

Spis treści

OD AUTORÓW	11
1. EKSPLOATACJA MASZYN I TRANSFORMATORÓW	17
1.1. Rodzaje eksploatacji	19
1.2. Czas życia maszyn i transformatorów oraz ich podział	26
1.3. Awaryjność w przemyśle i energetyce	29
1.3.1. Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków energetycznych	29
1.3.2. Analiza awaryjności maszyn w krajowych elektrowniach	31
1.3.3. Awaryjność maszyn potrzeb własnych	37
1.4. Cyberbezpieczeństwo przemysłowe	39
1.5. Utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń	45
Literatura do rozdziału pierwszego	47
2. DIAGNOSTYKA MASZYN I URZĄDZEŃ – UWAGI OGÓLNE	51
2.1. Diagnostyka techniczna maszyn	52
2.2. Symptomy uszkodzeń – zagadnienia ogólne	55
2.3. Diagnostyka eksploatacyjna w przemyśle i energetyce	57
2.4. Podstawy badań diagnostycznych	63
2.5. Analiza sygnałów diagnostycznych – zagadnienia wybrane	68
2.6. Elementy analizy sygnałów	68
2.6.1. Sygnały zdeterminowane	69
2.6.2. Sygnały losowe	76
2.6.3. Identyfikacja sygnałów	77
2.7. Czujniki pomiarowe w diagnostyce	79
2.7.1. Czujniki do pomiarów drgań bezwzględnych	79
2.7.2. Czujniki do pomiarów drgań względnych	86
2.7.3. Czujniki do pomiarów prądu	91
2.7.4. Czujniki do pomiarów temperatury	99
2.7.5. Czujniki do pomiarów wyładowań niezupełnych	104
2.7.6. Czujniki do pomiarów akustycznych	117
2.8. Aparatura pomiarowa	120
2.8.1. Aparatura do pomiarów i analizy sygnału napięciowego, prądowego, drganiowego, akustycznego i temperatury	120

2.8.2.	Aparatura do pomiarów stanu izolacji uzwojeń off-line	130
2.8.3.	Aparatura do badań pakietu i stanu zaklinowania	145
2.8.4.	Aparatura do pomiarów ustawienia zespołów maszynowych	148
2.9.	Diagnostyka off-line	154
2.9.1.	Stanowisko pomiarowe na stacji prób	154
2.10.	Diagnostyka on-line (monitoring)	159
2.11.	Jednolity system nadzoru maszyn w przedsiębiorstwie	159
	Literatura do rozdziału drugiego	163
3.	FUNDAMENTY I KONSTRUKCJE WSPORCZE, USTAWIANIE MASZYN	173
3.1.	Uwagi ogólne	174
3.2.	Kryteria formalne szkodliwego oddziaływania drgań	177
3.3.	Rezonanse	179
3.3.1.	Drgania swobodne	179
3.3.2.	Drgania wymuszone	183
3.3.3.	Badania własne	187
3.4.	Wizualizacja drgań jako użyteczna technika diagnozowania	189
3.5.	Ocena wizualna fundamentów	194
3.6.	Ustawianie zespołów maszynowych	195
3.6.1.	Uwagi ogólne	195
3.6.2.	Nieosiowość w układach napędowych	198
3.6.3.	Wpływ fundamentu na rozosiowanie	201
3.6.4.	Temperatura jako czynnik wpływający na prawidłowość osiowania	203
3.6.5.	Sprzęgła – wpływ na dokładność osiowania	205
3.6.6.	Dopuszczalne odchyłki osiowania	207
3.6.7.	Metody pomiaru osiowości	208
3.6.8.	Wykrywanie niecentryczności zespołu maszynowego w sygnale prądowym	212
3.6.9.	Przykłady pomiarów diagnostycznych	214
	Literatura do rozdziału trzeciego	215
4.	DIAGNOSTYKA DRGANIOWA MASZYN I ZESPOŁÓW MASZYNOWYCH	218
4.1.	Niewywaga, uwagi ogólne	219
4.2.	Przyczyny niewywagi, rodzaje niewywagi	224
4.3.	Metody wyważania wirników sztywnych	235
4.3.1.	Wyważanie jednopłaszczyznowe	236
4.3.2.	Wyważanie dwupłaszczyznowe	240
4.3.3.	Wyważanie on-line	241
4.4.	Metoda wyważania wirników gibkich	243
4.5.	Luzy	248
4.6.	Wygięty wał	250
4.7.	Krzywy wał	251
4.8.	Przycieranie	252
4.9.	Uszkodzenia łożysk tocznych i ich przyczyny	252
4.10.	Diagnostyka łożysk tocznych	259
4.10.1.	Wykorzystanie amplitudowych dyskryminant bezwymiarowych procesów wibroakustycznych	260
4.10.2.	Metoda SPM (ang. shock pulse method)	262
4.10.3.	Wykorzystanie wytycznych producenta	265

4.10.4. Metoda detekcji obwiedni	266
4.10.5. Monitoring łożysk tocznych w przemyśle	282
4.11. Łożyska ślizgowe w silnikach	284
4.11.1. Uszkodzenia i zakłócenia w pracy łożysk ślizgowych	286
4.11.2. Diagnostyka łożysk ślizgowych w silnikach	289
Literatura do rozdziału czwartego	295
5. DIAGNOSTYKA UZWOJEŃ	301
5.1. Wstęp	301
5.2. Pomiar rezystancji uzwojeń	302
5.2.1. Metodyka pomiaru	302
5.2.2. Przebiegi nieustalone	304
5.3. Badanie układów izolacyjnych uzwojeń napięciem przemiennym	311
5.3.1. Informacje ogólne	311
5.4. Diagnostyka izolacji uzwojenia napięciem stałym	319
5.4.1. Nazwa metody	319
5.4.2. Diagnostyka izolacji uzwojeń napięciem stałym	319
5.4.3. Postępująca w czasie degradacja układu izolacyjnego maszyn	329
5.4.4. Metoda na podstawie pomiarów PI, C, SV, DD – test Meggera	331
5.4.5. Diagnostyka izolacji zwojowej	336
5.5. Badanie wyładowań niezupełnych w izolacji uzwojeń	342
5.5.1. Zjawisko wyładowań niezupełnych	342
5.5.2. Badanie wyładowań niezupełnych off-line	344
5.5.3. Badanie wyładowań niezupełnych on-line	348
5.6. Porównanie metod diagnostycznych: napięciem stałym i wyładowań niezupełnych	364
5.6.1. Badane maszyny elektryczne	364
5.6.2. Wyniki badań wyładowań niezupełnych off-line	365
5.6.3. Wyniki badań diagnostycznych izolacji napięciem stałym	367
Literatura do rozdziału piątego	370
6. TRANSFORMATORY	373
6.1. Wstęp	373
6.2. Pomiar podstawowe	374
6.2.1. Sprawdzenie poprawności oznaczeń	374
6.2.2. Charakterystyki stanu jałowego	376
6.2.3. Charakterystyki stanu zwarcia	377
6.2.4. Schemat zastępczy i moc rozpraszana w transformatorze	378
6.2.5. Próba izolacji napięciem udarowym	380
6.3. Oddziaływanie przepięć na układ izolacyjny transformatora	380
6.3.1. Rozkład fali napięciowej na uzwojeniu transformatora	380
6.4. Pomiar parametrów układu izolacyjnego transformatora	386
6.4.1. Metodyka realizacji pomiarów	387
6.4.2. Przykład pomiarowy	388
6.5. Diagnostyka transformatorów	394
6.5.1. Diagnostyka off-line oparta na badaniach okresowych oleju	394
6.5.2. Diagnostyka transformatora na podstawie parametrów układu izolacyjnego	400
6.6. Diagnostyka przełącznika zaczepów	406

6.7.	Diagnostyka izolatorów przepustowych	408
6.7.1.	Budowa izolatora przepustowego typu OPI	408
6.7.2.	Elektryczny schemat zastępczy izolatora przepustowego	409
6.7.3.	Jak dochodzi do zwarcia w izolatorze przepustowym	411
6.7.4.	Diagnostyka izolatorów przepustowych	413
6.8.	Pomiar drgań i hałasu transformatora	417
6.9.	Przykładowe awarie transformatorów w eksploatacji	418
6.9.1.	Awaria transformatora blokowego	418
6.9.2.	Awaria transformatora sieciowego	424
6.9.3.	Awaria transformatora hutniczego	431
	Literatura do rozdziału szóstego	436
7.	MASZYNY INDUKCYJNE	438
7.1.	Eksploatacja silników indukcyjnych	438
7.2.	Warunki eksploatacji silników indukcyjnych i ich wpływ na uszkodzenia	439
7.2.1.	Rozruch silników indukcyjnych pierścieniowych	440
7.2.2.	Rozruchy bezpośrednie silników indukcyjnych klatkowych	444
7.2.3.	Wpływ uszkodzonych prętów wirnika na charakterystykę mechaniczną silnika	449
7.2.4.	Wpływ niesymetrii wirnika na drgania silnika	450
7.3.	Charakterystyczne zaburzenia i awarie silników indukcyjnych	451
7.3.1.	Rozruch przerywany	452
7.3.2.	Wpływ warunków eksploatacji na uszkodzenie uzwojenia klatkowego	454
7.3.3.	Statystyka uszkodzeń silników indukcyjnych	456
7.4.	Diagnostyka uzwojenia klatkowego wirnika	458
7.4.1.	Diagnostyka na podstawie zarejestrowanego prądu rozruchowego silnika	459
7.4.2.	Diagnostyka na podstawie zarejestrowanego prądu obciążenia	461
7.4.3.	Diagnostyka na podstawie analizy harmonicznej drgań	472
7.4.4.	Diagnozowanie uzwojenia klatkowego przy wyjętym wirniku	472
7.5.	Diagnostyka niesymetrii szczeliny powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem	473
7.6.	Prądy łożyskowe	478
7.7.	Zapobieganie prądom łożyskowym	485
	Literatura do rozdziału siódmego	487
8.	MASZYNY SYNCHRONICZNE	489
8.1.	Wstęp	489
8.2.	Schemat zastępczy i parametry maszyny synchronicznej	490
8.3.	Reaktancje synchroniczne i elektromagnetyczne stałe czasowe w stanach nieustalonych	492
8.4.	Zasady poprawnej eksploatacji maszyn synchronicznych	495
8.4.1.	Opis stref eksploatacji maszyn synchronicznych	495
8.4.2.	Przykładowa instrukcja stanowiskowa hydrogeneratorsa	497
8.5.	Diagnostyka i ocena stanu technicznego generatora	498
8.5.1.	Diagnostyka uzwojenia i rdzenia stojana generatora	499
8.5.2.	Diagnostyka uzwojenia wirnika	499
8.5.3.	Diagnostyka pierścieni ślizgowych i szczotek	501

8.6.	Diagnostyka wirników silników synchronicznych	501
8.7.	Charakterystyczne zaburzenia i stany awaryjne	506
8.8.	Awaria wyłącznika– awaria bloku elektroenergetycznego	508
8.9.	Awaria układu elektromechanicznego z silnikiem synchronicznym	511
	Literatura do rozdziału ósmego	512
9.	MASZYNY KOMUTATOROWE PRĄDU STAŁEGO	513
9.1.	Problemy eksploatacyjne maszyn prądu stałego	513
9.1.1.	Komutacja prądu twornika	513
9.1.2.	Przyczyny iskrzenia szczotek	515
9.2.	Ustawienie szczotek w strefie neutralnej	517
9.3.	Badanie stabilności kontaktu ślizgowego szczotki z komutatorem	521
9.4.	Symetria elektryczna i magnetyczna	522
9.5.	Sprawdzenie obwodu magnetycznego biegunów komutacyjnych	526
9.5.1.	Strefa komutacji beziskrowej	526
9.5.2.	Charakterystyka zwarcia $I = f(I_b)$ przy $I_f = 0$	528
9.5.3.	Korekta parametrów biegunów komutacyjnych	529
9.5.4.	Bocznikowanie uzwojenia B1C2 indukcyjnością	531
9.5.5.	Ocena właściwości komutacyjnych szczotek	533
9.6.	Komutacja w silnikach prądu stałego pracujących przy odwzbudzeniu	534
9.7.	Zabezpieczenie silników prądu stałego	538
9.8.	Diagnostyka on-line iskrzenia szczotek w maszynach prądu stałego	547
9.9.	Czynniki determinujące iskrzenie szczotek przy komutacji prądu pulsującego	548
9.10.	Połączenie uzwojenia wirnika z komutatorem –chorągiewki	554
9.11.	Uszkodzenia mechaniczne osadzenia pakietu blach wirnika	560
	Literatura do rozdziału dziewiątego	563
10.	ORGANIZACJA SŁUŻB DIAGNOSTYCZNYCH W PRZEMYŚLE I ENERGETYCE	564
10.1.	Zadania służb diagnostycznych	564
10.2.	Miejsce służb diagnostycznych w strukturach przedsiębiorstwa	565
10.3.	Liczebność służb diagnostycznych	567
10.4.	Wypożyczenie Laboratorium Diagnostyki Maszyn	567
	Literatura do rozdziału dziesiątego	569
11.	UWAGI KOŃCOWE	571