

Przedmowa	13
1. WYMAGANIA STAWIANE APARATOM ELEKTRYCZNYM I ROZDZIEL- NICOM I ICH FUNKCJE	15
1.1. Aparaty elektryczne i rozdzielnice w układach wytwarzania, przesyłu i roz- działu energii elektrycznej	15
1.2. Funkcje i parametry znamionowe urządzeń elektroenergetycznych	21
1.3. Normalizacja w dziedzinie urządzeń elektroenergetycznych	25
1.4. Zużycie i starzenie urządzeń elektroenergetycznych	27
1.5. Urządzenia elektroenergetyczne w kontekście zarządzania zasobami	28
Literatura	31
2. RYS HISTORYCZNY ROZWOJU URZĄDZEŃ ROZDZIELCZYCH NA TLE DZIEJÓW ELEKTROENERGETYKI NA ŚWIECIE I W POLSCE	33
2.1. Ku praktycznemu wykorzystaniu wiedzy o elektryczności	33
2.1.1. Pionierski okres elektroenergetyki – od lat 80. XIX wieku do roku 1914	34
2.1.2. Czasy elektryfikacji – okres od 1915 do 1950 roku	48
2.1.3. W służbie światowej elektroenergetyki – druga połowa XX i począ- tek XXI wieku	54
Kalendarium powstawania i ewolucji RIRM produkujących aparaturę rozdzielczą	60
2.2. Rozwój elektroenergetyki i przemysłu aparatury rozdzielczej na ziemiach Polski	69
2.2.1. Pod zaborami – od lat 80. XIX wieku do roku 1914	69
2.2.2. W niepodległej Polsce – lata 1918–1939	74
2.2.3. W warunkach gospodarki socjalistycznej – lata 1944–1989	92
2.2.4. W warunkach gospodarki wolnorynkowej – lata 1990–2012	115
Literatura	121
3. BUDOWA I WŁAŚCIWOŚCI APARATÓW ELEKTRYCZNYCH I ROZ- DZIELNIC WN I SN	123
3.1. Napowietrzne aparaty elektryczne wysokich napięć	123
3.1.1. Wyłączniki WN	125
3.1.1.1. Zastosowanie	125
3.1.1.2. Budowa współczesnych wysokonapięciowych wyłączni- ków z SF ₆	126

3.1.1.3. Komory gaszeniowe współczesnych wyłączników z SF ₆ – budowa, zasada działania	128
3.1.1.4. Wyłączniki próżniowe WN	132
3.1.1.5. Wyłączniki CO ₂ WN	134
3.1.1.6. Napędy wyłączników WN	135
3.1.1.7. Wyłączniki o cechach odłącznikowych (izolacyjne)	145
3.1.1.8. Budowa wyłączników WN wycofanych z produkcji	147
3.1.2. Odłączniki i uziemniki WN	153
3.1.2.1. Zastosowanie	154
3.1.2.2. Budowa odłączników WN	155
3.1.2.3. Napędy odłączników i uziemników WN	160
3.1.3. Rozłączniki WN	162
3.1.4. Przekładniki WN	163
3.1.4.1. Przekładniki prądowe WN	164
3.1.4.2. Przekładniki napięciowe indukcyjne	168
3.1.4.3. Przekładniki napięciowe pojemnościowe	170
3.1.4.4. Przekładniki kombinowane (prądowo-napięciowe)	172
3.1.4.5. Izolacja i obudowy przekładników WN	173
3.1.4.6. Elektroniczne przekładniki niekonwencjonalne	176
3.1.5. Ograniczniki przepięć WN	184
3.2. Budowa kompaktowych rozdzielni napowietrznych WN	189
3.2.1. Budowa modułów kompaktowych z klasycznymi aparatami napo- wietrznymi WN	189
3.2.2. Budowa zintegrowanych, hybrydowych napowietrznych modułów kompaktowych z izolacji gazową (SF ₆)	194
3.2.3. Budowa przewoźnych stacji WN z klasycznymi aparatami napo- wietrznymi	196
3.3. Wysokonapięciowe rozdzielnice z izolacją SF ₆ (GIS)	197
3.3.1. Budowa rozdzielnic z izolacją gazową SF ₆ (GIS)	198
3.3.2. Osłony i układy izolacyjne rozdzielnic GIS WN	202
3.3.3. Moduły i aparaty rozdzielnic GIS WN	204
3.3.4. Zagadnienia monitoringu wyładowań niezupełnych w rozdzielni- cach GIS WN	210
3.4. Aparaty elektryczne średnich napięć	213
3.4.1. Wyłączniki SN	214
3.4.1.1. Wyłączniki próżniowe SN	214
3.4.1.2. Wyłączniki z SF ₆ SN	221
3.4.1.3. Nieprodukowane wyłączniki SN	223
3.4.2. Aparaty o cechach rozłącznika	223
3.4.2.1. Rozłączniki powietrzne SN	224
3.4.2.2. Trójpołożeniowe rozłączniko-uziemniki z SF ₆ SN	226
3.4.2.3. Styczniki próżniowe SN	228
3.4.3. Bezpieczniki SN	229
3.4.4. Odłączniki i uziemniki SN	230
3.4.5. Przekładniki wewnętrzne SN	232
3.4.5.1. Przekładniki prądowe SN	234
3.4.5.2. Przekładniki napięciowe SN	235
3.4.5.3. Przekładniki elektroniczne SN	236
3.4.6. Ograniczniki przepięć SN	237

3.5. Rozdzielnice SN w osłonach metalowych	238
3.5.1. Klasyfikacja rozdzielnic SN w osłonie metalowej na podstawie dostępności jej przedziałów, ciągłości działania i rodzaju przegród	239
3.5.2. Łukoodporność rozdzielnic SN w osłonach metalowych	241
3.5.3. Rozdzielnice SN w izolacji powietrznej	245
3.5.4. Rozdzielnice SN z izolacją SF ₆	259
3.5.5. Rozdzielnice SN z izolacją suchego powietrza – DAIS	264
3.5.6. Rozdzielnice SN w izolacji stałej – SIS	267
3.5.7. Rozdzielnice SN w izolacji olejowej	268
3.6. Napowietrzne urządzenia rozdzielcze średnich napięć	269
3.6.1. Napowietrzne aparaty stacyjne SN	269
3.6.2. Łączniki napowietrzne do systemu automatyzacji sieci SN	271
3.6.3. Stacje słupowe SN/nn	274
3.6.4. Stacje kontenerowe SN/SN i SN/nn	275
3.7. Wielkopiętrowe urządzenia SN	280
3.7.1. Wyłączniki generatorowe	281
3.7.2. Przewody szynowe wielkopiętrowe	285
Literatura	288
 4. PODSTAWY PROJEKTOWANIA I DOBORU APARATÓW ELEKTRYCZ- NYCH I ROZDZIELNIC (AER)	291
4.1. Obciążenia i narażenia środowiskowe i klimatyczne AER	291
4.1.1. Obciążenia i narażenia klimatyczne	291
4.1.2. Problematyka kompatybilności elektromagnetycznej (EMC)	294
4.2. Obciążenia i narażenia napięciowe izolacji urządzeń elektroenergetycznych	301
4.2.1. Wprowadzenie	301
4.2.2. Koordynacja izolacji urządzeń elektroenergetycznych	304
4.2.3. Uziemienia w urządzeniach elektroenergetycznych	313
4.3. Obciążenia i narażenia prądowe AER	315
4.3.1. Temperatura otoczenia i dopuszczalne przyrosty temperatury	315
4.3.2. Prądy zwarcia i ich ograniczanie	318
4.3.2.1. Wprowadzenie	318
4.3.2.2. Przebiegi czasowe prądów zwarcia	320
4.3.2.3. Ograniczanie prądów zwarcia	326
4.3.3. Obciążalność prądowa ciągła i zwarcia torów prądowych	330
4.3.4. Oddziaływania elektrodynamiczne	350
4.3.4.1. Wprowadzenie	350
4.3.4.2. Oddziaływania elektrodynamiczne na prostoliniowe tory prądowe	354
4.3.4.3. Wpływ kształtu przekroju przewodów na wartości oddziały- wań elektrodynamicznych	359
4.3.4.4. Oddziaływania elektrodynamiczne między przewodem a elementem ferromagnetycznym	361
4.3.4.5. Oddziaływanie elektrodynamiczne na łuk elektryczny za- kłócenia	362
4.3.4.6. Oddziaływanie elektrodynamiczne w obwodach prądu prze- miennego	364

4.4. Łuk elektryczny łączeniowy i awaryjny	374
4.4.1. Informacje podstawowe	374
4.4.2. Łuk elektryczny w środowisku gazowym	379
4.4.3. Łuk elektryczny w próżni	384
4.4.4. Łuk elektryczny zakłócenia i ograniczanie jego następstw	391
4.4.4.1. Parametry łuku zakłócenia	391
4.4.4.2. Erozja elektrod i perforacja osłon	395
4.4.4.3. Przyrosty ciśnienia	396
4.4.4.4. Produkty degradacji materiałów pod wpływem łuku i ich właściwości	398
4.4.4.5. Łukoodporność rozdzielnic osłoniętych	400
4.4.5. Gaszenie łuku elektrycznego prądu przemiennego	401
4.4.5.1. Istota procesu wyłączania łukowego	401
4.4.5.2. Podstawy fizyczne budowy układów gaszeniowych wyłącz- ników wysokonapięciowych	406
4.5. Komutacja prądów w układach elektroenergetycznych	410
4.5.1. Komutacja łukowa – elektromechaniczna w porównaniu z energo- elektroniczną	410
4.5.1.1. Wprowadzenie	410
4.5.1.2. Półprzewodnikowe elementy energoelektroniczne	414
4.5.2. Zestyki, ich rezystancja i nagrzewanie	423
4.5.2.1. Klasyfikacja i przykłady konstrukcji zestyków	423
4.5.2.2. Rezystancja zestykowa i jej wyznaczanie	426
4.5.2.3. Nagrzanie zestyków	430
4.5.3. Elementy mechaniki łączników mechanizmowych zestykowych	434
4.5.3.1. Wprowadzenie	434
4.5.3.2. Przegląd charakterystyk dynamicznych ruchu styków łącz- ników	439
4.5.3.3. Wyznaczanie przebiegu ruchu styków łączników	445
4.5.4. Napędy łączników elektroenergetycznych i ich siłowniki	452
4.5.4.1. Przegląd rodzajów napędów	452
4.5.4.2. Siłowniki napędów, z wyróżnieniem siłowników sprężyno- wych	455
4.5.5. Łukowe procesy łączeniowe	462
4.5.5.1. Wprowadzenie	462
4.5.5.2. Łączenie prądów indukcyjnych	463
4.5.5.3. Pojemności w sieciach elektroenergetycznych	480
4.5.5.4. Łączenie prądów pojemnościowych	485
4.5.5.5. Łączenia synchronizowane	495
4.5.5.6. Szczególne właściwości łączeniowe łączników z SF ₆ i próż- niowych na tle rozwoju technik gaszeniowych	500
Literatura	502
5. BADANIA I DIAGNOZOWANIE STANU APARATÓW ELEKTRYCZNYCH I ROZDZIELNIC	506
5.1. Wiadomości ogólne	506
5.2. Badania i próby napięciowe	508

5.3. Diagnozowanie stanu torów prądowych i zestyków, badania i próby prądowe	509
5.3.1. Wprowadzenie	509
5.3.2. Badania i próby prądowe urządzeń elektroenergetycznych	510
5.4. Badania i próby łączeniowe	514
5.4.1. Wprowadzenie	514
5.4.2. Zwarcia i zwarciownice maszynowe i sieciowe	515
5.4.3. Układy specjalne do badań podstawowych i konstruktorskich	515
5.4.4. Układy syntetyczne do prób łączeniowych	518
5.5. Badania i próby elektromechaniczne i środowiskowe	520
5.6. Badania wyłączników wysokonapięciowych w kontekście ich niezawodności	521
Literatura	525
6. EKSPLOATACJA APARATÓW ELEKTRYCZNYCH I ROZDZIELNIC	527
6.1. Przegląd danych o uszkodzeniach aparatów elektrycznych i rozdzielnic w eksploatacji	527
6.2. Niezawodność urządzeń elektroenergetycznych i diagnozowanie ich stanu	529
6.2.1 Wprowadzenie	529
6.2.2. Elementy rachunku niezawodności	535
6.2.2.1. Analiza niezawodności struktur	535
6.2.2.2. Niezawodność struktur jako ich cecha stochastyczna	545
6.3. Podejmowanie decyzji eksploatacyjnych na podstawie danych rozproszonych – diagnostycznych i niezawodnościowych	550
6.3.1. Opracowywanie danych rozproszonych – statystyka opisowa, siatki funkcyjne, analiza regresji	550
6.3.1.1. Uwagi wstępne	550
6.3.1.2. Elementy analizy regresji i korelacji	553
6.3.1.3. Siatki funkcyjne jako narzędzia wnioskowania statystycznego	560
6.3.2. Metody podejmowania decyzji eksploatacyjnych na podstawie danych rozproszonych	574
Literatura	582
Słownik angielsko-polski	585
Spis przykładów obliczeniowych	595
Skorowidz rzeczowy	596
Skorowidz nazwisk	603