

Spis treści

1	Elektromagnetyczne przetworniki energii	9
1.1.	Zasada przetwarzania energii	9
1.2.	Materiały stosowane w budowie transformatorów i maszyn elektrycznych	15
2	Transformatory	23
2.1.	Budowa transformatorów	23
2.2.	Rdzeń magnetyczny transformatora	25
2.2.1.	Budowa rdzenia	25
2.2.2.	Magnesowanie rdzenia	26
2.2.3.	Straty mocy w rdzeniu transformatora	29
2.3.	Transformator jednofazowy	31
2.3.1.	Model matematyczny transformatora jednofazowego	31
2.3.2.	Stan obciążenia transformatora jednofazowego	35
2.3.3.	Parametry znamionowe transformatora jednofazowego	38
2.4.	Transformatory trójfazowe	39
2.4.1.	Rdzeń transformatora trójfazowego	39
2.4.2.	Układy połączenia uzwojeń transformatora trójfazowego	41
2.4.3.	Magnesowanie rdzenia transformatora trójfazowego	43
2.4.4.	Stan obciążenia transformatora trójfazowego	46
2.4.5.	Praca równoległa transformatorów	49
2.5.	Regulacja napięcia transformatora	51
2.6.	Obciążenie niesymetryczne transformatora trójfazowego	54
2.7.	Transformator trójfazowy trójuzwojeniowy	62
2.8.	Zmiana liczby faz	66
2.9.	Autotransformator	72
2.10.	Stany nieustalone transformatorów	75
2.10.1.	Włączenie transformatora do sieci	75
2.10.2.	Zwarcie udarowe transformatora	78
2.10.3.	Oddziaływanie przepięć na układ izolacyjny transformatora	80
2.11.	Transformatory pomiarowe	86
2.12.	Dławiki	88
2.13.	Technologia wykonania transformatorów	89
2.13.1.	Transformatory suche	89
2.13.2.	Transformatory olejowe	90

3	Napięcie rotacji i moment elektromagnetyczny maszyn elektrycznych wirujących	93
3.1.	Zasada działania przetworników elektromechanicznych	93
3.2.	Wytwarzanie pola magnetycznego	96
3.2.1.	Pole magnetyczne stałe	96
3.2.2.	Pole magnetyczne zmienne	103
3.2.3.	Pole magnetyczne wirujące kołowe	104
3.3.	Napięcie indukowane w uzwojeniu twornika	107
3.3.1.	Uzwojenie twornika	107
3.3.2.	Napięcie rotacji indukowane w uzwojeniu twornika	110
3.3.3.	Współczynniki grupy dla harmonicznej $v = 1$	111
3.3.4.	Współczynnik skrótu dla harmonicznej $v = 1$	113
3.3.5.	Współczynnik uzwojenia dla wyższych harmonicznych	114
3.4.	Moment elektromagnetyczny	116
4	Maszyny indukcyjne	119
4.1.	Budowa maszyn indukcyjnych	119
4.2.	Zasada działania	122
4.3.	Model matematyczny maszyny indukcyjnej	127
4.4.	Przypadki szczególne pracy silników indukcyjnych	132
4.4.1.	Biegająłowy	132
4.4.2.	Stan zwarcia	134
4.5.	Moment elektromagnetyczny	137
4.6.	Charakterystyki elektromechaniczne silników indukcyjnych	141
4.7.	Straty mocy i sprawność maszyn indukcyjnych	145
4.8.	Regulacja prędkości obrotowej silników indukcyjnych klatkowych	147
4.8.1.	Sterowanie skalarne silnika indukcyjnego klatkowego	150
4.8.2.	Sterowanie wektorowe silnika indukcyjnego klatkowego	151
4.9.	Silniki wielobiegunowe	154
4.10.	Silniki indukcyjne jednofazowe	158
4.11.	Praca transformatorowa	163
4.12.	Wał elektryczny	165
4.13.	Stany dynamiczne silnika indukcyjnego	168
4.13.1.	Transformacja uzwojenia trójfazowego do układu α, β	168
4.13.2.	Rozruch silnika indukcyjnego	172
5	Maszyny synchroniczne	178
5.1.	Budowa maszyn synchronicznych	179
5.2.	Prądnicza synchroniczna	181
5.2.1.	Biegająłowy	181
5.2.2.	Model matematyczny maszyny synchronicznej	184
5.2.3.	Charakterystyki prądnic synchronicznych	192
5.3.	Praca równoległa prądnicy synchronicznej	201
5.3.1.	Synchronizacja prądnicy z siecią elektroenergetyczną	202
5.3.2.	Stabilność pracy prądnicy synchronicznej	205
5.3.3.	Praca maszyny synchronicznej przy stałej mocy czynnej	211
5.4.	Granice obciążalności prądnicy synchronicznej	213
5.5.	Układy wzbudzenia maszyn synchronicznych	217

5.6.	Silnik synchroniczny	219
5.6.1.	Obszar pracy dopuszczalnej silnika synchronicznego	219
5.6.2.	Rozruch silnika synchronicznego	220
5.6.3.	Samosynchronizacja	224
5.7.	Straty i sprawność maszyny synchronicznej	227
5.8.	Stany nieustalone maszyn synchronicznych	230
5.8.1.	Zwarcie nieustalone prądnicy synchronicznej	230
5.8.2.	Dynamika silnika synchronicznego po wyłączeniu i ponownym załączeniu napięcia	237
6	Maszyny komutatorowe	246
6.1.	Wstęp	246
6.2.	Budowa maszyn prądu stałego	247
6.3.	Przebieg prądu w uzwojeniu twornika	254
6.3.1.	Komutacja prądu w zezwojach	258
6.3.2.	Uzwojenie kompensacyjne	261
6.4.	Model matematyczny maszyny prądu stałego	264
6.4.1.	Silnik prądu stałego, praca ustalona	266
6.4.2.	Prądnica prądu stałego, praca ustalona	269
6.5.	Straty mocy i sprawność maszyn prądu stałego	271
6.6.	Czterokwadrantowe właściwości napędowe maszyn prądu stałego	273
6.7.	Dynamika układu napędowego prądu stałego	275
6.8.	Silniki komutatorowe jednofazowe	279
7	Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi	283
7.1.	Wstęp	283
7.2.	Magnesy trwałe	284
7.3.	Obwody elektryczne i magnetyczne maszyn elektrycznych wzbudzone magnesami trwałymi	288
7.3.1.	Uzwojenie twornika	288
7.3.2.	Wirnik z magnesami trwałymi	289
7.4.	Praca prądnicowa	290
7.5.	Praca silnikowa	294
7.5.1.	Sterowanie trapezowe	296
7.5.2.	Sterowanie sinusoidalne	298
7.5.3.	Silnik synchroniczny	300
7.6.	Podsumowanie	305
8	Elektryczne energooszczędne układy napędowe	308
8.1.	Definicja energooszczędności	308
8.2.	Sprawność różnych rodzajów silników pracujących w napędach o regulowanej prędkości obrotowej	310
8.2.1.	Silnik szeregowy prądu stałego - Ma	312
8.2.2.	Silnik prądu stałego wzbudzany magnesami trwałymi - Mb	312
8.2.3.	Silnik indukcyjny klatkowy - Mc	314
8.2.4.	Kaskada asynchroniczna - Md	315
8.2.5.	Silnik bezszczotkowy wzbudzany magnesami trwałymi - Me	317
8.2.6.	Porównanie wyników analizy	318

8 | Spis treści

8.3. Energooszczędne silniki indukcyjne 319
8.3.1. Podział silników elektrycznych według klas sprawności 320
8.3.2. Silniki energooszczędne. 323
8.4. Podsumowanie. 324

**9 Związek między mocą znamionową a gabarytem maszyny elektrycznej
i transformatora 327**

Literatura 331