycznej.	51
2.6.6. Straty mocy i energii.	52
2.6.7. Praca wyspowa	52
2.7. Praktyki stosowane przez OSD	54
2.7.1. Regulacje prawne i wymagania stawiane jednostkom wytwórczym przyłączonym do sieci zasilającej.	54

2.7.2.	Eksploatacja i certyfikacja instalacji PV	55
2.7.3.	Ograniczenia dotyczące mocy RZE	55
2.7.4.	Wzrost mocy przyłączeniowej sieci	57
	Literatura	61
3.	Rozwój fotowoltaicznych źródeł energii	64
	Konstanty MARSZAŁEK	
3.1.	Wprowadzenie	64
3.2.	Budowa ogniwa fotowoltaicznego	74
3.3.	Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa	76
3.4.	Układy fotowoltaiczne na świecie	81
3.5.	Układy fotowoltaiczne w Europie	85
3.6.	Układy fotowoltaiczne w Polsce	89
	Literatura	91
4.	Systemy monitorowania jakości dostawy energii elektrycznej	93
	Andrzej FIRLIT	
4.1.	Wprowadzenie	93
4.2.	Monitorowanie parametrów pracy sieci elektroenergetycznych ze szczególnym uwzględnieniem wskaźników jakości dostawy energii elektrycznej.	98
4.3.	Struktura rozproszonego systemu monitorowania jakości dostawy energii elektrycznej.	107
4.4.	Analizator jakości energii elektrycznej	114
4.5.	Analiza, interpretacja i raportowanie wyników pomiarów jakości dostawy energii elektrycznej.	125
	4.5.1. Monitorowanie zdarzeń	128
	4.5.2. Wybrane aspekty analizy danych pomiarowych.	130
4.6.	Systemy pomiarowe ciągłego monitorowania wskaźników jakości dostawy energii elektrycznej.	143
4.7.	Integracja danych pomiarowych	145
	Literatura	151
5.	Układy energoelektroniczne w systemach fotowoltaicznych	155
	Stanisław PIRÓG	
5.1.	Panele fotowoltaiczne.	155
5.2.	Wyznaczanie punktu mocy maksymalnej	159
5.3.	Sprawność a obciążenie falownika.	162

5.4.	Ogólne informacje o falownikach dla fotowoltaiki	163
5.5.	Przekształtniki DC/DC	167
5.5.1.	Przekształtnik podwyższający napięcie stałe (<i>boost converter</i>).	167
5.5.2.	Przekształtnik do obniżania i podwyższania napięcia (<i>buck-boost converter</i>)	169
5.5.3.	Impulsowy przekształtnik półmostkowy	170
5.5.4.	Przekształtnik typu flyback	172
5.5.5.	Mostkowy przekształtnik z przesunięciem fazowym (Full Bridge Phase-Shift DC/DC Converter)	175
5.6.	Bilans mocy chwilowej obwodu DC i AC falownika	175
5.7.	Prąd upływu w instalacji fotowoltaicznej	178
5.8.	Beztransformatorowe falowniki jednofazowe	179
5.8.1.	Falownik mostkowy H	179
5.8.2.	Falownik H5	181
5.8.3.	Falownik HERIC	181
5.8.4.	Jednofazowy falownik trójpoziomowy NPC	182
5.8.5.	Przekształtnik Karschny	184
5.8.6.	Jednofazowe falowniki kaskadowe	185
5.9.	Falowniki trójfazowe	187
5.9.1.	Trójfazowy falownik dwupoziomowy	187
5.9.2.	Trójfazowy falownik trójpoziomowy NPC	188
5.10.	Układ regulacji trójfazowego falownika sieciowego	189
5.10.1.	Regulacja składowych prądów falownika trójfazowego.	189
5.10.2.	Regulacja składowych prąd falownika jednofazowego	196
5.10.3.	Regulacja napięcia w punkcie przyłączenia instalacji fotowoltaicznej	200
	Literatura	203
	Literatura uzupełniająca	205
6.	Wpływ instalacji fotowoltaicznych na jakość dostawy energii elektrycznej	207
	Andrzej FIRLIT, Zbigniew HANZELKA, Krzysztof PIĄTEK, Łukasz TOPOLSKI	
6.1.	Wartość skuteczna napięcia	207
6.1.1.	Zmiana napięcia	209
6.1.2.	Przykładowe wyniki pomiarów	217
6.2.	Asymetria napięcia	227
6.2.1.	Przykładowe wyniki pomiarów	231
6.2.2.	Metody rozliczania prosumentów w warunkach niesymetrii	235
6.3.	Szybkie zmiany napięcia	237
6.4.	Wahania napięcia	244
6.5.	Odkształcenie napięcia	255

6.5.1.	Wpływ odkształcenia napięcia zasilającego	258
6.5.2.	Wpływ generowanej mocy	259
6.5.3.	Wpływ impedancji źródła zasilania	260
6.5.4.	Wpływ wartości napięcia	261
6.5.5.	Wzmocnienia harmonicznych	261
6.5.6.	Przykładowe wyniki pomiarów	265
6.5.7.	Sumowanie harmonicznych wielu rozproszonych instalacji PV	269
6.5.8.	Wartości graniczne emisji harmonicznych	270
6.6.	Supraharmoniczne	273
6.6.1.	Przykładowe wyniki pomiarów	275
6.6.2.	Poziomy graniczne supraharmonicznych	283
6.6.3.	Emisja połowa	286
6.7.	Sposoby ograniczenia wzrostu napięcia	286
6.7.1.	Zwiększenie lokalnej autokonsumpcji energii	288
6.7.2.	Transformatory z przełącznikami zacze- pów pod obciążeniem	289
6.7.3.	Transformatory „energoelektroniczne”	295
6.7.4.	Transformatory hybrydowe	295
6.7.5.	Szeregowe stabilizatory napięcia.	297
6.7.6.	Równoległe stabilizatory, kompensatory mocy biernej	306
6.7.7.	Zasilanie falowników PV przez trans- formatory obniżające napięcie.	311
6.7.8.	Konfigurowanie intencjonalnej pracy wyspowej	314
6.7.9.	Falowniki PV typu smart.	316
6.7.10.	Sposoby redukcji asymetrii napięć i prądów.	331
6.7.11.	Magazyny energii elektrycznej	334
	Literatura	339
7.	Warunki techniczne przyłączenia instalacji PV do sieci elektroenergetycznej.	353
	Paweł BALAWENDER, Krzysztof CHMIELOWIEC, Andrzej FIRLIT, Zbigniew HANZELKA, Łukasz TOPOLSKI, Tomasz SIOSTRZONEK	
7.1.	Koncepcja zdolności przyłączeniowej sieci	353
7.1.1.	Zdolność przyłączeniowa sieci ze względu na odkształcenie napięcia	354
7.1.2.	Metody szacowania ZP.	357
7.2.	Praktyki stosowane przez OSD	360
7.3.	Podział instalacji fotowoltaicznych	362
7.4.	Procedura przyłączania mikroinstalacji PV do sieci zasilającej.	365
7.4.1.	Załączanie i wyłączanie instalacji	368
7.4.2.	Liczba faz układu.	368
7.4.3.	Układy zabezpieczeń.	368
7.5.	Instalacje fotowoltaiczne typu A	373

7.6.	Tryby pracy (strategie sterowania) falowników mikroinstalacji fotowoltaicznych wpływające na poprawę ich współpracy z siecią zasilającą	376
7.6.1.	Wymagania w zakresie regulacji mocy biernej w odpowiedzi na zmiany napięcia	376
7.6.2.	Wymagania w zakresie regulacji mocy czynnej w odpowiedzi na zmiany napięcia	385
7.6.3.	Wymagania w zakresie reakcji falownika na zmiany częstotliwości napięcia	388
7.6.4.	Zalecenia w zakresie trybów UVRT oraz OVRT	393
7.6.5.	Podsumowanie badań wybranych falowników PV	406
7.7.	Sprawność falownika.	408
7.7.1.	Badanie sprawności konwersji oraz statycznej sprawności MPPT.	410
7.7.2.	Dynamiczna sprawność MPPT	413
7.8.	Przebiegi w instalacji fotowoltaicznych	415
7.8.1.	Przebiegi wewnętrzne i sposoby zabezpieczeń	419
7.8.2.	Przebiegi komutacyjne	419
7.8.3.	Przebiegi zewnętrzne i sposoby zabezpieczeń	420
7.8.4.	Koordinacja zabezpieczeń	424
7.9.	Regulacje prawne i wymagania stawiane modułom klasy B	424
7.10.	Wzrost zdolności przyłączeniowej sieci	427
	Literatura podstawowa	429
8.	Prognozowanie generacji energii elektrowni fotowoltaicznych	435
	Mateusz DUTKA, Zbigniew HANZELKA	
8.1.	Wprowadzenie	435
8.2.	Opis obiektu	436
8.3.	Źródła danych	436
8.4.	Wpływ czynników zewnętrznych na pracę elektrowni fotowoltaicznej.	439
8.5.	Strumień danych meteorologicznych na potrzeby prognozowania	443
8.6.	Poszukiwanie wzorców.	447
8.6.1.	Algorytm grupowania k-średnich	448
8.6.2.	Algorytm hierarchiczny grupowania	450
8.7.	Prognozowanie przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji	452
8.7.1.	Mierniki jakości modeli prognostycznych.	452
8.7.2.	Sieci MultiLayer Perceptron (MLP)	453
8.8.	Sieci radialne	456
8.9.	Sieci rekurencyjne	458
8.10.	Maszyny wektorów nośnych	459
8.11.	Porównanie	460
	Literatura	461

ZAŁĄCZNIK A. Elektrownie fotowoltaiczne w ankietach	480
A.1. Opinie koordynatorów klastrów energii, operatorów sieciowych i instytucji wspierających rozwój energetyki rozproszonej w Polsce	463
A.1.1. Informacje techniczne o źródłach energii przyłączonych do sieci dystrybucyjnej	465
A.1.2. Procedura przyłączania rozproszonych źródeł energii do sieci dystrybucyjnej	469
A.1.3. Współpraca RZE z siecią zasilającą	472
A.2. Ankieta CIGRE	475
A.3. Bariery rozwoju instalacji PV w budynkach niekomunalnych w Szwecji .	476
Literatura	478
ZAŁĄCZNIK B. Poradnik w zakresie inwestycji w instalacje fotowoltaiczne . .	480
B.1. Wstęp	480
B.2. Podział instalacji fotowoltaicznych	480
B.3. Powierzchnia wymagana pod budowę instalacji fotowoltaicznej	481
B.4. Uwarunkowania formalnoprawne	482
B.5. Lokalizacja	484
B.6. Ochrona środowiska	490
B.7. Warunki przyłączenia do sieci dystrybucyjnej/przesyłowej	493
B.7.1. Procedura przyłączenia mikroinstalacji o mocy zainstalowanej mniejszej od mocy przyłączeniowej	494
B.7.2. Procedura przyłączenia mikroinstalacji o mocy zainstalowanej większej od mocy przyłączeniowej	494
B.7.3. Procedura przyłączenia małej instalacji OZE oraz instalacji o mocy zainstalowanej większej niż 500 kW	495
B.8. Proces budowlany	496
Literatura	498
ZAŁĄCZNIK C. Przykładowy program funkcjonalno-użytkowy instalacji fotowoltaicznej o mocy 500 kWp	500
C.1. Część opisowa	501
C.1.1. Opis ogólny przedmiotu zamówienia	501
C.1.2. Opis wymagań	502
C.2. Część informacyjna programu funkcjonalno-użytkowego	514
C.2.1. Dokumenty potwierdzające zgodność zamierzenia budowlanego z wymaganiami wynikającymi z odrębnych przepisów	514
C.2.2. Oświadczenie zamawiającego stwierdzające jego prawo do dysponowania nieruchomością na cele budowlane	514
C.2.3. Wykaz załączników	514
Literatura	514

ZAŁĄCZNIK D. Klaster Energii „Wirtualna Zielona Elektrownia Ochotnica” . . .	517
Literatura	527
ZAŁĄCZNIK E. Badania falowników fotowoltaicznych	528
Literatura	531
ZAŁĄCZNIK F. Kryteria przyłączenia RZE do sieci zasilającej	533
Literatura	557