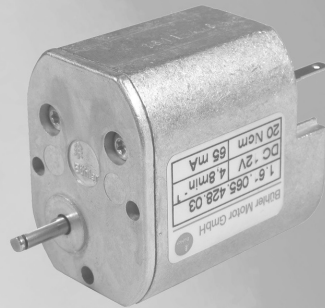
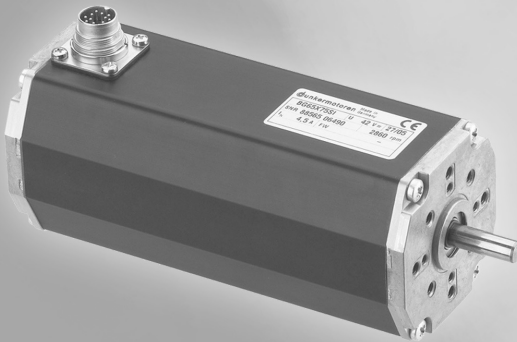


1

Informacje podstawowe



1.1. Podział silników elektrycznych

Jak działa silnik elektryczny

„Na przewodnik z prądem w polu magnetycznym działa siła F równa...” tyle mniej więcej każdy pamięta ze szkoły. Żeby zrobić silnik elektryczny, potrzebny jest nieruchomy stojan i osadzony na łożyskach wirnik, które będą spełniać warunki:

- a) któryś z tych elementów będzie przewodził prąd;
- b) któryś musi wytwarzać własne pole magnetyczne.

Żeby „to” chciało się kręcić, potrzebna jest cykliczna zmiana kierunku przepływu prądu lub zmiana orientacji i natężenia (wirowanie) pola magnetycznego. Takie minimum teorii wystarczy do zrozumienia działania większości silników elektrycznych.

Istnieje ponad sto rodzajów silników, różniących się zasadą pracy, budową i właściwościami. Niektóre rodzaje występują tylko w podręcznikach i próżno ich szukać w sklepach. Ponadto cały czas powstają nowe konstrukcje silników, wymykające się tradycyjnym metodom klasyfikacji. Podział na silniki prądu stałego i zmiennego przestał być wystarczający – w przypadku zastosowania elektronicznego modułu sterującego rodzaj zasilania ma znaczenie drugorzędne. Trudno też odpowiedzieć na pytanie: czy silnik z wirującym magnesem jest silnikiem prądu stałego czy zmiennego? W najnowszych klasyfikacjach spotyka się podział silników na trzy podstawowe grupy:

- **Silniki prądu stałego (DC)** – do tej grupy zaliczane są silniki komutatorowe:
 - z magnesem trwałym (PMDC),
 - szeregowy,
 - bocznikowy,
 - szeregowo-bocznikowy.
- **Silniki prądu zmiennego (AC)** – zaliczamy tu silniki zasilane bezpośrednio z sieci prądu przemiennego. Podział na grupy jest bardziej skomplikowany ze względu na różnorodność kryteriów.
 - *Silniki asynchroniczne* – ich rotory wirują z prędkością niższą od prędkości wirowania pola magnetycznego. Najpopularniejsze w tej grupie są indukcyjne silniki klatkowe:
 - 1-fazowy kondensatorowy,
 - 1-fazowy ze zwartą fazą rozruchową,
 - 1-fazowy z odłączanym uzwojeniem rozruchowym,
 - trójfazowy.
 - *Silniki synchroniczne* – ich rotory wirują z prędkością równą prędkości wirowania pola magnetycznego. Mogą być 1-fazowy lub trójfazowy. Dalszy podział silników synchronicznych wynika z ich konstrukcji (najczęściej reluktancyjne lub z wirującym magnesem).
 - *Silniki komutatorowe uniwersalne* – są to komutatorowe silniki szeregowy, konstrukcyjnie przystosowane do zasilania z 1-fazowej sieci prądu zmiennego.

- **Silniki ze sterowaniem impulsowym** (silniki z komutacją elektroniczną) – do tej grupy zaliczamy silniki, których działanie nie byłoby możliwe bez elektronicznych układów sterujących. Tradycyjnie silniki tej grupy były zaliczane do silników prądu stałego, najnowsze klasyfikacje wyodrębniły je jako osobny rodzaj. Najpopularniejsze to:
 - *Silniki krokowe* – ze względu na konstrukcję wyróżniamy silniki o zmiennej reaktancji, z magnesem trwałym, hybrydowe. Ze względu na sposób sterowania uzwojeń: silniki unipolarne i bipolarne. Daje to razem sześć różnych kombinacji konstrukcyjnych silników krokowych.
 - *Silniki bezszczotkowe z wirującym magnesem (BLDC)* – w nomenklaturze angielskiej są to silniki prądu stałego (*BrushLess DC*). O ile może to być uzasadnione w przypadku silników dwubiegunowych z czujnikami Halla, to zaliczanie do grupy DC wielobiegunowych silników trójfazowych z wirującym magnesem jest pewnym nieporozumieniem. Jednak wpływ literatury anglojęzycznej jest tak silny, że w polskich publikacjach bardzo często spotyka się nazwę „silnik bezszczotkowy prądu stałego”. W przypadku silnika z wbudowanym sterownikiem jest to o tyle uzasadnione, że z punktu widzenia użytkownika niczym się on nie różni od klasycznego silnika komutatorowego z magnesem trwałym.
 - *Silniki liniowe* – efektem działania silnika liniowego nie jest ruch obrotowy, lecz przemieszczenie liniowe. Konstrukcja tych silników (w dużym uproszczeniu) polega na „rozwinieciu” wirnika i stojana na płaszczyźnie.
 - *Silniki liniowe VCM* – nazwa angielska *Voice Coil Motor* doskonale oddaje zasadę działania tego silnika, zbliżoną do poruszania cewki głośnikowej w szczeliny magnesu. Przesunięcie liniowe tych silników zwykle nie przekracza 50 mm i bywają czasem nazywane siłownikami *Voice Coil Actuator (VCA)*.

Przedstawiony podział obejmuje tylko najbardziej popularne rodzaje silników i nawet w tym przypadku wymaga komentarza. W nazewnictwie stosowanym przez producentów występują często niejasności, wprowadzające w błąd czytelnika. Najczęściej popełniany błąd dotyczy mylenia silników AC komutatorowych i indukcyjnych jednofazowych. Obydwa określane są jako „1-fazowy silnik prądu zmiennego”, ale ich właściwości oraz sposób sterowania obrotami są zupełnie inne. Jeszcze gorzej jest w nazewnictwie w języku angielskim:

- Nazwa *AC induction motor* jest rzadko używana, spotyka się natomiast *asynchronous motor*, *cage motor* (silnik klatkowy) lub po prostu *AC motor*. Komutatorowy silnik uniwersalny to *Brush AC Motor*, ale w skrócie także *AC Motor*.
- *Brushless motor* – może tu chodzić o każdy rodzaj silnika AC lub DC niezawierającego szczotek. Nawet jeżeli jest *brushless AC motor*, to mamy do wyboru: silnik asynchroniczny indukcyjny, synchroniczny lub przemysłowy silnik tzw. serwo AC z wirującym magnesem.
- *DC Motor* – najczęściej chodzi o silnik szeregowy prądu stałego, ale może też być silnik komutatorowy z magnesem trwałym stojana (PMDC) lub silnik z wirującym magnesem (BLDC).

- *Linear motor* – silnik liniowy. Nazwa ta raczej nie jest używana do wymienionych wcześniej silników VCM, lecz do innych rodzajów silników liniowych. Uwaga: nazwa handlowa *linear stepmotor* lub *linear actuator* w 90% przypadków dotyczy „zwykłego” silnika krokowego z wbudowaną przekładnią śrubową, zamieniającą ruch obrotowy na posuwisty. Poza tym istnieją także silniki liniowe, będące rozwinięciem silników indukcyjnych AC – niekoniecznie pasujące do grupy silników z komutacją elektroniczną.

Żeby jeszcze bardziej wszystko skomplikować:

- Silnik krokowy zasilany napięciem sinusoidalnym dwufazowym lub trójfazowym praktycznie niczym się nie różni od silnika synchronicznego AC.
- Silnik BLDC także można zasilac przebiegiem sinusoidalnym, mamy wtedy sytuację jak wyżej.
- Wspomniany przebieg sinusoidalny może pochodzić z sieci energetycznej (ewentualnie z transformatora obniżającego napięcie), ale także może być „syntetyzowany” w elektronicznym sterowniku za pomocą modulacji PWM.
- Silniki liniowe mogą mieć różne zasady działania. Właściwie należałoby podzielić je na silniki liniowe AC, DC (np. silniki VCM) i komutowane elektronicznie (krokowe).
- Jak sklasyfikować jednofazowy silnik indukcyjny AC zasilany napięciem stałym z akumulatora za pośrednictwem falownika? Silnik AC z zasilaniem DC i z komutacją elektroniczną? Nie jest to przykład wydumany: wystarczy, że użytkownik komputera z zasilaczem UPS podłączy do tego zasilacza dodatkowo mały wentylator stołowy. Teraz wyjmujemy wtyczkę UPS z gniazdka sieciowego – i gotowe.

Ostatni przykład jest przewrotny – silnik bez elektronicznej otoczki nadal pozostaje silnikiem indukcyjnym AC – ale daje do myślenia. Szybki rozwój elektroniki, plus bałagan w klasyfikacji i nazewnictwie nie ułatwia poruszania się po publikacjach i katalogach producentów. Oczywiście istnieją normy międzynarodowe, precyzyjnie definiujące poszczególne rodzaje silników i wymagania, jakie powinny spełniać. Niestety dostęp do norm jest utrudniony ze względu na ich wysokie ceny. W publikacjach producentów i dystrybutorów względy marketingowe przeważają nad precyzyjnym językiem naukowym. Pozostaje tylko przyzwyczaić się do tego i bardzo uważnie czytać zamieszczone informacje, szczególnie te podane w kartach katalogowych najdrobniejszym drukiem.

1.2. Parametry silników

Podstawowe parametry silnika są zwykle podane na jego tabliczce znamionowej, pozostałe – np. moment rozruchowy, czy prąd rozruchowy – można znaleźć tylko w katalogach lub oszacować według właściwości poszczególnych rodzajów silników. Przy opisie parametrów podano też ich angielskie nazwy.

- *Moc znamionowa (nominal power)*: podawana jest moc elektryczna w watach, tzn. pobierana przez silnik podczas pracy z normalną prędkością obrotową. Moc mechaniczna (tzw. moc na wale) jest mniejsza i zależy od sprawności silnika (typowo 40...80%).

- *Napięcie zasilania (supply voltage)*: znamionowa wartość napięcia zasilającego (stałego lub zmiennego), przy której określone są inne parametry. Większość silników może być zasilana napięciem niższym (minimalnie od 5% U_z dla silników komutatorowych i od 70% U_z dla indukcyjnych), nie należy stosować napięć dużo wyższych od znamionowego (maksimum +15%).
- *Moment obrotowy (nominal torque)*: jest to siła z jaką silnik potrafi kręcić obciążeniem. Podawany w Nm (niuton · metr). Typowe wartości dla małych silników: od 0,01 do 50 Nm. Dla większości rodzajów silników występuje zależność (niekoniecznie liniowa) momentu obrotowego i natężenia prądu pobieranego przez silnik.
- *Moment rozruchowy (initial torque, starting torque)*: bardzo ważny parametr, informujący o tym czy silnik jest w stanie wystartować pod obciążeniem. Może być podany w Nm lub w procentach momentu obrotowego. W zależności od rodzaju silnika moment rozruchowy może być mały (do 150%), średni (150...250%) lub duży (powyżej 250%). Moment rozruchowy może być parametrem decydującym o przydatności silnika do określonych zastosowań. Najmniejsze wymagania stawia napęd wentylatorów – obciążenie startowe jest zerowe i rośnie z kwadratem prędkości obrotowej, można zastosować nawet silnik z momentem rozruchowym niższym od 100%. Najtrudniejsze warunki rozruchu występują w napędach sprzężarek, dźwigów oraz pojazdów.
- *Obroty znamionowe (rotation speed, rpm – revolutions per minute)*: zawsze podawane są obroty w normalnych warunkach pracy, tzn. przy znamionowym obciążeniu i napięciu zasilania. Obroty silników mogą zawierać się w granicach 100...100000 obr./min, ale najczęściej spotykane wartości to 1000...4000 obr./min. Dla silników prądu zmiennego podaje się obroty przy określonej częstotliwości napięcia sieci (50 lub 60 Hz). Nie podaje się obrotów znamionowych dla silników krokowych, zamiast tego mogą wystąpić obroty maksymalne lub dopuszczalna częstotliwość impulsów.
- *Prąd znamionowy i prąd rozruchowy (nominal current, initial current)*: prąd znamionowy to jest pobór prądu w normalnych warunkach pracy. Prąd rozruchowy występuje w czasie rozpędzania silnika i jest 2...8-krotnie większy od prądu znamionowego (największe prądy rozruchowe mają silniki indukcyjne). Warto o tym pamiętać projektując układ sterowania i zasilania silnika. Prąd rozruchowy nie występuje w silnikach ze sterowaniem impulsowym.
- *Kierunek obrotów (direction of revolution)*: parametr dotyczy przede wszystkim silników komutatorowych szeregowych oraz niektórych indukcyjnych 1-fazowych. Dla tych silników lewy lub prawy kierunek obrotów jest wymuszony przez konstrukcję silnika.
- *Konstrukcja mechaniczna*: wymiary, ciężar, średnica wału, mocowania, rodzaj łożysk wirnika itp.
- *Konstrukcja obudowy, chłodzenie*: spotykane są silniki o konstrukcji otwartej (uzwojenia dostępne z zewnątrz) lub zamkniętej (silnik całkowicie obudowany). W silnikach o konstrukcji otwartej często jest wymagane chłodzenie strumieniem

powietrza – na przykład silnik odkurzacza, wiertarki). Obudowy silników mają klasy ochrony przed dostępem i przed wilgocią – od IP00 (brak ochrony) do IP68 (wodo- i pyłoszczelna).

Istnieją także parametry specyficzne dla poszczególnych rodzajów silników, będą one omówione w kolejnych rozdziałach.