

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 liczb danych	45
2.6. Wpływ RZE na zasady projektowania sieci	46
2.6.1. Przeciężenia termiczne elementów sieci	47
2.6.2. Regulacja napięcia	48
2.6.3. Wzrost mocy zwarciowej	49
2.6.4. Układ sterowania automatyką zabezpieczeniową	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 wytwarzającym przyłączonym do sieci zasilającej	54

Spis treści

2.7.2.	Eksplatacja 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 PIROG	
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 (Z-source converter).	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 (<i>Full Bridge Phase-Shift DC/DC Converter</i>).	175
5.6.	Bilans mocy chwilowej obwodu DC i AC falownika	175
5.7.	Prąd upływu w instalacji fotowoltaicznej.	178
5.8.	Beztransformatorem falownik jednofazowy.	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.	Jednofazowy falownik kaskadowy.	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 prądów 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.	Odształcenie napięcia	255

6.5.1.	Wpływ kształcenia 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 polowa	286
6.7.	Sposoby ograniczenia wzrostu napięcia	286
6.7.1.	Zwiększenie lokalnej autokonsumpcji energii	288
6.7.2.	Transformatory z przełącznikami zaczeów 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 transformatory 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 SIÓSTRZONEK	
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. Przepięcia w instalacji fotowoltaicznych.	415
7.8.1. Przepięcia wewnętrzne i sposoby zabezpieczeń	419
7.8.2. Przepięcia komutacyjne.	419
7.8.3. Przepięcia zewnętrzne i sposoby zabezpieczeń	420
7.8.4. Koordynacja 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
ZAŁĄCZNIKE. Badania falowników fotowoltaicznych	528
Literatura.	531
ZAŁĄCZNIK F. Kryteria przyłączenia RZE do sieci zasilającej	533
Literatura.	557