

## **Silniki indukcyjne - wstęp.**

### **Ogólna charakterystyka obszarów stosowania**

Maszyny indukcyjne są wynalazkiem XIX wieku.

Silnik indukcyjny (z ang. *squirrel-cage rotors*) jest jednym z tańszych i prostszych w budowie, z wszystkich silników spotykanych w przemyśle.

Składa się ze stojana (ang. *stator*) i wirnika (ang. *rotor*). Nie występują w nim szczotki, jest więc prawie bezobsługowy, oraz może pracować w strefach beziskrowych (zagrożonych wybuchem). Najczęściej stosowane w przemyśle silniki indukcyjne są trójfazowe klatkowe (i pierścieniowe) o mocach od kilkudziesięciu watów do kilkuset kilowatów, bazujące na niskonapięciowych (do 690V) silnikach standardowych. Na bazie silników trójfazowych wykonywane są również przemysłowe silniki jednofazowe o mocach do kilku kilowatów.

Silniki indukcyjne przemysłowe są powszechnie stosowane jako podstawa napędu elektrycznego we wszelkiego rodzaju procesach produkcyjnych – i to nie tylko w wąsko rozumianym przemyśle, ale również w rolnictwie, budownictwie, energetyce (napędy potrzeb własnych), usługach i gospodarce komunalnej (np. napędy pomp wodociągowych). Szacuje się, że w Polsce jest zainstalowanych min. 10 mln. takich silników, przy czym liczba ta co roku powiększa się o dalsze 500 tys. silników nowo instalowanych. O znaczeniu tej grupy silników dla współczesnej gospodarki narodowej daje wyobrażenie fakt, że są one odbiorcą **połowy** całej wytwarzanej w elektrowniach energii elektrycznej.

Poza powszechnie uznanymi od dawna zaletami indukcyjnych silników klatkowych, takimi jak:

- dobre właściwości ruchowe,
- zwarta, wytrzymała struktura mechaniczna odporna na destrukcyjne oddziaływanie trudnych warunków eksploatacyjnych,
- brak (poza łożyskami) części trących,
- wysoka sprawność,
- praktyczna bezobsługowość,
- niska cena ,

W ostatnim czasie szczególnego znaczenia nabrała jeszcze jedna zaleta takich silników:

- kompatybilność elektromagnetyczna,
- co oznacza, że silnik taki ani nie generuje zakłóceń elektromagnetycznych ani nie jest na nie wrażliwy.

Silniki indukcyjne możemy sklasyfikować pod względem **zastosowania** następująco:

- Silniki indukcyjne o sterowanej prędkości obrotów ( ang. *adjustable speed drives*). Głównie stosowane do napędzania wentylatorów, sprężarek, pomp, itd.
- Serwonapędy (ang. *servo drives*). Przeznaczone do skomplikowanych sterowań. Stosowane jako serwonapędy w urządzeniach komputerowych, skomplikowanych maszynach i robotach.

Rozwój energoelektroniki stworzył nową jakość napędu silnikami indukcyjnymi. Zasilanie silnika z energoelektronicznego przekształtnika częstotliwości (falownika) umożliwia płynną i w szerokim zakresie regulację prędkości obrotowej silnika przez co może być wyeliminowana główna wada ruchowa silnika indukcyjnego zasilanego bezpośrednio z sieci. Układy energoelektroniczne były już od wielu lat stosowane do zasilania i regulacji prędkości asynchronicznych napędów przemysłowych (np. pomp, kompresorów, urządzeń transportowych, urządzeń okrętowych, maszyn włókienniczych, urządzeń w przemyśle tworzyw sztucznych itp.).

Właściwości eksploatacyjne układów energoelektronicznych nowych generacji – zwłaszcza z przyrządami w pełni sterowanymi – spowodowały rozszerzenie zakresu zastosowań regulowanych napędów prądu przemiennego również w tych dziedzinach (np. napędy górnicze maszyn wyciągowych, napędy urządzeń hutniczych, napędy trakcyjne, serwonapędy obrabiarek, robotów przemysłowych i urządzeń peryferyjnych komputerów), w których dominującą rolę miały napędy z silnikami prądu stałego.

W napędach urządzeń przemysłowych wykorzystuje się różnorodne odmiany układów przekształtnikowych, umożliwiających **regulację prędkości i momentu obrotowego** oraz sterowanie procesami rozruchu, hamowania i nawrotu silnika. Z najczęściej stosowanych rozwiązań można wymienić:

- Przekształtniki tyrystorowe z komutacją zewnętrzną w układach regulatorów napięcia przemiennego lub bezpośrednich przemienników częstotliwości.
- Tyrystorowych kaskad podsynchronicznych.
- Przemienneiki częstotliwości pośrednie z falownikami napięcia i prądu.

Dalej będą omawiane jedynie rozwiązania falownikowe stosowane najczęściej do napędów w automatyce.

Silniki przeznaczone do zasilania z falownika mają z reguły nieco mniejszą znamionową moc, niższą o 10 do 20% od mocy znamionowej bazowego silnika standardowego. Spowodowane to jest tym, że falownik jako źródło napięcia zasilającego silnik charakteryzuje się nie tylko zmienianą w szerokich granicach częstotliwością napięcia, ale również znacznym odkształceniem tego napięcia od przebiegu sinusoidalnego. Jako nominalny zakres zmiany częstotliwości napięcia zasilającego podaje się najczęściej 0...100Hz, ale w praktyce rzadko nastawia się w tego rodzaju napędach częstotliwość zasilania silnika poniżej 10Hz, co oznacza, że silniki te pracują w zasadzie w zakresie zmian prędkości obrotowej: 300...3000 obr./min. Są to najczęściej silniki czterobiegunowe, wyposażone przeważnie w niezależny od prędkości obrotowej wału, wentylator chłodzący, z nieco inną ilością uzwojeń oraz ewentualnie zmienionym wykresem blach stojana i wirnika. W budowie silników przeznaczonych do zasilania z falowników pojawiły się nowe tendencje stosowania silników specjalnych, o konstrukcji bezkadłubowej, z kwadratowym obrysem zewnętrznym rdzenia stojana. Wyróżniają się one dużymi mocami w danym gabarycie. Pod tym względem są one w pełni porównywalne z nowoczesnymi silnikami prądu stałego i w relacji moc - gabaryty układ napędowy falownik-silnik staje się w pełni konkurencyjny i zastępowalny dla układów napędowych prądu stałego. Smukły kształt takich silników ułatwia ich integrację konstrukcyjną z maszyną roboczą.

Drugą połową napędu indukcyjnego jest falownik. Przetwarza on napięcie stałe na napięcie zmienne o regulowanej amplitudzie i częstotliwości. Nominalny zakres zmian częstotliwości podaje się najczęściej od 0..100 Hz. Falownik jako źródło napięcia zasilającego charakteryzuje się nie tylko zmienianą w szerokich granicach częstotliwością napięcia, ale również częstym znacznym odkształceniem tego napięcia od przebiegu sinusoidalnego, przy czym stopień odkształcenia jest zależny od typu falownika i rodzaju obciążenia. Odkształcone napięcie zasilania, ogólnie rzecz biorąc, oddziałuje negatywnie na podstawowe parametry silnika: rosną straty w silniku i jego nagrzewanie, maleje sprawność. Jest to poważną wadą tegoż napędu. Falownik, składa się z układu sterującego (modulatora) oraz przyrządów półprzewodnikowych (przełączników). Wykonanie dobrej klasy napędu falownikowego, przy tak szybkim rozwoju przyrządów półprzewodnikowych dużej mocy, stanowi coraz mniejszy problem.

Umożliwiający płynną regulację prędkości obrotowej silnika układ napędowy falownik-silnik indukcyjny zdobywa szybko rynek. W Niemczech w roku 1998 sprzedano ponad 3 miliony silników indukcyjnych o mocach 0,75-7,5 kW i 466 tysięcy falowników o tym zakresie mocy. Oznacza to, że tylko co szósty kupiony silnik mógł znaleźć swoje miejsce w układzie napędu

regulowanego. Głównym barierą stosowania falowników jest utrzymująca się ciągle wysoka cena falownika: 4-8 razy wyższa od ceny samego silnika.

## **Trendy rozwojowe**

Dotychczasowa dominująca rola silników indukcyjnych klatkowych jako podstawa przemysłowego napędu elektrycznego będzie nie tylko utrzymana ale jeszcze bardziej się umocni. Rynek silników elektrycznych zwiększył się z 1,96 mld USD w 1998 roku do 2,24 mld USD w 2005 roku, przy czym dominującą pozycję na tym rynku stanowią silniki prądu przemiennego, których wartość obrotu w 1998 roku wyniosła 1,68 mld USD.

Trendy rozwojowe przemysłowych silników indukcyjnych to odchodzenie od produkcji silników standardowych na rzecz różnego rodzaju odmian konstrukcyjnych i wykonań specjalnych silników dostosowanych do konkretnych warunków eksploatacji i często spełniających dodatkowe specyficzne wymagania klientów.

Odmiany i wykonania specjalne silników są z reguły produkowane na bazie podstawowych elementów konstrukcyjnych silników standardowych.

Do najważniejszych odmian i wykonań specjalnych przemysłowych silników indukcyjnych, zalicza się:

- silniki energooszczędne
- silniki progresywne
- silniki przeznaczone do zasilania z falowników.

### **Silniki energooszczędne**

Przy poszukiwaniu sposobów racjonalnego zmniejszenia zużycia energii, w tym energii elektrycznej, za jedno z największych potencjalnych źródeł oszczędności tej energii uznano silniki elektryczne.

Silnikami energooszczędnymi nazywane są silniki, których sprawność jest wyższa od sprawności silników standardowych. Sposobem podwyższenia sprawności silnika jest powiększenie w nim ilości materiałów czynnych tj. miedzi i blachy elektrotechnicznej. To jest głównym powodem wyższej ceny silnika energooszczędnego.

### **Silniki progresywne**

Silnikami progresywnymi nazywane są silniki, których moce znamionowe w danym gabarycie silnika są większe niż w silnikach standardowych.

Silniki progresywne pojawiły się na rynku światowym niedawno niewielu producentów ma je w swoim asortymencie.

Silniki progresywne są często mutacją silników energooszczędnych. Wykorzystując naturalne dla sprawności ustalone maksymalnie dopuszczalne wartości mocy znamionowych dla poszczególnych typów silników progresywnych.

### **Silniki do zasilania z falowników**

Do niedawna w falownikowych układach napędowych ogólnego przeznaczenia powszechnie używano odpowiednio dostosowane silniki standardowe. Dostosowanie takie ogranicza się z reguły do niewielkich zmian silnika standardowego: nabudowanie (ale nie zawsze) obcego wentylatora, zmianie liczby zwojów uzwojenia, zastosowanie drutu nawojowego o wzmocnionej izolacji i wreszcie obniżenie mocy znamionowej o 10-20%. Takie dość proste rozwiązanie silników przeznaczonych do zasilania z falowników ma w swojej ofercie dużo producentów.

W ostatnich latach w budowie silników przeznaczonych do zasilania z falowników pojawiły się nowe tendencje. Są to silniki specjalne, o konstrukcji bezkadłubowej, z kwadratowym obrysem zewnętrznym rdzenia stojana. Mają one z reguły nabudowany obcy wentylator,

### *Silniki indukcyjne - wstęp*

zapewniający intensywne, niezależne od prędkości obrotowej wału silnika chłodzenie. Silniki takie wyróżniają się dużymi mocami w danym gabarycie. Pod tym względem są one w pełni porównywalne z nowoczesnymi silnikami prądu stałego i w relacji moce-gabaryty układ napędowy falownik- silnik indukcyjny jest w pełni konkurencyjny i zastępowalny dla układów napędowych prądu stałego, co nie zawsze jest osiągalne w przypadku poprzednio wspomnianych silników standardowych tylko dostosowanych do zasilania z falowników. Od kilku lat w ofercie handlowej wielu producentów znajduje się tzw. napęd kompaktowy stanowiący integrację konstrukcyjną silnika i zasilającego go falownika. Moce produkowanych obecnie napędów kompaktowych na ogół nie przekraczają kilku kilowatów. Napędy kompaktowe różnych firm różnią się wyraźnie między sobą zarówno proporcją wymiarów falownika i silnika, jak również usytuowaniem falownika na obudowie silnika.

### **Prądnice asynchroniczne**

W ostatnich latach coraz większego znaczenia nabierają maszyny indukcyjne pracujące jako prądnice i nazywane prądnicami asynchronicznymi lub prądnicami indukcyjnymi. Dzięki swoim zaletom ruchowym i stosunkowo niskiej cenie prądnice asynchroniczne są obecnie podstawowym rodzajem prądnic stosowanych w elektrowniach wiatrowych jak również w małych elektrowniach wodnych.

W pierwszym etapie rozwoju energetyki wiatrowej, zadawano się zwykłym standardowym silnikiem indukcyjnym o mocy nie przekraczającej kilkuset kilowatów pracującym w reżymie pracy prądnicowej. Nowobudowane elektrownie wiatrowe mają coraz większe moce jednostkowe – dochodzące obecnie do kilku megawatów – tzw. klasa megawatowa elektrowni. To wyznacza moce znamionowe prądnic asynchronicznych przeznaczonych dla nowoczesnych elektrowni wiatrowych. Poza coraz większymi mocami znamionowymi od prądnic takich wymaga się maksymalnie możliwego technicznie – przy zachowaniu akceptowalnego kosztu – dostosowania prądnicy do specyfiki elektrowni wiatrowej. Chodzi tu m.in. o możliwość dostosowywania prędkości obrotowej pracującej prądnicy do zmieniającej się prędkości wiatru – stąd prądnice z wirnikiem klatkowym i przełączalną liczbą biegunów lub prądnice z wirnikiem pierścieniowym.