

Spis treści

Przedmowa	9
Oznaczenia	11
1. Wprowadzenie	21
1.1. Klasyfikacja silników wysokoobrotowych	22
1.2. Problemy konstrukcyjne silników wysokoobrotowych	23
2. Zasada działania silnika BLDC.....	25
2.1. Założenia upraszczające	25
2.2. Klasyfikacja silników z magnesami trwałymi	25
2.3. Budowa silnika BLDC	26
2.4. Wyznaczanie położenia wirnika.....	28
2.5. Przebiegi silnika BLDC	30
2.5.1. Przebiegi idealnego silnika BLDC	30
2.5.2. Przebiegi rzeczywistego silnika BLDC	31
2.6. Schematy zastępcze	33
2.6.1. Stałoprądowy schemat zastępczy	33
2.6.2. Fazowy schemat zastępczy	36
2.7. Równanie ruchu	40
2.8. Charakterystyki mechaniczne.....	41
2.8.1. Charakterystyki idealne	41
2.8.2. Charakterystyki rzeczywiste	43
2.9. Moment zaczepowy	44
3. Wał i wirnik wysokoobrotowego silnika BLDC	47
3.1. Mocowanie magnesów	48
3.1.1. Mocowanie powierzchniowe	48
3.1.2. Mocowanie zagłębione	50
3.2. Rozmieszczenie magnesów	51
3.3. Magnesy trwałe	54
3.4. Materiały wału i wirnika dla silników wysokoobrotowych.....	56
4. Mechanika wału.....	61
4.1. Nośność wału i obliczenia zmęczeniowe	62
4.2. Drgania wału	68
4.2.1. Drgania giętne	68
4.2.2. Drgania skrętne.....	71
5. Stojan wysokoobrotowego silnika BLDC.....	75
5.1. Materiały na magnetowód.....	75
5.2. Porównanie konstrukcji trójlóbkowej i sześciolóbkowej	78

5.3. Porównanie konstrukcji ze żłobkami otwartymi, półotwartymi, zamkniętymi i konstrukcji bezżłobkowej.....	79
5.4. Analiza właściwości różnych konfiguracji magnetowodu bezżłobkowego	85
5.5. Technologia wytwarzania magnetowodów amorficznych	88
6. Łożyskowanie	93
6.1. Układy łożysk.....	95
6.2. Uszczelnienia łożysk.....	100
6.3. Główne wymiary łożysk.....	101
6.4. Trwałość łożysk	103
6.5. Pasowanie.....	112
6.6. Luzy i napięcie wstępne	119
6.7. Tarcie i temperatura.....	124
6.8. Smarowanie	128
6.8.1. Smarowanie smarami plastycznymi	131
6.8.2. Smarowanie olejowe.....	135
6.9. Prędkości graniczne łożyska.....	138
6.10. Łożyska wysokoobrotowe.....	141
6.11. Inne typy łożysk.....	145
7. Układ sterowania.....	147
7.1. Komutator elektroniczny.....	150
7.1.1 Strategie sterowania komutatorem elektronicznym	154
7.2. Przekształtnik.....	157
7.2.1. Przekształtnik buck.....	157
7.2.2. Przekształtnik buck-boost.....	158
7.2.3. Przekształtnik forward	160
7.2.4. Przekształtnik push-pull	161
7.2.5. Przekształtnik flyback.....	163
7.2.6. Badania symulacyjne przekształtników	165
8. Sterowanie czujnikowe.....	169
9. Sterowanie bezczujnikowe	185
9.1. Metoda bazująca na fazowych siłach elektromotorycznych	187
9.2. Metoda bazująca na trzeciej harmonicznej.....	189
9.3. Metoda bazująca na calce siły elektromotorycznej.....	191
9.4. Metoda bazująca na napięciach międzyfazowych.....	192
9.5. Rozruch silnika.....	198
9.6. Bezczujnikowy układ sterowania.....	211
10. Straty w silnikach wysokoobrotowych.....	215
10.1. Straty w przekształtniku energoelektronicznym.....	216
10.2. Straty w uzwojeniach silnika.....	217

10.3. Straty w obwodzie magnetycznym	220
10.4. Straty w łożyskach	222
10.5. Straty wentylatorowe.....	222
10.6. Straty w wirniku.....	226
10.7. Straty dodatkowe	227
11. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne silników wysokoobrotowych	229
11.1. Przegląd światowych rozwiązań silników wysokoobrotowych	229
11.2. Krajowe rozwiązania silników wysokoobrotowych	237
11.2.1. Prototyp silnika wysokoobrotowego o prędkości 60 000 obr/min.....	238
11.2.2. Prototyp o otwartej konstrukcji ze żłobkami półotwartymi.....	240
11.2.3. Prototypy o zamkniętej konstrukcji obudowy z magnetowodem bezżłobkowym.....	241
11.2.4. Prototyp z magnetowodem ze żłobkami zamkniętymi	242
11.3. Analiza strat i sprawności silnika wysokoobrotowego z magnetowodem ze żłobkami półotwartymi.....	244
Literatura.....	249
Streszczenie.....	262
Abstract.....	263