

Znany każdemu licznik energii elektrycznej jest maszyną indukcyjną. Liczniki dzielą się na jednofazowe i trójfazowe, zależnie od instalacji, oraz jednotaryfowe i dwutaryfowe, na tzw. prąd nocny. Co prawda wersje elektro-mechaniczne są powoli zastępowane modelami elektronicznymi, lecz liczniki indukcyjne pozostaną z nami jeszcze długo. Ich wskazania są podstawą do obliczania należności za energię elektryczną.

Marek Utkin

JEDNOFAZOWY LICZNIK INDUKCYJNY

TEORIA

Czy magnes może przyciągać lub odpychać aluminium lub miedź? Dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej - może: zmienne pole magnetyczne tworzy w przewodniku (także jeśli nie jest on ferromagnetykiem) prądy, a prąd, jak wiadomo, wytwarza pole elektromagnetyczne i na to pole oddziałują elektromagnes. Właśnie to zjawisko wykorzystywane jest szeroko w licznikach energii.

BUDOWA I DZIAŁANIE

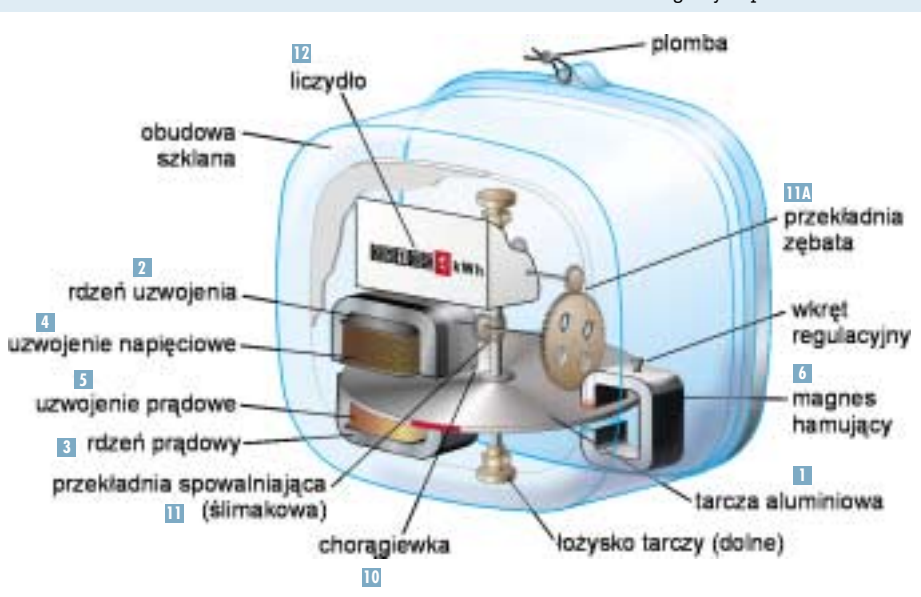
To, na co zwraca się w pierwszym rzędzie uwagę przy oglądaniu pracującego licznika, to kręcąca się

tarcza aluminiowa (1) stanowiąca wirnik, umieszczona w szczelinie między rdzeniem napięciowym (2) i rdzeniem prądowym (3). Rdzenie wykonane są z blach transformatorowych. Kształty rdzeni są u poszczególnych producentów różne. Istnieje jednak ogólna

zasada, że cewka napięciowa (4), wykonana z cienkich przewodów o dużej liczbie zwojów, wytwarza strumień magnetyczny (zwany napięciowym) przenikający tarczę równoległą do osi tarczy, zaś cewka prądowa (5), wykonana z grubych przewodów o małej liczbie zwojów, wytwarza strumień magnetyczny (zwany prądowym) przenikający tarczę przeciwnych kierunkach, także równoległą do osi, ale w innych miejscach niż strumień napięciowy.

Oba rdzenie - prądowy i napięciowy - umieszczone są blisko brzegu tarczy aluminiowej. Tarcza jest osadzona na ułożyskowanej osi połączonej przekładnią ślimakową (11) oraz zębatą (11A) z liczydłem (12) o co najmniej sześciu bębnoch cyfrowych.

Strumienie magnetyczne przenikając przez tarczę, indukują w niej siły elektromotoryczne, które z kolei powodują powstanie w tarczy prądów wirowych. Współdziałanie indukowanych prądów wirowych ze



Liczniki stosuje się też do kontroli zużycia energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych, zakładach przemysłowych, itp. Ze względu na to, że na wskazaniach liczników oparte są świadczenia pieniężne, budowa i eksploatacja liczników podlega w Polsce przepisom Polskiego Komitetu Normalizacji (PKN). Pobór energii z pominięciem licznika może być karany nie tylko grzywną pieniężną, ale nawet karą pozbawienia wolności.

Ołśniewająco pomysłowe zastosowanie praw indukcji elektromagnetycznej

strumieniami magnetycznymi przesuniętymi względem siebie w przestrzeni powoduje powstanie momentu napędowego wprawiającego tarczę w ruch.

W konstrukcji licznika nie stosuje się sprężyn, dzięki czemu kąt obrotu wskaźnika (czyli - w tym wypadku - tarczy) nie jest ograniczony jak w miernikach elektrycznych. Dlatego też tarcza wskutek działania momentu napędowego obraca się w sposób ciągły. Moment napędowy równoważony jest momentem hamującym. Moment hamujący uzyskiwany jest za pomocą magnesu trwałego (13). Magnes trwały powoduje powstanie w obracającej się tarczy prądów wirowych, które współdziałając ze strumieniem magnetycznym, działają hamująco. Hamowanie jest proporcjonalne do prędkości obrotowej tarczy. Przy stałym poborze prądu momenty - napędowy i hamujący, równoważą się, co sprawia, że tarcza obraca się ruchem jednostajnym.

Obroty tarczy przekazywane są na liczydło (12) za pośrednictwem ślimaka (11) umieszczonego na osi oraz kół zębatach (11A). Przekładnia kół jest dobrana w taki sposób, że licznik wskazuje energię bezpośrednio w kWh.

Moment tarcia w łożyskach i liczydło działa hamująco na obroty i powinien być jak najmniejszy.

Napięcie w sieci jest na ogół stabilne, lecz przy wzroście napięcia sieci moment napędowy może przyjąć tak dużą wartość, że uruchomi tarczę licznika, mimo że przez cewkę prądową nie płynie prąd (czyli odbiorca nie pobiera energii). To zjawisko nazywane biegiem jałowym licznika jest zjawiskiem niepożądanym i zapobiega mu tzw. chorągiewka hamująca (10). To wygięty kawałek drutu stalowego umocowany prostopadłe do

osi tarczy. Kiedy ta obraca się, wolny koniec drutu przesuwa się obok stalowej blaszki (języczka) przymocowanej do rdzenia i namagnesowanej przez strumień rozproszenia obwodu napięciowego. Blaszka przyciąga drut stalowy i hamuje tarczę. Moment hamujący zależy od napięcia tak samo jak moment dodatkowy. Zapewnia to skuteczne działanie chorągiewki hamującej.

Przy obciążeniu licznika hamowanie chorągiewki nie zmienia średniej prędkości tarczy, gdyż przy zbliżeniu się chorągiewki do języczka następuje przyspieszenie ruchu obrotowego, a przy oddalaniu opóźnienie. Chorągiewka powinna być tak umocowana, aby przy zatrzymanej tarczy czerwony znak na tarczy był widoczny w okienku licznika.

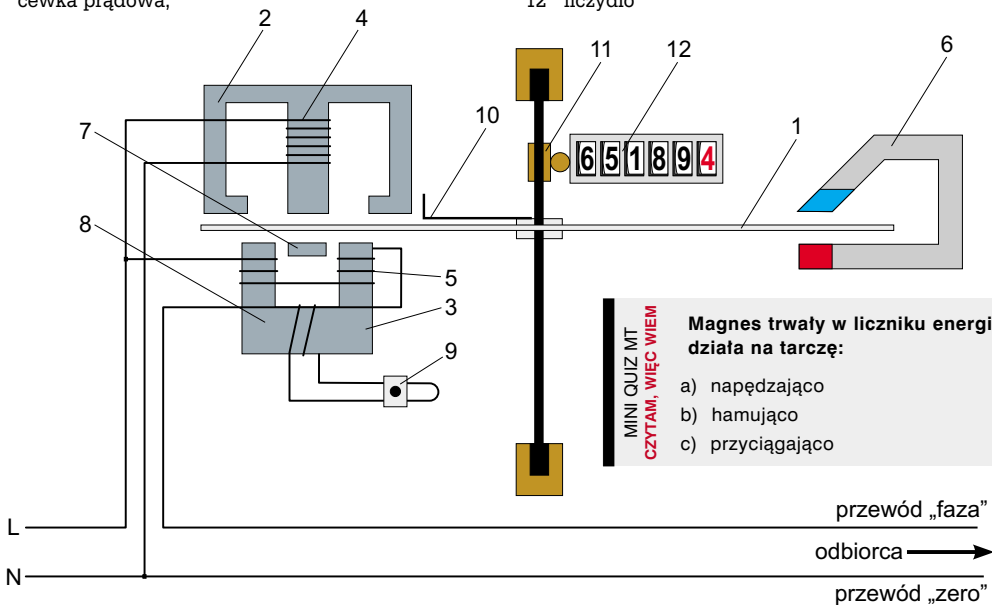
LICZNIKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z NADAJNIKIEM IMPULSÓW

Klasyczne liczniki indukcyjne wymagają bezpośredniego odczytu wskazań z liczydła w celu obliczenia opłat za korzystanie z energii elektrycznej. Eliminują to liczniki indukcyjne wyposażone w nadajnik impulsów. Tarcza takiego licznika zawiera na obwodzie otwory, przez które światło z diody elektroluminescencyjnej przechodzi do fototranzystora. Przy obracaniu tarczy powstają impulsy, które po odpowiednim uformowaniu pozwalają na przeprowadzenie zdalnych pomiarów i na bieżącą kontrolę poboru energii elektrycznej.

Uproszczony schemat jednofazowego licznika indukcyjnego:

- 1 tarcza aluminiowa,
- 2 rdzeń napięciowy,
- 3 rdzeń prądowy,
- 4 cewka napięciowa,
- 5 cewka prądowa,

- 6 magnes hamujący,
- 7 bocznik magnetyczny,
- 8 zwoje zwarte,
- 9 zwora do regulacji rezystancji zwojów zwartych,
- 10 chorągiewka hamująca,
- 11 przekładnia ślimakowa,
- 12 liczydło



MINI QUIZ MT CZYTAJ, WIEC WIEJ

- Magnes trwały w liczniku energii działa na tarczę:**
- a) napędzająco
 - b) hamująco
 - c) przyciągająco

BUDOWA

Obudowa licznika musi być szczelna na kurz. Musi ona być tak plombowana, względnie pieczętowana, aby wewnętrzne części licznika były dostępne tylko po usunięciu **plomby**, względnie pieczęci. Pokrywa licznika musi być takiego rodzaju, aby nie mogła zostać otwarta bez użycia jakiegoś narzędzia.

W dolnej części obudowy znajduje się **skrzynka zaciskowa** zapewniająca dużą wytrzymałość dielektryczną i mechaniczną. Skrzynka zaciskowa zawiera zaciski pozwalające na przyłączenie instalacji zewnętrznej. Oslona skrzynki zaciskowej uniemożliwia dostęp do zacisków licznika przez osoby niepowołane.

Rama nośna jest odlewem aluminiowym stanowiącym element nośny dla głównych podzespołów licznika: organów napędowych, organu hamującego, liczydła, ułożyskowania wirnika, regulacji itp.

Organ napędowy składa się z elektromagnesów: napięciowego i prądowego, zamontowanych bezpośrednio do ramy nośnej.

Organ hamujący składa się z dwóch kształtek magnetycznych, wykonanych ze stopu alnico, połączonych stabilnie stopem aluminiowym. Na kostce magnesu znajduje się wkładka termokompensacyjna. Stanowi ona bocznik magnetyczny i zapewnia prawidłową pracę magnesu w dużym zakresie temperatur. Pod dolną kształtką magnetyczną znajduje się wkręt do płynnej regulacji momentu hamującego.

W szczelinach powietrznych organów napędowych i organu hamującego obraca się **wirnik**. Wirnik licznika stanowi oś z zamocowaną na niej tarczą. Tarcza wykonana jest z aluminium. Na obwodzie tarczy

LEKSYKON

Indukcja elektromagnetyczna

Zjawisko powstawania prądu w obwodzie, przez który przechodzi zmienny strumień indukcji magnetycznej, nazywamy indukcją elektromagnetyczną. Powstający w wyniku tego zjawiska prąd nazywamy prądem indukcyjnym. Prąd indukcyjny płynie zawsze w takim kierunku, aby jego własne pole magnetyczne przeciwdziałało się zmianom strumienia magnetycznego, wskutek których powstał.

Dzięki temu zjawisku zmiana biegunowości na wejściu licznika nie powoduje zmiany kierunku wirowania, ponieważ zmienia się kierunek prądu zarówno w cewce prądowej, jak i napięciowej. Jednak połączenie licznika odwrotnie niż jest to oznaczone pozwala na kradzież energii elektrycznej poprzez dołączenie odbiornika pomiędzy fazę i ziemię, ponieważ w takim przypadku prąd odbiornika płynie od fazy do uziemionego punktu.

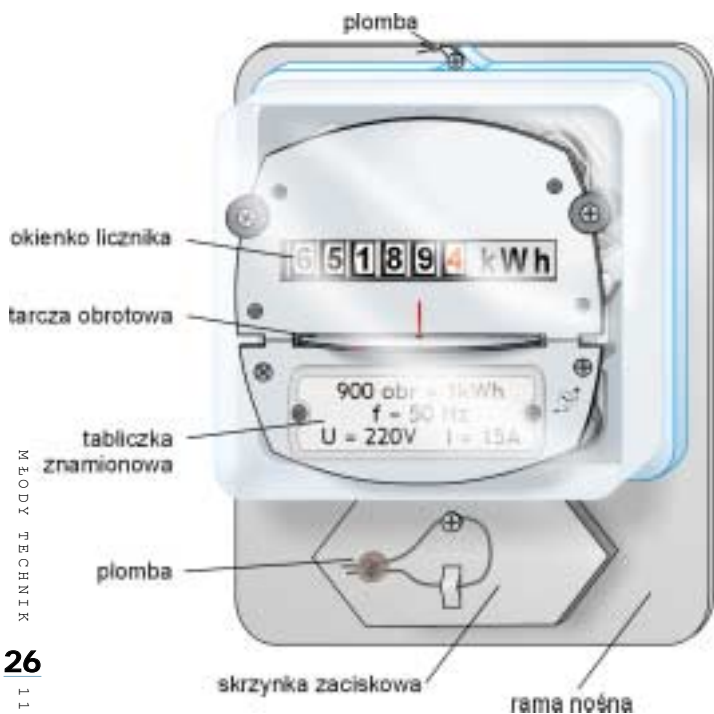
Mierniki indukcyjne

Mierniki z urządzeniem indukcyjnym to przede wszystkim watomierze i liczniki energii. Podstawową częścią takiego ustroju jest specjalny obwód magnetyczny wykonany z blach transformatorowych z nawiniętymi cewkami obwodu prądowego i napięciowego oraz obracającej się na osi tarczy i bębna. Tarcza powinna być wykonana z materiału dobrze przewodzącego prąd np. aluminium, ponieważ pod wpływem pola magnetycznego wytworzonego w cewkach indukują się w niej prądy wirowe. Współdziałanie strumieni magnetycznych - pochodzących od cewek napięciowej i prądowej - oraz prądów wirowych powoduje wytworzenie momentu napędowego. Dwa sinusoidalnie zmienne w czasie strumienie magnetyczne, przesunięte w czasie i przestrzeni, indukują w tarczy prądy wirowe - powodując tym samym jej obrót.

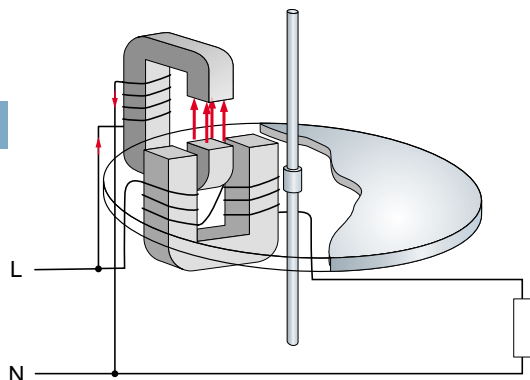
nacinane są zębki, które mogą być wykorzystane przy wzorcowaniu licznika. Ponadto, na tarczy znajduje się barwny znak pozwalający na zliczanie obrotów wirnika oraz podziałka kątowna, umożliwiająca bezpośrednie odczytanie błędów licznika przy wzorcowaniu.

Wirnik licznika osadzony jest w **łożyskach**. Łożysko górne (typu szybkowego) stanowi iglica ze stali nierdzewnej, która współpracuje z prowadnicą wirnika. Łożysko dolne dwukamieniowe składa się z dwóch kamieni wykonanych z szafiru syntetycznego, między którymi znajduje się luźno osadzona kulka wykonana z twardej stali. Łożysko posiada podporę sprężynową zabezpieczającą je przed wstrząsami. Taka konstrukcja ułożyskowania zapewnia długotrwałą i stabilną pracę licznika. Obydwa łożyska mocowane są do ramy za pomocą wkręta dociskowego

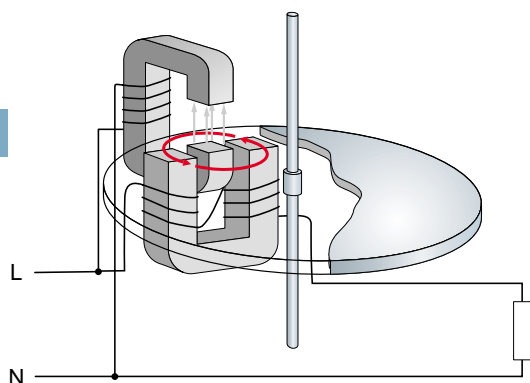
Układem odczytowym powinno być albo urządzenie bębnowe, albo urządzenie wskazówkowe. Jednostką odczytu musi być kilowatogodzina. Jedno z cyfrowanych kół liczydła wskazówkowego, względnie jeden z bębnowych cyfr, które wskazuje dziesiątą część jednostki odczytu (kWh), musi być kolorowo obramowane lub kolorowo wykonane.



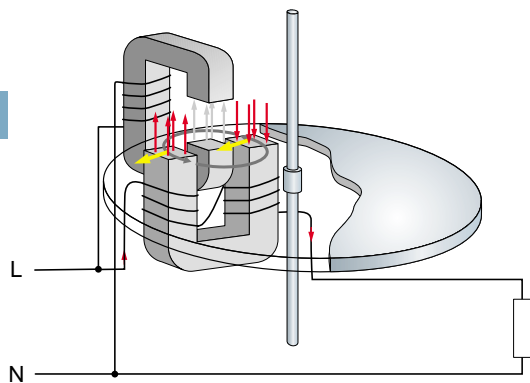
1



2



3



POD LUPĄ

Dlaczego tarcza się obraca? Dlaczego w tę akurat stronę?

- 1 W liczniku energii elektrycznej mamy do czynienia z prądem zmiennym. Dla uproszczenia rozważań sprawdzimy, skąd pojawia się moment napędowy w chwili, gdy prąd przepływa od L do N. Uzwojenie napięciowe wytwarza zmienny strumień magnetyczny o kierunku prostopadłym do tarczy.
- 2 Strumień ten indukuje w tarczy prądy wirowe o kierunku przepływu przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.
- 3 Teraz czas na przypomnienie lekcji fizyki. Pamiętacie, jak zachowuje się przewodnik, przez który przepływa prąd w polu magnetycznym? Jest z niego wypychany zgodnie z regułą trzech palców. Interesujące nas pole magnetyczne wytwarza uzwojenie prądowe, a przewodnik... to nasza tarcza. Sprawdźcie nas, czy aby na pewno nie pomyliliśmy kierunków... zgadza się? To teraz już wiecie, skąd pojawia się w tarczy moment napędowy?

Tak właśnie mają się sprawy w chwili, gdy prąd przepływa od L do N. Ponieważ jednak mamy do czynienia z prądem zmiennym, zmieniają się (z częstotliwością 50 Hz) kierunki przepływu prądu w obu uzwojeniach, zwroty strumieni magnetycznych i prądów wirowych. Niezmienny jednak pozostaje kierunek powstającego momentu napędowego.

Warto zauważyć, że gdy zabraknie strumienia od uzwojenia prądowego (np. wtedy gdy nie zużywamy energii elektrycznej), uzwojenie napięciowe oddziaływując na prądy wirowe w tarczy, hamuje ją zupełnie tak samo jak magnes hamujący. Wyjaśnia to jednocześnie, jak działa sprzęgło magnetyczne opisane obok. ●

SPRZĘGŁA INDUKCYJNE MAGNADRIVE

Marek Utkin

OBNIŻONE KOSZTY KONSERWACJI

Sprzęgła i urządzenia magnetyczne przenoszące siłę napędową firmy MagnaDrive mogą zmniejszyć zapotrzebowanie na energię i obniżyć koszty pracy zakładów, w których pracują liczne silniki napędzające pompy, wentylatory, dmuchawy itp. W samych Stanach Zjednoczonych zastosowanie tego typu systemów przeniesienia napędu może, szacunkowo, pomóc w zaoszczędzeniu dwóch miliardów kilowatogodzin elektryczności rocznie, bez konieczności ograniczania produkcji.

W sprzęgłach magnetycznych MagnaDrive połączenie mechaniczne pomiędzy silnikami i urządzeniami napędzanymi jest zastąpione szczeliną powietrzną. Szczelina ta eliminuje szkodliwe wibracje, zmniejsza zużycie części, zwiększa doskonałość energetyczną, przedłuża życie silników i chroni sprzęt przed uszkodzeniami spowodowanymi przeciążeniem. Dzięki szczelinie powietrznej silnik i urządzenie napędzane nie stykają się mechanicznie. Pozwala to na zwiększenie niezawodności i zmniejsza potrzebę konserwacji.

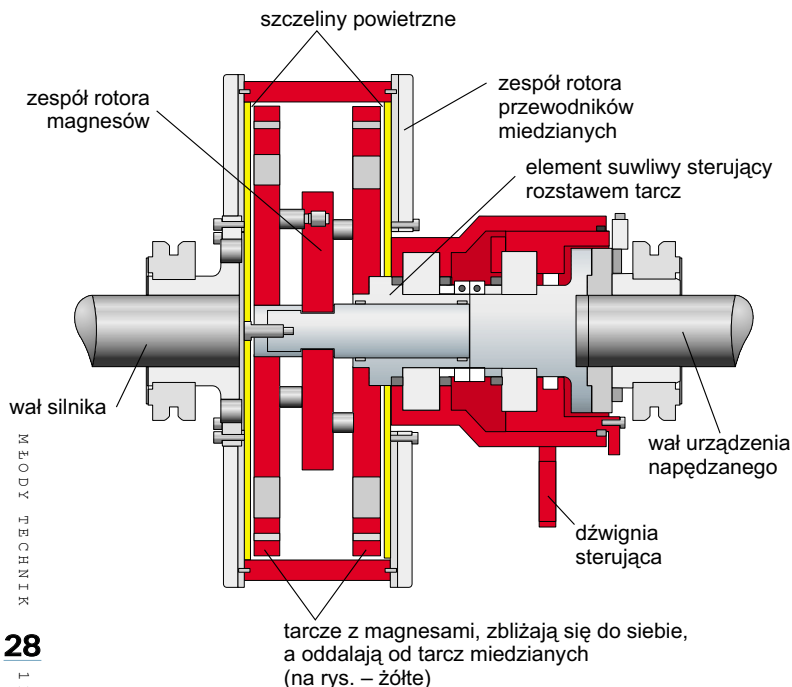
W sprzęcie, w którym występuje ruch obrotowy, ponad 80% uszkodzeń jest spowodowanych wibracjami. Drgania rozhermetyzowują uszczelnienia i podnoszą temperaturę pracy łożysk oraz całych urządzeń. Badania wykazują, że od 50% do 60% drgań uszkodzających maszyny jest wynikiem niedokładnego spasowania (niewspółosiowości) wału. Od 30% do 40% szkodliwych drgań powstaje na skutek złego wyważenia sprzętu, a ponad 20% jest wynikiem rezonansu.

Sprzęgła MagnaDrive redukują drgania dzięki przeniesieniu momentu obrotowego przez szczelinę powietrzną, eliminując połączenie mechaniczne połączenia mechanicznego. Szczelina powietrzna jest szeroka na co najmniej 3,2 mm.

Dokładne spasowanie wału silnika w jednej linii z wałem urządzenia napędzanego, czyli zapewnienie idealnej współosiowości, wymaga stosowania specjalistycznych urządzeń laserowych, jest kosztowne i stanowi znaczącą sumę zarówno w trakcie instalowania,

jak i podczas konserwacji sprzętu. Typowe tolerancje dla współosiowości wału wynoszą 0,05 mm lub mniej. Sprzęgło magnetyczne ASD (Adjustable Speed Drive, napęd o zmiennej prędkości) MagnaDrive toleruje błędy wartości 5,08 mm bez powodowania jakichkolwiek wibracji. Dopasowanie na podstawie obserwacji bezpośredniej to wszystko, czego wymaga system ASD.

Ponieważ wały silnika i urządzenia napędzanego nie są fizycznie połączone, liczba ewentualnych problemów występujących w systemie znacznie się zmniejsza. System napędowy pracuje z inną prędkością niż napędzane urządzenia i drgania nie przenoszą się z wału na wał. Dzięki temu łatwiej jest wyodrębnić poszczególne problemy z systemem napędowym, często bez konieczności zatrudniania specjalistów i posługiwania się specjalistycznym sprzętem diagnostycznym.





PRACA

Sprzęgło MagnaDrive ASD w położeniu „rozłączone” umożliwia miękki start i miękkie zatrzymanie. Włączanie i wyłączanie silnika odłączonego od napędzanego sprzętu i powolne zasprzęglanie i wysprzęglanie obciążenia obniża naprężenia i efekty zmęczenia w konstrukcji, ogranicza także pobór prądu przy starcie oraz zmniejsza przegrzewanie silnika, zanim nie nabierze on prędkości. Miękki start redukuje także uderzenia wody powodujące uszkodzenia rur, a w rezultacie - podwyższone koszty konserwacji w systemach hydroforowych.

W porównaniu z elektronicznymi lub elektromechanicznymi systemami sterującymi prędkością silników za pomocą zmieniania częstotliwości czas życia silnika połączonego z odbiornikiem za pomocą sprzęgła MagnaDrive jest wydłużony, gdyż silnik działa blisko swej prędkości synchronicznej, co maksymalizuje wydajność chłodzenia. Przegrzewanie silników, występujące w systemach konwencjonalnych, powoduje pogorszenie izolacji elektrycznej uzwojeń, co prowadzi do ich przedwczesnego uszkodzenia. W dodatku systemy sterujące prędkością pracy silników za pomocą zmiany częstotliwości generują częstotliwości harmoniczne, stwarzające problemy, jak również mogą przegrzewać uzwojenia silników. System MagnaDrive ASD nie generuje elektronicznych harmonicznych i może być zamontowany do każdego silnika.

Jeśli idzie o wydajność energetyczną, zastosowanie sprzęgieł magnetycznych pozwala na uzyskanie od 25% do 66% oszczędności energii.

ZASTOSOWANIE

Adjustable Speed Drive (ASD), napęd o zmiennej prędkości, nadaje się idealnie do pomp, wentylatorów, dmuchaw, pozwalając na sterowanie ich prędkością obrotową. Prosty, niezawodny i relatywnie niedrogi system ASD zapewnia także oszczędność energii, kontrolę prędkości i obniżenie komplikacji urządzeń. Po zastosowaniu sprzęgieł ASD większość silników można zastąpić modelami o mniejszej mocy znamionowej (brak konieczności startu pod obciążeniem), co znakomicie zmniejsza zużycie energii.

Rodzina sprzęgieł MagnaDrive jest przeznaczona do silników stosowanych w przemyśle, o mocach od 15 kW (20 KM) do 750 kW (1000 KM). Sprzęgła MagnaDrive są niemal całkowicie bezobsługowe, gdyż wymaga-



ją jedynie corocznego przeglądu, który może być przeprowadzony w czasie pracy urządzenia. W sytuacjach przeciążenia sprzęgła magnetyczne automatycznie rozłączają się i chronią przed zniszczeniem silnik i urządzenie napędzane. W momencie, gdy przyczyna wzrostu obciążenia zostaje usunięta, sprzęgło automatycznie podejmuje przerwana pracę.

System MagnaDrive ASD jest obecnie instalowany w papierniach, stacjach pomp, oczyszczalniach ścieków, zakładach przetwarzania rud, irygacji, przy wytwarzaniu energii, w górnictwie i produkcji żywności.

Napęd MagnaDrive ASD składa się z trzech elementów podstawowych:

- Połączonego z silnikiem zespołu rotorów z przewodnikiem miedzianym.
- Połączonego z urządzeniem napędzanym zespołu rotora z magnesami z metali ziem rzadkich.
- Elementów sterujących szerokością szczeliny powietrznej pomiędzy rotorem z magnesami a rotorami z przewodnikiem.

Ruch zespołów rotora z przewodnikami miedzianymi względem rotora z zespołem magnesów indukują silne połączenie magnetyczne przez szczelinę powietrzną. Zmianianie szerokości szczeliny powietrznej pomiędzy rotorem z magnesami a rotorami z przewodnikami miedzianymi daje w rezultacie możliwość sterowania prędkością obrotową na wyjściu. Prędkość wyjściowa jest regulowana, sterowalna, a jej wartości - powtarzalne.

MAGNADRIWE ASD W PRZEKROJU

Zasada indukcji elektromagnetycznej wymaga ruchu pomiędzy magnesem (a raczej polem magnetycznym) a przewodnikiem. Oznacza to, iż prędkość na wyjściu jest zawsze mniejsza niż prędkość na wejściu. Różnicę prędkości określa się m.in. terminem „poślizg” (brak synchroniczności). Zazwyczaj, gdy MagnaDrive ASD pracuje przy pełnej prędkości znamionowej, poślizg wynosi od 1% do 4%.

Moment obrotowy na wyjściu MagnaDrive ASD jest zawsze równy momentowi wejściowemu. Od silnika wymaga się jedynie zapewnienia momentu obrotowego wymagane go przez urządzenie napędzane. Wydajność systemu oblicza się, dzieląc prędkość na wyjściu (prędkość urządzenia napędzanego) przez prędkość na wejściu (prędkość silnika).

System MagnaDrive jest chroniony 16 patentami.

O MAGNESACH

Magnesy trwałe z metali ziem rzadkich stanowią obecnie ważną część naszego życia codziennego, służąc jako ważne części urządzeń, od silników elektrycznych, komputerów, sprzętu wytwórczego, na samochodach kończąc. Są one wytwarzane z kombinacji neodymu, żelaza i boru (NdFeB). Są nazywane magnesami z ziem rzadkich, ponieważ neodym znajduje się w części ziem rzadkich tablicy Mendelejewa. Metale ziem rzadkich, takie jak neodym, zyskały tę nazwę, po-

nieważ uważano, iż występują one niezwykle rzadko w płaszczu Ziemi. Przyczyną rzadkości występowania tych pierwiastków jest ich połączenie z powszechnie spotykanymi minerałami. Obecnie uważa się, że wiele z nich występuje tak powszechnie jak srebro.

Technologia ziem rzadkich jest najnowszą częścią, dodaną do metod wytwarzania magnesów trwałych o dużej sile działania, i powstała w latach 80. Magnesy NdFeB wytwarzają najsilniejsze pole magnetyczne ze wszystkich magnesów trwałych, umożliwiając wytwarzanie niewielkich urządzeń przenoszących wysokie momenty, jak opisywane sprzęgła magnetyczne. Magnesy NdFeB mogą pracować bez utraty trwałości w temperaturze 150°C, a ich połowiczna długość życia wynosi ponad 20 000 lat. ●

