

Jerzy CHAMERSKI
Damian MAĆKIEWICZ
inż. Stanisław WAŃCZYK
Dolmel Drives Ltd., Wrocław

SILNIKI INDUKCYJNE BUDOWANE W DOLMEL DRIVES LTD

Streszczenie. W artykule przedstawiono silniki indukcyjne wysokiego napięcia budowane w Dolmel Drives Ltd we Wrocławiu. Przedstawiono aktualny zakres produkcji i podstawowe rozwiązania konstrukcyjne. Omówiono m.in. izolację uzwojenia stojana wykonaną w systemie nasycania próżniowo-ciśnieniowego oraz niektóre rozwiązania ograniczające hałas.

INDUCTION MOTORS MANUFACTURED BY DOLMEL DRIVES LTD

Summary. The paper presents H.V. induction motors manufactured by Dolmel Drives Ltd in Wrocław. Current range of production is presented, as well as basic design features of the motors. Among others the stator winding insulation, made in VPI system and some of the design measures reducing motor noise are described.

1. WPROWADZENIE

Dolmel Drives Ltd powstał w 1990 roku w wyniku przekształcenia istniejącego od 1947 roku państwowego przedsiębiorstwa DZWME Dolmel we Wrocławiu, przejmując z tego przedsiębiorstwa między innymi produkcję silników indukcyjnych.

Pierwsze silniki wyprodukowano w 1950 roku na podstawie dokumentacji otrzymanej z zakładu w Żychlinie. W ich konstrukcji widoczne były powiązania z rozwiązaniami stosowanymi w firmie BBC, ponieważ zakład w Żychlinie pracował w okresie międzywojennym na licencji tej firmy. W latach 1953÷1955 opracowano pierwszą zunifikowaną serię silników indukcyjnych o zakresie mocy 200÷4000 kW, przy liczbie biegunów $2p=16÷6$.

W latach 1956÷1959 zaprojektowano turbosilniki z wirnikiem klatkowym o mocy 1000÷4000 kW, przy $2p=2$ oraz grupę niskoobrotowych silników asynchronicznych synchronizowanych (SAS) do napędu młynów w cementowniach. W roku 1960 wprowadzono do produkcji silniki budowy zamkniętej z chłodzeniem rurowym o mocy 200÷1250 kW, przy $2p=12÷4$. W latach 1966÷1971 opracowano nową serię silników indukcyjnych obejmującą zakres mocy 250÷6300 kW, przy $2p=24÷4$ oraz nową serię turbosilników z wirnikiem klatkowym o zakresie mocy 1250÷5000 kW, przy $2p=2$. Ponadto wykonano wiele silników specjalnych, takich jak: silniki przeciwybuchowe do napędu sprężarek tłokowych, silniki wyciągowe i walcownicze, silniki dwubiegowe i pionowe.

Aktualnie produkowane są silniki serii "e" i rozwijana jest produkcja nowej generacji silników oznaczonych symbolem "f". W Dolmel Drives Ltd funkcjonuje System Zapewnienia Jakości wg ISO 9001 certyfikowany przez Bureau Veritas Quality International (BVQI).

2. OMÓWIENIE PRODUKOWANYCH SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

Silniki indukcyjne projektowane i budowane w Dolmel Drives Ltd obejmują szeroki zakres mocy i prędkości obrotowych - liczba biegunów $2p=2÷24$. Górne wartości mocy produkowanych silników wynoszą:

- 2000 kW przy $2p=24$,
- 10000 kW przy $2p=4$,
- 6300 kW przy $2p=2$.

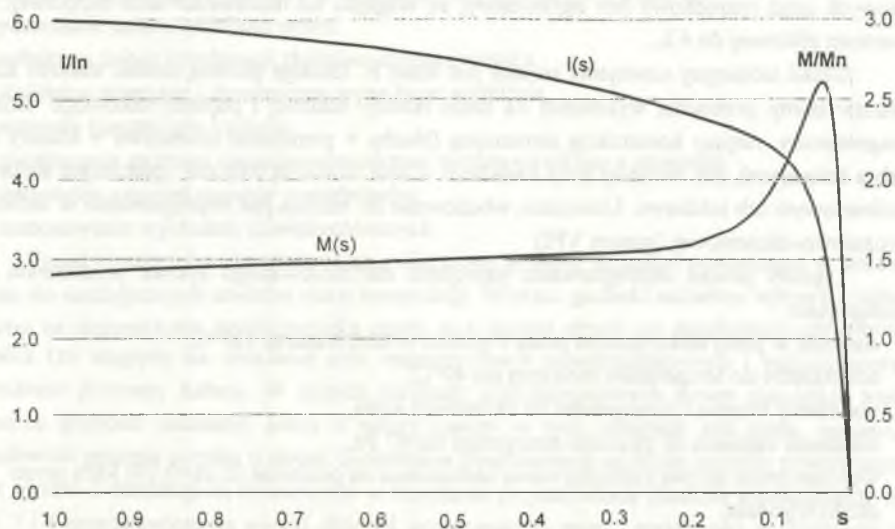
W związku z powyższym oraz w wyniku różnorodnych zastosowań i warunków pracy silniki mają zróżnicowane formy wykonania, sposoby chłodzenia i stopnie ochrony. Bazowym produktem są silniki na napięcie 6000 V, z wałem poziomym i wirnikiem klatkowym. Produkowane są również silniki pierścieniowe i silniki z wałem pionowym.

W dalszej części referatu omawiane będą wyłącznie silniki klatkowe. Silniki takie, w wykonaniu standardowym, projektowane są jako głębokożłobkowe z prętem uzwojenia wirnika o przekroju trapezowym. Silniki te mają dobre parametry rozruchowe, ich moment rozruchowy wynosi $(0.9÷1.2) M_N$.

Silniki o wymaganym momencie rozruchowym $(1.4÷2) M_N$ stanowią wykonanie specjalne i projektowane są jako maszyny dwuklatkowe.

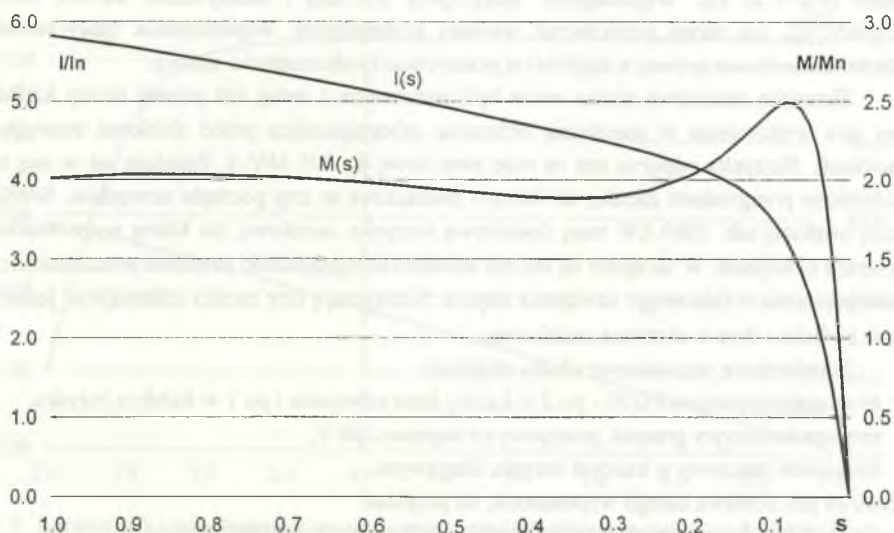
Na rys. 1 i 2 przedstawiono przykładowe przebiegi momentu obrotowego i prądu rozruchowego, odpowiednio dla silnika głębokożłobkowego i dwuklatkowego.

Silniki klatkowe zaprojektowane są tak, że przy wentylatorowej charakterystyce momentu oporowego urządzenia napędzanego mogą wykonać dwa kolejne rozruchy ze stanu zimnego i jeden rozruch ze stanu gorącego. Powyższe jest standardem, dla którego w dokumentacji technicznej silnika określona jest wartość dopuszczalnego masowego momentu bezwładności urządzenia napędzanego. W dokumentacji tej podawany jest także maksymalny zewnętrzny moment bezwładności, przy którym silnik może wykonać jeden rozruch ze stanu zimnego. Krotność prądu rozruchowego wynosi $(4÷6) I_N$. Najczęściej prąd rozruchowy zbliżo-



Rys. 1. Charakterystyki rozruchowe silnika klatkowego (głębokożłobkowego) 3300 kW, 6 kV, $2p=10$

Fig. 1. Starting current and torque curves of deep-slot squirrel-cage induction motor 3300 kW, 6 kV, $2p=10$



Rys. 2. Charakterystyki rozruchowe silnika dwuklatkowego 450 kW, 6 kV, $2p=6$

Fig. 2. Starting current and torque curves of double-cage induction motor 450 kW, 6 kV, $2p=6$

ny jest do wartości $5.5 I_N$. W przypadku silników okrętowych do napędu sterów strumieniowych prąd rozruchowy jest ograniczony, ze względu na możliwości sieci okrętowej, do wartości zbliżonej do $4 I_N$.

Układ izolacyjny uzwojenia stojana jest klasy F. Izolację główną cewek stanowi kilka warstw taśmy porowatej wykonanej na bazie tkaniny szklanej i papieru mikowego. Rdzeń magnetyczny, mający konstrukcję samonośną (blachy + pierścienie dociskowe + klamry lub zebra ściągające), jest zwojony poza kadłubem. Czoła cewek są wiązane oplecionym sznurem poliesterowym lub szklanym. Uzwojenie wbudowane do rdzenia jest impregnowane w technice próżniowo-ciśnieniowej (system VPI).

Typowy proces impregnowania uzwojenia dla stosowanego syciwa przedstawia się następująco:

- suszenie w piecu elektrycznym przez 6 godzin w temperaturze 130°C ,
- schłodzenie do temperatury mniejszej niż 40°C ,
- wsadzenie rdzenia z uzwojeniem do szczelnego kotła,
- obniżenie ciśnienia do poziomu mniejszego niż 67 Pa ,
- wprowadzenie syciwa i utrzymywanie nadciśnienia na poziomie $(0.18\pm 0.19)\text{ MPa}$ przez około 6 godzin,
- obcieknięcie syciwa,
- utwardzanie syciwa w piecu przez minimum 6 godzin w temperaturze 130°C .

Uzwojenie wykonane w systemie VPI ma bardzo dobre własności dielektryczne i jest odporne na wpływy środowiska oraz obciążenia elektrodynamiczne. Do oceny jakości impregnacji uzwojenia wykonuje się pomiary współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ co $0.2 U_N$ w przedziale $(0.2\div 1.2) U_N$. Współczynnik $\text{tg}\delta_{0.2}$ (przy $0.2 U_N$) i maksymalna wartość ilorazu $(\Delta\text{tg}\delta/\Delta U)_{\text{max}}$ nie mogą przekroczyć wartości kryterialnych. Współczynnik $\text{tg}\delta_{0.2}$ mówi o jakości utwardzenia syciwa, a $\Delta\text{tg}\delta/\Delta U$ o przesyleniu i jednorodności izolacji.

Skrzynka zaciskowa silnika może być usytuowana z lewej lub prawej strony kadłuba. Jest ona wyposażona w membranę ochronną zabezpieczającą przed skutkami zwarcia na zaciskach. Skrzynka odporna jest na moc zwarcia do $500\text{ MV}\cdot\text{A}$. Znajdują się w niej trzy oddzielone przegrodami zaciski, do których podłączone są trzy początki uzwojenia. Silniki o mocy większej niż 3000 kW mają dodatkową skrzynkę zaciskową, do której wyprowadzone są końce uzwojenia. W skrzynce tej można zabudować przekładniki prądowe przeznaczone do zabezpieczenia różnicowego uzwojenia stojana. Silniki mają trzy zaciski uziemiające: jeden na łapie kadłuba i dwa w skrzynce zaciskowej.

Standardowe wyposażenie silnika obejmuje:

- termometry oporowe Pt100 - po 2 w każdej fazie uzwojenia i po 1 w każdym łożysku,
- antykondensacyjny grzejnik postojowy na napięcie 220 V ,
- termometr cieczowy w każdym łożysku ślizgowym.

Możliwa jest dostawa innego wyposażenia, na przykład:

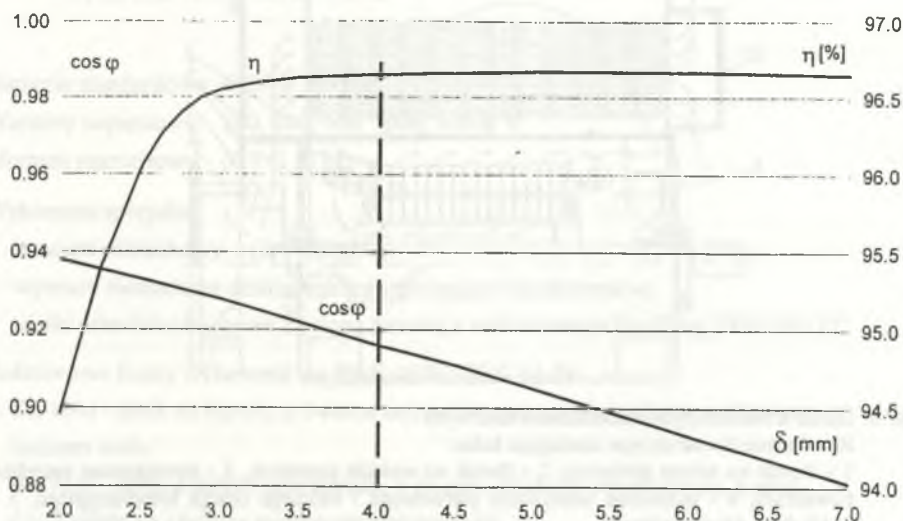
- gniazda lub przetworniki do pomiaru drgań i do diagnostyki łożysk tocznych,
- inna liczba lub rodzaj termometrów oporowych,
- termistory (PTC) do zabezpieczenia cieplnego uzwojenia.

Silniki mają obniżony poziom hałasu. W silnikach o liczbie biegunów $2p \geq 4$ poziom ciśnienia akustycznego (mierzony w odległości 1m) wynosi $L_p \leq 85\text{dB(A)}$.

Ograniczenie hałasu uzyskano przez:

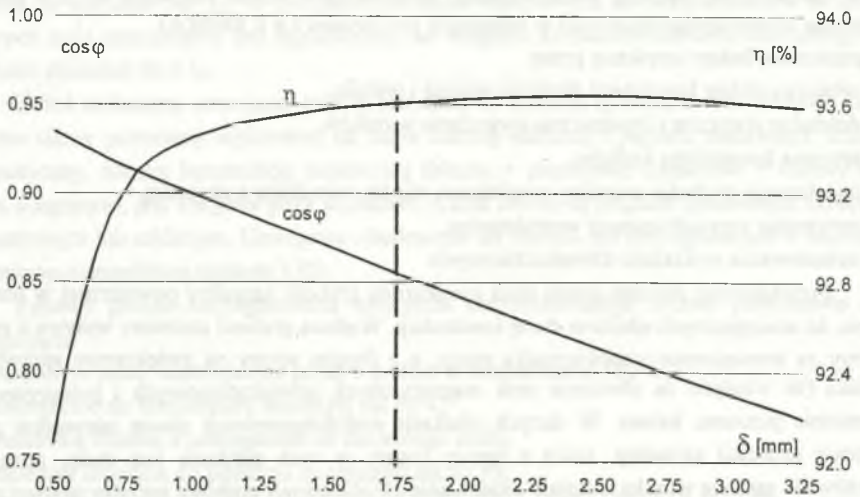
- właściwy dobór kombinacji żłobków stojana i wirnika,
- dokładne statyczne i dynamiczne wyważanie wirników,
- sztywną konstrukcję kadłuba,
- zwiększenie grubości szczeliny powietrznej między wirnikiem a stojanem,
- optymalne zaprojektowanie wentylatorów,
- zastosowanie wykładzin dźwiękochłonnych.

Projektowane obecnie silniki mają zwiększoną grubość szczeliny powietrznej w porównaniu do analogicznych silników starej konstrukcji. Większa grubość szczeliny wpływa z jednej strony na zmniejszenie współczynnika mocy, a z drugiej strony na zwiększenie sprawności silnika (ze względu na obniżenie strat magnetycznych powierzchniowych i pulsacyjnych) i obniżenie poziomu hałasu. W dużych silnikach wielobiegunowych nawet niewielkie zwiększenie grubości szczeliny, która z natury rzeczy w tych silnikach jest mała, ogranicza możliwość zatarcia wirnika o stojan. Stosowanie zwiększonych grubości szczelin powietrznych jest zgodne z tendencjami światowymi w dziedzinie projektowania silników indukcyjnych. Na rys. 3 i 4 przedstawione są wyniki obliczeń współczynnika mocy i sprawności w zależności od grubości szczeliny dla dwóch różnych silników. Rozwiązania konstrukcyjne stosowane do obniżenia poziomu hałasu, na przykładzie silnika zamkniętego z chłodzeniem rurowym, pokazane są na rys.5.



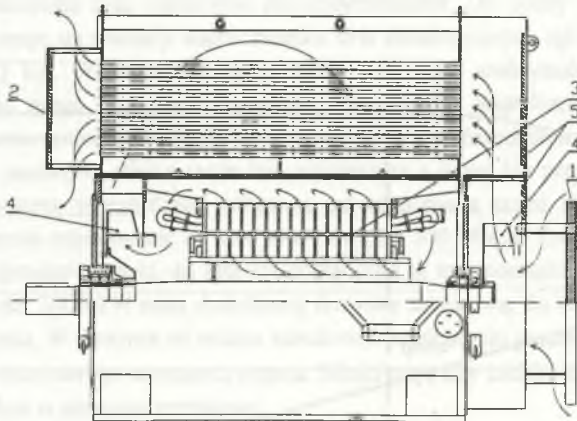
Rys. 3. Sprawność i współczynnik mocy w zależności od grubości szczeliny δ silnika klatkowego (głębokożłobkowego) 6300 kW, 6 kV, $2p=4$

Fig. 3. Efficiency and power factor in function of air-gap δ of deep-slot squirrel-cage induction motor 6300 kW, 6 kV, $2p=4$



Rys. 4. Sprawność i współczynnik mocy w zależności od grubości szczeliny δ silnika dwuklatkowego 450 kW, 6 kV, $2p=6$

Fig. 4. Efficiency and power factor in function of air-gap δ of double-cage induction motor 450 kW, 6 kV, $2p=6$



Rys. 5. Silnik z zamkniętym chłodzeniem rurowym

Rozwiązania konstrukcyjne obniżające hałas:

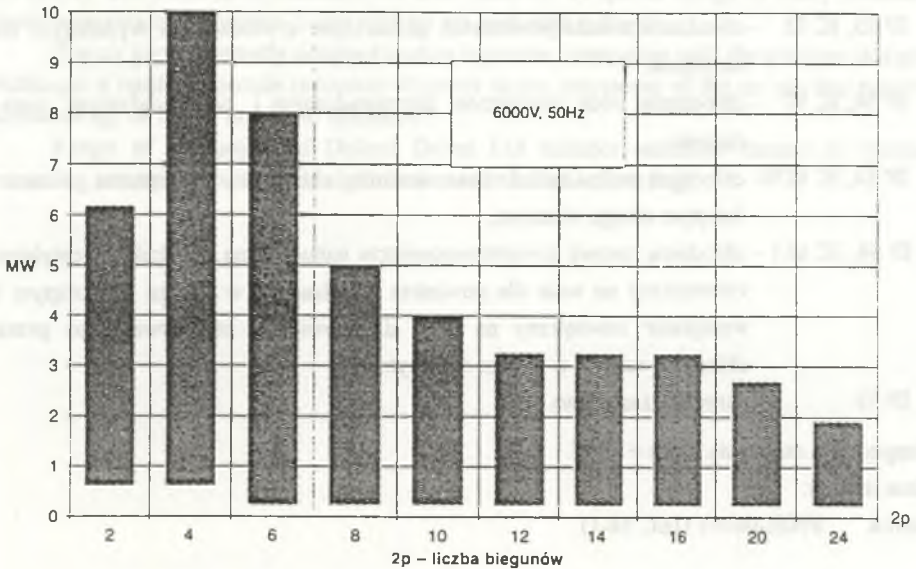
1 - tłumik na wlocie powietrza, 2 - tłumik na wylocie powietrza, 3 - powiększona szczelina powietrzna, 4 - optymalne wentylatory pierwotnego i wtórnego obiegu wentylacyjnego, 5 - wykładzina dźwiękochłonna.

Fig. 5. Totally enclosed air-to-air cooled motor

Design fetures reducing the noise level:

1 - suppressor at the air inlet, 2 - suppressor at the air outlet, 3 - increased air-gap, 4 - optimal fans of the primary and secondary ventilation cycle, 5 - soundproof lining.

3. STANDARDOWY ZAKRES PRODUKCJI



4. PARAMETRY TECHNICZNE

Napięcie standardowe: 6000 V, 50 Hz

Warianty napięciowe: 380, 500, 660, 3000, 10000 V

Moment rozruchowy: $(0.9 \div 1.2) M_N$

Wykonania specjalne:

- moment rozruchowy $(1.4 \div 2.0) M_N$,
- wymiary montażowe dostosowane do istniejących fundamentów,
- silniki przeciwwybuchowe z osłoną gazową z nadciśnieniem ExpII wg PN/E-08112.

Podstawowe formy wykonania wg PN/E-06707 (IEC 34-7):

- IM 1001- silnik na łapach, z dwiema tarczami łożyskowymi i jednym walcowym końcem wału,
- IM 7311- silnik z łapami uniesionymi, z dwoma stojakami łożyskowymi, z płytą fundamentową i jednym walcowym końcem wału,
- IM 4011- silnik z wałem pionowym, z kołnierzem na kadłubie, z dwiema tarczami łożyskowymi i jednym walcowym końcem wału skierowanym w dół.

Podstawowe stopnie ochrony wg PN/E-06705 (IEC 34-5) i sposoby chłodzenia wg PN-IEC 34-6:

- IP 23, IC 01 - chłodzenie własne powietrzem pobieranym z otoczenia i wydalanym do otoczenia,
- IP 54, IC 37 - chłodzenie obce powietrzem doprowadzanym i odprowadzanym rurociągiem,
- IP 54, IC 81W- chłodnica wodna nabudowana na silniku, chłodzenie powietrzem w zamkniętym obiegu własnym,
- IP 54, IC 611 - chłodnica rurowa powietrze-powietrze nabudowana na silniku, wentylator wewnętrzny na wale dla powietrza chłodzącego w obiegu zamkniętym i wentylator zewnętrzny na wale dla powietrza przepływającego przez chłodnicę rurową w obiegu otwartym,
- IP 55 - skrzynka zaciskowa.

Temperatura otoczenia: do + 40°C

Klasa izolacji: F

Norma: PN/E-06701 (IEC 34-1).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji 23 marca 1996 r.

Abstract

In the paper high voltage induction motors manufactured by Dolmel Drives Ltd, Wrocław are presented. Production of induction motors in state enterprise DZWME Dolmel, transformed in 1990 into Dolmel Drives Ltd, started in 1950. During next years several series of induction motors were developed, covering wide power and speed range and designed for various applications. Current production range of Dolmel Drives Ltd includes induction motors of outputs from 250 kW to 10000 kW and number of poles from 2 to 24.

Cage motors, which are the main part of Dolmel Drives Ltd induction motors production, have good starting parameters: starting torque is $(0.9 \div 1.2)M_N$, in special designs up to $2 M_N$. Exemplary starting characteristics of deep-slot-cage and double-cage motors are shown in Figs. 1 and 2.

The stator windings of the motors have vacuum pressure impregnated (VPI) insulation, which has excellent electrical and mechanical parameters. Stator terminal boxes are resistant to short-circuit effects at a short-circuit power up to 500 MV·A. Standard accessories installed in the motors include Pt100 resistance temperature detectors in stator winding and bearings and anticondensation heater.

The motors have reduced noise: sound pressure level at 1 m distance is less than 85 dB(A). The noise level reduction has been achieved by special design of many constructional elements of the motors. Some of them are presented in Fig. 5.

The air gap in currently designed motors is greater, comparing with the previous designs. Although it results in certain reduction of power factor, increasing of the air gap has positive influence eg. on motor noise and efficiency.

Range of production of Dolmel Drives Ltd includes induction motors of various mounting arrangements, degrees of protection and methods of cooling.