

## Spis treści

<b>Spis skrótów</b> .....	9
<b>Spis oznaczeń</b> .....	11
<b>Wstęp</b> .....	15
ROZDZIAŁ 1	
<b>Strategie w diagnostyce urządzeń elektroenergetycznych</b> .....	17
1.1. Strategie zarządzania eksploatacją urządzeń elektroenergetycznych .....	17
1.1.1. Czynniki wyznaczające czas eksploatacji urządzenia .....	17
1.1.2. Rodzaje strategii eksploatacji urządzeń .....	19
1.1.3. Techniki pogłębionej analizy danych .....	21
1.2. Strategie oceny stanu obiektów w elektroenergetyce .....	24
1.2.1. Etapy w analizie ryzyka .....	24
1.2.2. Realizacja strategii oceny stanu obektów elektroenergetycznych .....	26
1.3. Diagnostyka techniczna urządzeń elektrycznych .....	36
1.3.1. Określenia podstawowe .....	36
1.3.2. Rodzaje badań diagnostycznych .....	38
ROZDZIAŁ 2	
<b>Wysokonapięciowe układy izolacyjne</b> .....	40
2.1. Charakterystyka układów izolacyjnych .....	40
2.1.1. Podstawowe grupy układów izolacyjnych .....	40
2.1.2. Rozkład pola elektrycznego .....	42
2.1.3. Procesy degradacji układów izolacyjnych .....	45
2.1.4. Tendencje rozwojowe w konstrukcjach wysokonapięciowych układów izolacyjnych .....	50
2.2. Narażenia eksploatacyjne układów izolacyjnych .....	52
2.2.1. Rodzaje narażeń eksploatacyjnych .....	52
2.2.2. Narażenia elektryczne .....	55
2.2.3. Narażenia termiczne .....	59

2.2.4. Narażenia termomechaniczne .....	66
2.2.5. Narażenia środowiskowe .....	69
2.2.6. Narażenia klimatyczne .....	72
2.2.7. Narażenia zabrudzeniowe .....	73
2.3. Modelowanie narażeń eksploatacyjnych .....	76

## ROZDZIAŁ 3

<b>Podstawy metod diagnostycznych układów izolacyjnych .....</b>	<b>80</b>
3.1. Zjawiska w polu elektrycznym .....	80
3.1.1. Rodzaje mechanizmów strat dielektrycznych .....	80
3.1.2. Konduktywność elektryczna .....	82
3.1.3. Polaryzacja elektryczna .....	86
3.1.4. Wyładowania niezupełne .....	92
3.2. Schematy zastępcze układów izolacyjnych .....	96
3.2.1. Schemat zastępczy zespołu mechanizmów strat dielektrycznych .....	96
3.2.2. Dynamiczne charakterystyki polaryzacji przy napięciu stałym .....	98
3.2.3. Prąd polaryzacji i depolaryzacji. Funkcja odpowiedzi dielektrycznej .....	103
3.2.4. Analiza schematów zastępczych przy napięciu przemiennym .....	108
3.2.5. Charakterystyki dyspersyjne .....	115
3.3. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od napięcia .....	120
3.3.1. Wpływ wyładowań niezupełnych .....	120
3.3.2. Związek pomiędzy maksymalnym przyrostem pojemności oraz współczynnika strat dielektrycznych a objętością fazy gazowej w materiale izolacyjnym .....	123
3.3.3. Napięcie początkowe wyładowań niezupełnych .....	126
3.3.4. Ocena strat dielektrycznych w izolacji na podstawie pomiarów współczynnika $\text{tg}\delta$ .....	128

## ROZDZIAŁ 4

<b>Metody w diagnostyce układów izolacyjnych .....</b>	<b>133</b>
4.1. Rodzaje metod badań układów izolacyjnych .....	133
4.2. Próby napięciowe urządzeń elektroenergetycznych .....	136
4.2.1. Określenia podstawowe .....	136
4.2.2. Charakterystyki czasowe wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych .....	138
4.2.3. Znamionowy i znormalizowany poziom izolacji .....	140
4.2.4. Próby napięciem przemiennym .....	144
4.2.5. Zespoły probiercze wysokiego napięcia przemiennego .....	145
4.2.6. Próby napięciem stałym .....	156
4.2.7. Próby napięciem o obniżonej częstotliwości .....	161

4.2.8. Próby napięciem udarowym .....	165
4.2.9. Warunki wykonywania prób napięciowych .....	174
4.3. Wskaźnik absorpcji $R_{60}/R_{15}$ .....	183
4.3.1. Zmiana rezystancji izolacji w czasie .....	183
4.3.2. Analiza wskaźnika absorpcji izolacji warstwowej .....	185
4.3.3. Pomiar wskaźników izolacji przy skokowej zmianie napięcia .....	191
4.4. Metoda napięcia stopniowanego .....	192
4.5. Metoda napięcia powrotnego .....	195
4.6. Metody pomiaru współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ i pojemności .....	199
4.6.1. Podział metod .....	199
4.6.2. Metody mostkowe .....	200
4.6.3. Wyznaczanie składowej czynnej prądu w układzie izolacyjnym .....	204
4.6.4. Metody mostkowe pomiarów strat dielektrycznych .....	207
4.6.5. Metody bezpośrednie pomiaru strat dielektrycznych .....	210
4.7. Wskaźnik pojemnościowy $C_2/C_{50}$ .....	212
4.8. Wyładowania niezupełne w dielektrykach stałych .....	216
4.8.1. Przyczyny i skutki wyładowań niezupełnych .....	216
4.8.2. Podstawowy model układu izolacyjnego z źródłami wyładowań niezupełnych .....	217
4.8.3. Impulsowy charakter wyładowań niezupełnych .....	219
4.8.4. Metody elektryczne pomiaru wyładowań niezupełnych .....	229
4.8.5. Zbiory impulsów wyładowań niezupełnych .....	238
4.8.6. System cyfrowej rejestracji wyładowań niezupełnych .....	241
4.8.7. Obrazy fazowe wyładowań niezupełnych .....	243
4.8.8. Pomiar wyładowań niezupełnych przy przebiegach napięciowych impulsowych i szybkozmiennych .....	245
4.8.9. Metody akustyczne pomiaru wyładowań niezupełnych .....	247

## ROZDZIAŁ 5

<b>Metody badań technicznych urządzeń elektroenergetycznych .....</b>	<b>251</b>
5.1. Kable elektroenergetyczne .....	251
5.1.1. Typowe konstrukcje kabli elektroenergetycznych .....	251
5.1.2. Rodzaje badań kabli elektroenergetycznych .....	256
5.1.3. Pomiar rezystancji żył .....	259
5.1.4. Pomiar rezystancji izolacji .....	260
5.1.5. Próby napięciowe .....	262
5.1.6. Pomiar współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ .....	276
5.1.7. Wpływ rezystywności ekranów przewodzących na wartość współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ .....	277
5.1.8. Pomiar pojemności kabli wielożyłowych .....	281

5.1.9.	Sprawdzenie szczelności powłoki kablowej .....	282
5.1.10.	Pomiary wyładowań niezupełnych w kablach elektroenergetycznych .....	282
5.2.	Elektroenergetyczne linie napowietrzne .....	289
5.2.1.	Narażenia eksploatacyjne elektroenergetycznych linii napowietrznych .....	289
5.2.2.	Monitoring obciążalności prądowej linii napowietrznej .....	291
5.2.3.	Badania termowizyjne .....	292
5.2.4.	Rejestracja ulotu elektrycznego .....	292
5.2.5.	Zakłócenia radioelektryczne i akustyczne .....	293
5.2.6.	Rejestracja drgań przewodów napowietrznych linii przesyłowych .....	295
5.2.7.	Rozkład napięcia na łańcuchu izolatorów kołpakowych .....	296
5.2.8.	Diagnostyka izolatorów kompozytowych w eksploatacji .....	300
5.2.9.	Pomiary natężenia pola elektrycznego pod liniami przesyłowymi .....	301
5.3.	Transformatory energetyczne .....	307
5.3.1.	Układ izolacyjny transformatora .....	307
5.3.2.	Narażenia eksploatacyjne transformatorów .....	310
5.3.3.	Procesy degradacji izolacji papierowo-olejowej transformatorów .....	313
5.3.4.	Rodzaje badań transformatorów .....	316
5.3.5.	Pomiary rezystancji izolacji .....	321
5.3.6.	Pomiary pojemności i współczynnika strat dielektrycznych .....	323
5.3.7.	Systemy monitoringu <i>on-line</i> .....	324
5.3.8.	Pomiary wyładowań niezupełnych w transformatorach .....	325
5.3.9.	Analiza chromatograficzna gazów rozpuszczonych w oleju .....	332
5.3.10.	Metody oceny zawartości wilgoci w oleju i w izolacji celulozowej transformatorów .....	336
5.3.11.	Metoda prądów polaryzacji i depolaryzacji (PDC) .....	338
5.3.12.	Metoda spektroskopii dielektrycznej (FDS) .....	341
5.3.13.	Wykrywanie odkształceń uzwojeń metodą funkcji przenoszenia .....	344
5.3.14.	Kontrola podobciążeniowego przełącznika zacsepów .....	349
5.4.	Rozdzielnice gazowe .....	350
5.4.1.	Metody w diagnostyce rozdzielnic gazowych .....	351
5.4.2.	Rozkład pola elektrycznego w otoczeniu lokalnych defektów .....	352

5.4.3. Metody detekcji wyładowań niezupełnych .....	353
5.4.4. Analiza gazu w diagnostyce urządzeń z SF <sub>6</sub> .....	355
5.5. Badania termowizyjne w elektroenergetyce .....	356

## ROZDZIAŁ 6

### **Techniki prac eksploatacyjnych**

<b>na czynnych sieciach elektroenergetycznych .....</b>	<b>362</b>
6.1. Bezwyłączeniowe techniki utrzymania ruchu .....	362
6.2. Prace pod napięciem .....	362
6.2.1. Zakres prac pod napięciem .....	362
6.2.2. Strefy w warunkach prac pod napięciem .....	363
6.2.3. Metody prac pod napięciem .....	366
6.3. Tymczasowe techniki utrzymania ruchu .....	371
6.4. Narazenia w warunkach prac pod napięciem .....	371
6.4.1. Pole elektryczne i magnetyczne pod liniami przesyłowymi WN i NN oraz w stacjach elektroenergetycznych .....	371
6.4.2. Modelowanie rozkładu pola elektrycznego w warunkach prac pod napięciem .....	372
6.4.3. Modelowanie oddziaływania pól elektrycznych i magnetycznych na organizmy żywe .....	374
6.5. Przepisy dotyczące dopuszczalnych natężeń pól elektrycznych i magnetycznych w środowisku pracy .....	378
Literatura .....	381
Spis norm .....	390