

SPIS TREŚCI

1. Ogólna charakterystyka zjawisk cieplnych w maszynach elektrycznych	5
1.1. Nagrzewanie się maszyn elektrycznych	5
1.2. Trwałość izolacji	8
1.3. Chłodzenie maszyn elektrycznych	11
1.3.1. Rodzaje chłodzenia	11
1.3.2. Chłodzenie powietrzne	13
1.3.3. Chłodzenie wodorowe	25
2. Zależności występujące przy przepływie i odprowadzaniu ciepła w maszynach elektrycznych	29
2.1. Przewodnictwo cieplne	29
2.1.1. Równanie ogólne	29
2.1.2. Przepływ ciepła przez ściankę płaską nie zawierającą źródeł ciepła	33
2.1.3. Przepływ ciepła przez ściankę cylindryczną nie zawierającą źródeł ciepła	40
2.1.4. Przepływ ciepła przez ściankę płaską zawierającą wewnętrzne źródła ciepła	42
2.1.5. Przepływ ciepła przez ściankę cylindryczną zawierającą wewnętrzne źródła ciepła	44
2.2. Promieniowanie	47
2.3. Konwekcja naturalna	50
2.4. Łączne odprowadzanie ciepła przez promieniowanie i konwekcję naturalną z powierzchni niewentylowanych	52
2.5. Odprowadzanie ciepła przy chłodzeniu sztucznym	54
2.5.1. Wpływ charakteru przepływu powietrza chłodzącego na intensywność odprowadzania ciepła	54
2.5.2. Odprowadzanie ciepła przy chłodzeniu sztucznym powierzchni nieosłoniętej	58
2.5.3. Odprowadzanie ciepła z powierzchni osłoniętej	64
2.6. Odprowadzanie ciepła z powierzchni uźebrowanej	74
3. Wyznaczanie przyrostów i rozkładu temperatur w maszynach elektrycznych w stanach cieplnych ustalonych	79
3.1. Metoda bezpośrednia	79
3.1.1. Uwagi ogólne	79
3.1.2. Przyrosty i rozkład temperatury w cewce biegunowej	79
3.1.3. Rozkład temperatury w rdzeniu stojana silnika asynchronicznego zamkniętego	85
3.1.4. Rozkład temperatury w stanie ustalonym w uzwojeniu stojana maszyny prądu zmiennego z wentylacją promieniową	89
3.1.5. Rozkład temperatur w stanie ustalonym w uzwojeniach wirników maszyn elektrycznych z wentylacją promieniową	101
3.2. Metoda schematów cieplnych	101
3.2.1. Zasada stosowania metody	101

3.2.2. Obliczanie oporów cieplnych	108
3.2.3. Zastosowanie metody schematów cieplnych do wyznaczania rozkładu temperatur w cewkach biegunowych	113
3.2.4. Równania cieplne stanu ustalonego dla maszyn elektrycznych	115
4. Przykłady wyznaczania przyrostów temperatur w silnikach asynchronicznych budowy zamkniętej przy użyciu równań cieplnych	126
4.1. Przykład wyznaczenia przyrostów temperatur uzwojeń przy projektowaniu silnika asynchronicznego pierścieniowego budowy zamkniętej	126
4.2. Wyznaczenie równania cieplnego dla silnika asynchronicznego zwarłego budowy zamkniętej	149
4.3. Wnioski dotyczące zastosowań metody równań cieplnych stanu ustalonego	157
5. Nagrzewanie się i stygnięcie uzwojenia maszyny elektrycznej traktowanego jako ciało jednorodne (bez uwzględnienia zależności oporności czynnej od temperatury)	160
5.1. Równanie podstawowe nagrzewania się i stygnięcia	160
5.1.1. Przypadek nagrzewania się uzwojenia przy początkowym przyroście temperatury równym zeru	162
5.1.2. Przypadek nagrzewania się uzwojenia przy początkowym przyroście temperatury nierównym zeru	168
5.1.3. Przypadek stygnięcia uzwojenia, w którym nie wydziela się ciepło	169
5.1.4. Przypadek stygnięcia uzwojenia, w którym wydziela się ciepło	172
5.2. Nagrzewanie się uzwojenia traktowanego jako ciało jednorodne przy pracy ciągłej	173
5.3. Nagrzewanie się uzwojenia traktowanego jako ciało jednorodne przy pracy dorywczej (czasowej)	179
5.4. Nagrzewanie się uzwojenia traktowanego jako ciało jednorodne przy pracy przerywanej	181
5.4.1. Uwagi ogólne	181
5.4.2. Nagrzewanie się uzwojenia przy pracy przerywanej z przerwami bez napięciowymi	182
5.4.3. Nagrzewanie się uzwojenia przy pracy przerywanej z przerwami jałowymi	192
5.5. Przykład liczbowy	198
6. Nagrzewanie się uzwojeń maszyn elektrycznych traktowanych jako ciało jednorodne z uwzględnieniem zależności oporności od temperatury	204
6.1. Równanie nagrzewania się i stygnięcia przy uwzględnieniu zmian oporności czynnej	204
6.2. Nagrzewanie się uzwojeń przy pracy ciągłej	213
6.3. Nagrzewanie się uzwojeń przy pracy dorywczej	222
6.4. Nagrzewanie się uzwojeń przy pracy przerywanej	225
6.4.1. Praca przerywana z przerwami bez napięciowymi	225
6.4.2. Praca przerywana z przerwami jałowymi	229
7. Zależność trwałości izolacji maszyny elektrycznej od temperatury roboczej	239
7.1. Trwałość izolacji w maszynach elektrycznych pracujących przy stałym obciążeniu i w stałej temperaturze otoczenia	239
7.2. Trwałość izolacji w maszynach pracujących przy zmiennym obciążeniu i zmiennej temperaturze otoczenia	243
7.3. Trwałość izolacji przy krótkotrwałych przeciążeniach	249
Wykaz piśmiennictwa	257
Wykaz oznaczeń	261
Skorowidz rzeczowy	267