ENGINEERING
TOMORROW

Podręcznik projektowania Gospodarka Wodna i Wodno-ściekowa

Projektowanie obiektów oraz aplikacji napędowych

4 kroki

....do zapewnienia bezpieczeństwa instalacji. Danfoss służy wsparciem w procesie projektowania instalacji, dzięki swojemu wieloletniemu doświadczeniu

www.danfoss.com/drives

VLT® THE REAL DRIVE

Lista kontrolna zamieszczona na końcu niniejszego podręcznika pomaga użytkownikom w osiągnięciu optymalnych rezultatów w procesie projektowania.

Spis treści

Wsparcie projektowe **6**

Część 1: Informacje podstawowe **8**
Redukcja kosztów i poprawa komfortu użytkowania 8
Regulacja prędkości ma bezpośredni wpływ na oszczędność energii 9
Poprawa efektywności ekonomicznej 10
Osiąganie oszczędności w praktyce 11

Część 2: Cztery kroki do zoptymalizowania pracy systemu **12**

Krok 1: Zagadnienia dotyczące sieci elektrycznej prądu zmiennego AC **12**
Rozpoznanie konfiguracji istniejącej sieci zasilającej

Zagadnienia dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (ang. EMC - electromagnetic compatibility) **13**
Oddziaływanie pól elektromagnetycznych to zjawiska dwukierunkowe
Odpowiedzialność leży po stronie operatora
Dwa możliwe sposoby redukcji zakłóceń
Różnica między zakłóceniami przewodzonymi, a zakłóceniami promieniowanymi 14
Mechanizmy sprzężeń pomiędzy obwodami elektrycznymi
Sprzężenie przewodzone
Sprzężenie pojemnościowe
Sprzężenie promieniowane

Zagadnienia dotyczące jakości sieci zasilającej **15**
Zakłócenia sieci zasilającej o niskiej częstotliwości
Zagrożenia dla sieci zasilającej
Jakość uregulowana przepisami prawnymi
W jaki sposób pojawiają się zakłócenia ?

Zagadnienia dotyczące zakłóceń o niskiej częstotliwości w sieci zasilającej **16**
Skutki zakłóceń sieci zasilającej
Ostrzeżenia o zbyt niskim napięciu
Wyższe straty
Czy dostępne są przetwornice częstotliwości wolne od zakłóceń ?
Analiza zakłóceń sieci zasilającej

Zagadnienia dotyczące redukcji zakłóceń zasilania **17**
Możliwe sposoby redukcji zakłóceń zasilania
Dławiki na wejściu albo w obwodzie DC przetwornicy częstotliwości
Prostowniki 12-, 18- lub 24-pulsowe
Filtry pasywne
Zalety filtrów pasywnych
Wady filtrów pasywnych
Filtry aktywne 18
Zalety filtrów aktywnych
Wady filtrów aktywnych
Prąd oraz spektrum odkształceń przy pełnym obciążeniu
Obwody pośredniczące DC typu „slim“ 19
Napędy Active Front End
Zalety napędów AFE 20
Wady napędów AFE

Zagadnienia dotyczące zakłóceń o wysokich częstotliwościach (RFI) **21**
Zakłócenia o częstotliwościach radiowych
Standardy oraz limity zdefiniowane w normach

Zagadnienia dotyczące środowisk pierwszego i drugiego **22**
Miejsce użytkowania jest czynnikiem decydującym
Środowisko 1. / Klasa B: Środowisko mieszkalne
Środowisko 2./ Klasa A: Środowisko przemysłowe
Środowisko specjalne
Bez kompromisów

Zagadnienia dotyczące ochrony sieci zasilającej **23**
Korekcja współczynnika mocy
Stany nieustalone w sieci zasilającej

Zagadnienia dotyczące pracy z transformatorem lub generatorem rezerwowym **24**
Maksymalne wykorzystanie transformatora
Obciążenie transformatorów
Jakość energii elektrycznej
Praca z generatorem rezerwowym

Spis treści

Krok 2: Zagadnienia dotyczące warunków środowiskowych i otoczenia **25**
Właściwa lokalizacja instalacji
Instalacja w szafie rozdzielczej, a instalacja na ścianie

Zagadnienia dotyczące klasy ochronności IP **26**
Klasyfikacja ochrony wg IP, na podstawie normy IEC 60529

Zagadnienia dotyczące projektowania systemu chłodzenia **27**
Zgodność z wytycznymi dotyczącymi temperatury otoczenia
Chłodzenie
Wilgotność względna

Zagadnienia związane ze specjalnymi warunkami użytkowania **28**
Wymagające warunki środowiska i obecność gazów
Narażenie na kurz i pył 29
Ograniczone chłodzenie
Wentylatory chłodzenia
Maty filtrujące

Zagadnienia dotyczące pracy w środowisku grożącym wybuchem **30**
Środowiska grożące wybuchem

Krok 3: Zagadnienia dotyczące silników i okablowania **31**
Minimalne klasy sprawności silników
Wymagany minimalny poziom sprawności
Klasy IE oraz Eff: główne różnice
Trójfazowe silniki objęte klasyfikacją

Zagadnienia dotyczące klasyfikacji IE silników **32**
Harmonogram wdrażania MEPS
Zgodność ze wytycznymi dotyczącymi wymiarowania - standard EN 50347
Efektywność ekonomiczna

Zagadnienia dotyczące silników EC oraz PM **33**
Wiele nazw dla tej samej technologii
Technologia
Wysoka sprawność
Koncepcja EC+ firmy Danfoss
Praca w trybie nadsynchronicznym 34
Standardowa obudowa IEC

Zagadnienia dotyczące doboru odpowiedniego silnika do pracy z przetwornicą częstotliwości **35**
Kryteria doboru
Obciążenia izolacji
Zagrożenia łożysk
Naprężenia termiczne

Zagadnienia dotyczące filtrów wyjściowych **36**
Filtry fal sinusoidalnych oraz filtry dU / dt
Funkcje i zadania filtrów sinusoidalnych
Kiedy stosowane są filtry sinusoidalne ?
Modernizacja

Zagadnienia dotyczące okablowania silnika **37**
Napięcie znamionowe
Przekroje kabli
Długość okablowania silnika
Oszczędność energii
Ekranowanie kabli

Zagadnienia dotyczące uziemienia **38**
Znaczenie uziemienia
Materiały przewodzące prąd elektryczny
Instalacja uziemiająca dla konfiguracji gwiazda
Punkty styku
Powierzchnia przewodzenia

Zagadnienia dotyczące ekranowania **39**
Istota ekranowania
Ekranowane kable i przewody
Połączenia ekranowania
Przerwy w ekranowaniu
Połączenie uziemienia 40
Kabel zasilający silnika
Kabel sygnałowy
Rodzaje ekranowania
Krok 4: Zagadnienia dotyczące doboru przetwornic częstotliwości **41**
Podstawowe parametry
Stały lub zmienny moment obrotowy
Zagadnienia dotyczące charakterystyk obciążenia dla różnych aplikacji **42**
Krzywe charakterystyk dla przykładowych aplikacji
Zagadnienia dotyczące pracy równoległej wielu silników (szczególne przypadki) **43**
Projekt
Prowadzenie kabli
Zagadnienia dotyczące stosowania środków zaradczych w kontekście EMC **44**
Przekładając teorię na praktykę
Zakłócenia na częstotliwościach radiowych
Praktyczne zalecenia
Dwa podejścia do kwestii filtrów RFI
Zakłócenia sieci zasilającej 45
Wpływ obwodu DC na zakłócenia sieci zasilającej
Sposoby redukcji
Dławiki sieci zasilającej
Prostowniki 12-, 18- lub 24-pulsowe 46
Filtry pasywne
Filtry aktywne, napędy Active Front Ends oraz napędy z redukcją harmonicznych
Zagadnienia dotyczące wyłączników różnicowoprądowych **47**
Wyłączniki różnicowoprądowe AC/DC
Poziom prądu upływowego
Zagadnienia dotyczące instalacji uziemiających i ochrony silników **48**
Instalacje uziemiające w praktyce
Ochrona silników oraz termistory PTC w silnikach
Zagadnienia dotyczące sterowania i wyświetlania danych **49**
Koncepcja prostej obsługi
Praca w trybie sterowania lokalnego 50
Przejrzysty wyświetlacz
Jednolita koncepcja
Integracja z drzwiami szafy sterowniczej
Zagadnienia dotyczące sterowania i konfiguracji parametrów przy użyciu komputera PC **51**
Poszerzone możliwości
Zagadnienia dotyczące wymiany danych **52**
Systemy magistrali danych
Lepsze zarządzanie alarmami
Lepsze zarządzanie instalacją
Niższe koszty instalacji
Uproszczona procedura odbioru technicznego
Zagadnienia dotyczące dodatkowych kryteriów wyboru **53**
Sterownik procesu
Utrzymanie ruchu
Przechowywanie
VLT® AQUA Drive **54**
Dyrektywy dotyczące przetwornic częstotliwości **55**
Lista Kontrolna Planowania Projektu **57**
Notatki **58**

Wsparcie projektowe w celu osiągnięcia jak najlepszych rezultatów Podręcznik Projektowania Systemów dla Aplikacji Wodnych i Wodno-ściekowych

Podręcznik Projektowania Systemów dla Aplikacji Wodnych i Wodno-ściekowych przeznaczony jest dla firm projektowych, władz publicznych, stowarzyszeń, inżynierów zakładowych oraz inżynierów elektryków aktywnie działających w branży technologii wodnych i ściekowych. Został opracowany, jako wszechstronna pomoc dla projektantów systemów przemysłowych (działy ICA i elektryczne) oraz inżynierów projektów, którzy w swojej codziennej pracy spotykają się z systemami z regulacją prędkości przy zastosowaniu przetwornic częstotliwości.

W opracowanie zawartości niniejszego podręcznika zaangażowali się specjaliści firmy Danfoss we współpracy z projektantami systemów przemysłowych, w celu przygotowania odpowiedzi na najbardziej nurtujące pytania, umożliwiając przez to osiągnięcie przez właścicieli, projektantów systemów lub kontrahentów możliwie najlepszych rezultatów. Opisy poszczególnych zagadnień w kolejnych sekcjach zostały celowo opracowane w sposób zwięzły. Nie mają one za zadanie w sposób wyczerpujący omówić danych kwestii technicznych, lecz wypunktować najistotniejsze zagadnienia i konkretne wymagania z zakresu inżynierii projektowania. W ten sposób, Podręcznik Projektowania Systemów dla Aplikacji Wodnych i Wodnościekowych służy wsparciem w procesie projektowania napędów sterowanych przez przetwornice częstotliwości oraz daje podstawy do przeprowadzenia analizy tychże produktów pochodzących od różnych producentów.

Inżynieria projektowania napędów o regulowanej prędkości często zadaje pytania niezwiązane bezpośrednio z faktycznymi zadaniami stawianymi przed przetwornicami częstotliwości. Dotyczą one kwestii integracji tych urządzeń z istniejącymi systemami napędowymi oraz z całym obiektem, w którym mają być użytkowane. Z tego powodu, istotne jest, by nie poddawać analizie tylko przetwornicy częstotliwości, lecz cały system napędowy. System taki złożony jest z silnika, przetwornicy częstotliwości, okablowania oraz zewnętrznych warunków pracy, na które składają się sieć zasilająca oraz parametry otoczenia.

Inżynieria projektowania oraz rozmieszczenie systemów napędowych o regulowanej prędkości ma decydujące znaczenie. Decyzje podejmowane przez projektanta systemów przemysłowych, bądź inżyniera projektu, są kluczowe dla zapewnienia wysokiej jakości systemu napędowego, niskich kosztów użytkowania i utrzymania ruchu, jak również niezawodnej i bezawaryjnej eksploatacji.

Wszystkie osoby zaangażowane w proces projektowania systemów zawierających przetwornice częstotliwości powinny zwrócić szczególną uwagę na ogólne warunki i parametry techniczne tych urządzeń.

Właściwie zaplanowany proces projektowania zapobiega pojawieniu się niepożądanych skutków ubocznych po uruchomieniu układu napędowego.

Niniejszy podręcznik projektowania wraz z dołączoną listą kontrolną to idealne narzędzie umożliwiające osiągnięcie możliwie najlepszej jakości projektów instalacji, a przez to najwyższej niezawodności pracy całego systemu.

Podręcznik Projektowania Systemów dla Aplikacji Wodnych i Wodn-ościekowych podzielony został na dwie części. Pierwsza zawiera ogólne informacje na temat stosowania przetwornic częstotliwości. Składają się na nie zagadnienia związane ze sprawnością energetyczną, redukcją kosztów użytkowania oraz wydłużeniem czasu eksploatacji. Druga część opisuje cztery kroki w procesie projektowania systemów i dostarcza praktycznych porad z zakresu modernizacji napędów elektrycznych w istniejących systemach. Opisuje czynniki, na które trzeba zwrócić uwagę, aby móc osiągnąć wysoką niezawodność pracy systemu – dobór oraz parametry zasilania sieci elektrycznej, warunki otoczenia i środowiska zewnętrznego, parametry silnika oraz jego okablowanie, a także właściwy dobór przetwornicy częstotliwości.

W podręczniku tym znajdują się wszystkie niezbędne informacje związane z tymi zagadnieniami. Na końcu niniejszego podręcznika zamieszczona została lista kontrolna, z której można korzystać, w celu sprawdzenia czy poszczególne czynności zostały odpowiednio wykonane. Uwzględnienie ich wszystkich, umożliwi użytkownikowi uzyskanie optymalnej konfiguracji systemu, gwarantując jednocześnie niezawodną i bezproblemową pracę.

Część 1: Informacje podstawowe Redukcja kosztów i poprawa komfortu użytkowania

W porównaniu z mechanicznymi systemami kontroli prędkości, układy elektroniczne mogą znacząco obniżyć koszty energii oraz zredukować jej zużycie. Oba te czynniki mają decydujący wpływ na zmniejszenie kosztów eksploatacji. Im dłużej napędy pracują przy częściowym obciążeniu, tym wyższe są potencjalne oszczędności z tytułu zużycia energii elektrycznej i utrzymania ruchu. Z uwagi na wysoki poziom potencjalnych oszczędności energii, dodatkowe koszty związane z zakupem elektronicznych układów regulacji prędkości, są w stanie zwrócić się już po kilku miesiącach. Dodatkowo, urządzenia te mają niezwykle pozytywny wpływ na wiele różnych aspektów związanych z procesami zachodzącymi w systemach oraz na ogólną ich gotowość operacyjną.

Wysoki poziom potencjalnych oszczędności energii

Dzięki stosowaniu elektronicznych układów regulacji prędkości, wielkości takie jak przepływ, ciśnienie lub ciśnienie różnicowe mogą być dostosowywane do bieżących potrzeb w aplikacji. W przeważającej mierze systemy pracują w warunkach jedynie częściowego obciążenia. W przypadku aplikacji wentylatorów, pomp lub kompresorów, o zmiennej charakterystyce momentu, poziom oszczędności energii elektrycznej uzależniony jest od różnicy między czasem pracy przy częściowym i pełnym obciążeniu. Im większa jest ta różnica, tym krótszy jest okres zwrotu z inwestycji. Najczęściej jest to około 12 miesięcy.

Ograniczanie wartości prądu rozruchowego

Zasilanie urządzeń napędowych bezpośrednio z sieci elektrycznej prądu zmiennego, powoduje pobór prądu rozruchowego, którego wartość może być równa sześciokrotności czy nawet ośmiokrotności prądu znamionowego. Przetwornice częstotliwości ograniczają go do wartości znamionowej prądu silnika. Eliminują w ten sposób skokowy wzrost wartości prądu podczas rozruchu, zapobiegając wahaniom napięcia, z powodu przyłączenia dużego obciążenia do sieci zasilającej. Ograniczenie prądu rozruchowego redukuje wartość obciążenia z punktu widzenia dostawcy energii elektrycznej, co bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie kosztów jej dostaw i eliminuje konieczność stosowania dodatkowych regulatorów Emax.

Redukcja zużycia systemów

Przetwornice częstotliwości uruchamiają i zatrzymują silniki elektryczne w sposób płynny. W przeciwieństwie do silników zasilanych bezpośrednio z sieci prądu przemiennego, silniki zasilane z przetwornic częstotliwości ograniczają nagłe zmiany momentu, bądź obciążenia. Powoduje to zmniejszenie naprężeń w całym systemie napędowym (silnik, przekładnia, sprzęgło, pompa/wentylator/kompresor) oraz w systemie rurociągów, łącznie z uszczelnieniem. Poprzez możliwość regulacji prędkości, znacząco obniża się zużycie energii elektrycznej, a wydłuża czas użytkowania systemu napędowego. Koszty utrzymania ruchu i napraw są niższe dzięki dłuższym okresom nieprzerwanej pracy i mniejszemu zużyciu materiałów.

Regulacja optymalnego punktu pracy

Sprawność systemów wodnych i ściekowych uzależniona jest od osiągnięcia optymalnego punktu pracy. Punkt ten zmienia się w zależności od poziomu obciążenia układu. System jest najbardziej wydajny, gdy pracuje możliwie najbliżej optymalnego punktu pracy. Dzięki ciągłej regulacji prędkości, przetwornice częstotliwości są w stanie tak wysterować układ, aby był jak najbliżej optymalnego punktu pracy.

Rozszerzony zakres kontroli

Przetwornice częstotliwości pozwalają silnikom na pracę w zakresie "nadsynchronicznym" (częstotliwość pracy o wartości powyżej 50 Hz). Umożliwia to na szybki wzrost mocy wyjściowej. Górna, możliwa do osiągnięcia wartość prędkości nadsynchronicznej zależy od maksymalnego prądu wyjściowego oraz zdolności przetwornicy częstotliwości do pracy z przeciążeniem. W praktyce, pompy często pracują przy częstotliwości 87 Hz. Zdolność silnika do pracy z prędkością nadsynchroniczną musi być zawsze konsultowana z jego producentem.

Niższy poziom hałasu

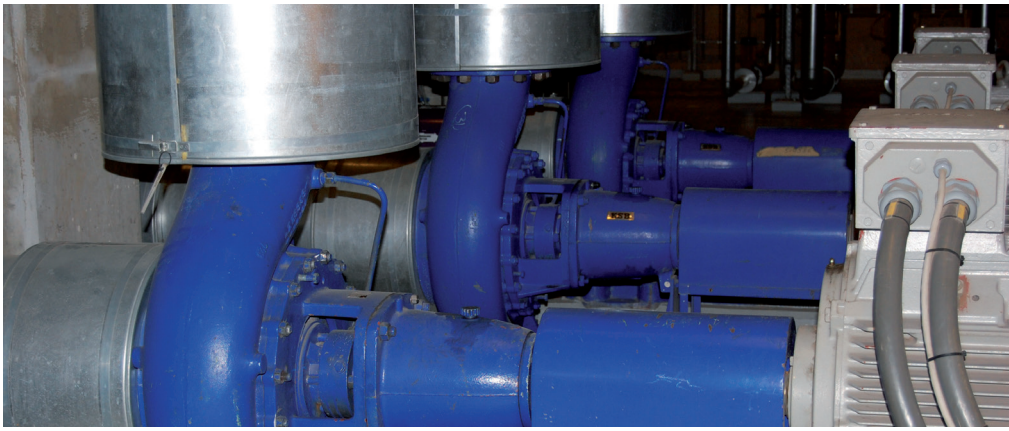
Układy pracują ciszej, gdy są jedynie częściowo obciążone. Regulacja prędkości w znaczący sposób redukuje poziom generowanego hałasu akustycznego.

Wydłużony czas eksploatacji

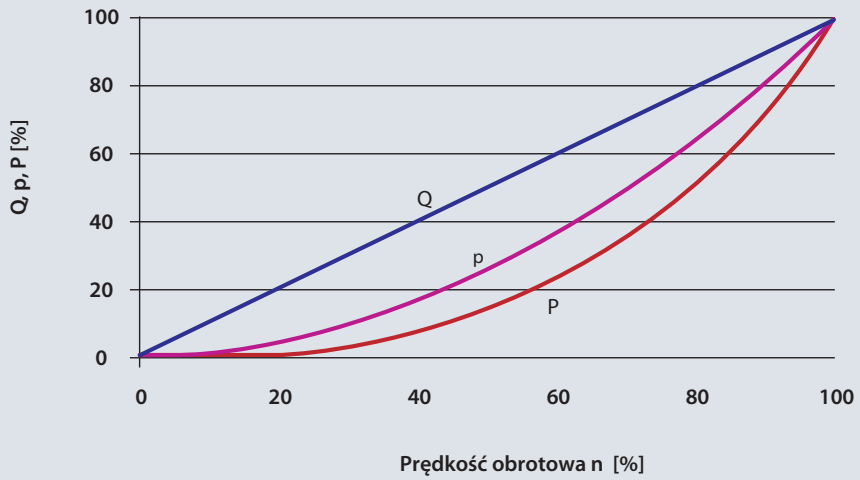
Systemy napędowe pracujące jedynie z częściowym obciążeniem ulegają wolniejszemu zużyciu, co w bezpośredni sposób przekłada się na dłuższy okres eksploatacji. Mniejsza wartość ciśnienia, poprzez jego optymalizację, ma również korzystny wpływ na żywotność systemów rurociągów.

Modernizacja

Instalacja przetwornic częstotliwości w istniejących systemach napędowych może zostać przeprowadzona przy niewielkim wysiłku.



Regulacja prędkości oszczędza energię



Zasady proporcjonalności maszyn przepływowych. Ze względu na zależności fizyczne, przepływ Q, ciśnienie p oraz moc P są bezpośrednio zależne od wartości prędkości.

Poziom oszczędności energii elektrycznej przy zastosowaniu przetwornicy częstotliwości uzależniony jest od charakterystyki obciążenia oraz sprawności pompy, bądź innego napędu sterowanego przez tą przetwornicę, jak również od czasu, w jakim system pracuje w warunkach częściowego obciążenia. Systemy uzdatniania wody pitnej i utylizacji ścieków są zaprojektowane do pracy przy rzadko występujących maksymalnych obciążeniach. Wręcz przeciwnie, zwykle pracują jedynie przy częściowym obciążeniu.

Pompy wirowe i wentylatory posiadają największy potencjał oszczędności zużycia energii elektrycznej. Klasyfikuje się je jako maszyny przepływowe, o zmiennej charakterystyce momentu i jako takie podlegają poniższym zależnościom.

Przepływ zwiększa się liniowo wraz z rosnącą prędkością obrotową (obr/min), podczas gdy ciśnienie narasta z kwadratem, a zużycie energii elektrycznej z sześcianem tej prędkości.

Decydującym czynnikiem w kwestii oszczędności energii jest sześcienna zależność między prędkością obrotową, a wielkością jej zużycia. Pompa pracująca z połową swojej prędkości znamionowej, potrzebuje tylko jednej ósmej energii elektrycznej niezbędnej do pracy przy pełnej prędkości znamionowej. Zatem, nawet niewielkie obniżenie prędkości prowadzi do znaczących oszczędności energii. Dla przykładu, obniżenie prędkości o 20% daje 50% oszczędności zużywanej energii elektrycznej. Główną korzyścią wynikającą z zastosowania przetwornicy częstotliwości jest to, że regulacja prędkości nie powoduje strat energii jak w przypadku regulacji przy użyciu zaworu dławiącego, czy przepustnicy. Pobór mocy jest adekwatny do faktycznego zapotrzebowania.

Dodatkowe oszczędności energii elektrycznej można uzyskać poprzez optymalizację sprawności pompy lub napędu przy użycia przetwornicy częstotliwości. Metoda sterowania skalarnego (krzywa U/f), zapewnia dostarczenie odpowiedniego poziomu napięcia do silnika, dla danej częstotliwości (prędkości silnika). W rezultacie regulacja umożliwia uniknięcie strat w silniku wynikających z nadmiernej wartości prądu biernego.

Uwaga: Przetwornice częstotliwości VLT® AQUA firmy Danfoss idą jeszcze dalej odnośnie energooszczędności. Posiada funkcję Automatycznej Optymalizacji Energii (AEO) która dopasowuje zużycie energii do wymogów aplikacji dzięki czemu silnik pracuje z najwyższą możliwą sprawnością. Dzięki temu VLT® AQUA Drive pomaga zaoszczędzić pieniądze zmniejszając dodatkowo zużycie energii o 3 do 5%.

Poprawa efektywności ekonomicznej

Analiza LCC (life cycle cost – koszt cyklu życia urządzenia)

Jeszcze kilka lat temu inżynierowie zakładowi i użytkownicy, przy doborze układu napędowego, brali wyłącznie pod uwagę koszty bezpośrednio związane z zakupem i montażem instalacji. Obecnie, coraz bardziej powszechne staje się przeprowadzanie analizy wszystkich kosztów. Pod pojęciem "koszt cyklu życia urządzenia" (LCC – life cycle cost), kryje się analiza uwzględniająca wszystkie koszty poniesione w trakcie użytkowania systemu.

Analiza kosztów cyklu życia uwzględnia nie tylko koszty zakupu i instalacji urządzenia, lecz również koszty energii elektrycznej, użytkowania, utrzymania ruchu, przestojów, ochrony środowiska naturalnego oraz złomowania. Dwa czynniki - koszt energii elektrycznej oraz koszt utrzymania ruchu - mają znaczący wpływ na całkowity koszt cyklu życia urządzenia. Użytkownicy poszukują innowacyjnych rozwiązań, umożliwiających ograniczenie kosztów w aplikacjach wodnych i ściekowych.

Redukcja kosztów energii

Koszt energii elektrycznej odgrywa najistotniejszą rolę we wzorze do obliczania kosztu cyklu życia urządzenia. Jest to szczególnie istotne, gdy układy pompowe pracują przez ponad 2000 godzin rocznie.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = koszt inwestycji (koszt zaopatrzenia)

C_{in} = koszt instalacji i odbioru technicznego

C_e = koszt energii elektrycznej

C_o = koszt eksploatacji

C_m = koszty utrzymania ruchu

C_s = koszty przestojów w produkcji

C_{env} = koszty środowiskowe

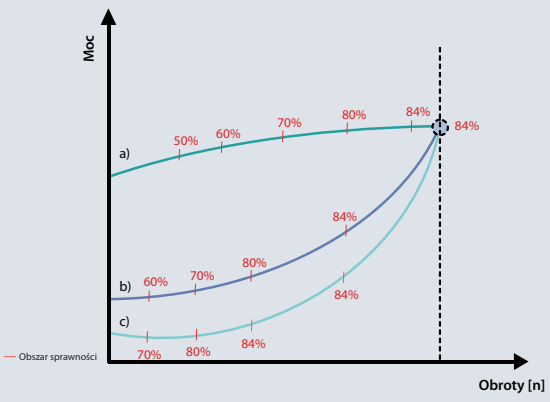
C_d = koszty wycofania z użytku i złomowania

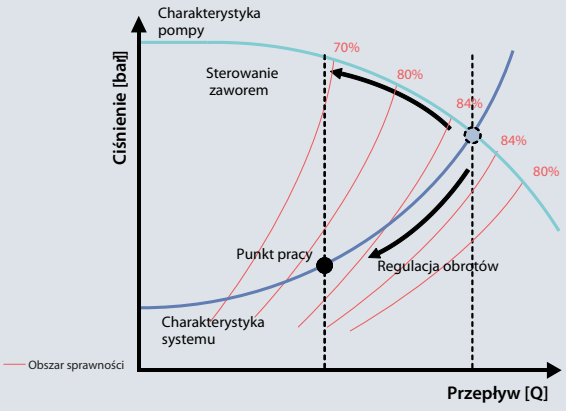
Kalkulacja kosztów cyklu życia

Większość istniejących układów pompowych posiada znaczny, ale ukryty potencjał dla uzyskania oszczędności energii. Wynika to z faktu, że większość napędów pomp jest przewymiarowanych, ponieważ zostały zaprojektowane pod kątem najcięższych warunków pracy. Wielkość przepływu jest często regulowana przez zawór dławiący. Przy tego rodzaju regulacji, pompa zawsze pracuje z pełną wydajnością, zużywając niepotrzebnie duże ilości energii elektrycznej.

Porównać to można do jazdy samochodem z silnikiem pracującym zawsze na pełnym "gazie", gdzie prędkość regulowana jest za pomocą hamulców.

Zastosowanie nowoczesnych, inteligentnych przetwornic częstotliwości jest idealnym rozwiązaniem prowadzącym do redukcji zużycia energii, jak również obniżenia kosztów związanych z konserwacją i przeglądami.





a) Regulacja zaworem: zmniejsza sprawność
b) Rzeczywista regulacja prędkości: sprawność odbiega od krzywej systemu
c) Optymalna regulacja prędkości: krzywa sprawności prawie pokrywa się z krzywą systemu

Poza charakterystykami pompy i systemu, wykres ten przedstawia kilka poziomów sprawności. Zarówno regulacja przy użyciu zaworu, jak i regulacja prędkości sprawiają, że punkt pracy wychodzi poza optymalny przedział sprawności.

Osiąganie oszczędności w praktyce

W pierwszej części niniejszego podręcznika projektowania skupiono się przede wszystkim na podstawowych oszczędnościach, możliwych do uzyskania w aplikacjach wodnych i ściekowych.

Dotyczą one optymalizacji kosztu cyklu życia urządzenia, poprzez redukcję zużycia energii elektrycznej, jak również obniżenie kosztów serwisowania i utrzymania ruchu. Zadaniem projektanta jest teraz realizacja dobrze przemyślanego i inteligentnego projektu, w celu osiągnięcia tych potencjalnych korzyści w praktyce.

W tym celu, druga część podręcznika omawia proces projektowania, który podzielony został na cztery etapy.

Poniższe działy:
- Sieć elektryczna,
- Warunki otoczenia i parametry środowiska zewnętrznego,
- Silniki i okablowanie,
- Przetwornice częstotliwości, dostarczają czytelnikowi zbiór informacji na temat charakterystyk i danych, niezbędnych do przeprowadzenia prawidłowego procesu doboru komponentów oraz wymiarowania, w celu zapewnienia niezawodnej pracy systemu.

Tam gdzie przydatne mogłoby być uzyskanie bardziej szczegółowych informacji, umieszczone zostały odnośniki do dodatkowych materiałów, celem uzupełnienia podstawowej wiedzy zawartej w niniejszym podręczniku.

Lista kontrolna załączona na końcu podręcznika, którą można wyciąć i wykorzystać w trakcie pracy projektowej, zapewnia wygodne wsparcie, dając możliwość odhaczenia wykonania kolejnych czynności. Dzięki temu użytkownik dysponuje szybkim i łatwym przeglądem realizacji poszczególnych kroków istotnych w procesie projektowania.

Uwzględniając wszystkie wytyczne zawarte w tym podręczniku, znacznie zwiększa się prawdopodobieństwo, że zaprojektowany system będzie zarówno niezawodny, jak i energooszczędny.

Część 2: Cztery kroki do zoptymalizowania pracy systemu
Krok 1: Zagadnienia dotyczące sieci elektrycznej prądu zmiennego AC

Rozpoznanie konfiguracji istniejącej sieci zasilającej

Napędy elektryczne zasilane mogą być z różnego typu sieci elektrycznych prądu zmiennego. Wszystkie one mają, w różnym stopniu, wpływ na kwestie związane z kompatybilnością elektromagnetyczną danego systemu. Pięciożyłowe systemy TN_S są najbardziej korzystne, natomiast izolowane układy IT najmniej z punktu widzenia spełnienia wymagań EMC.

Układy zasilania TN
Istnieją dwie podstawowe wersje tego typu systemu dystrybucji energii elektrycznej: TN-S oraz TN-C.

TN-S
Jest to układ pięciożyłowy, w którym jeden punkt jest bezpośrednio uziemiony, z oddzielnym przewodem neutralnym N oraz przewodem ochronnym PE.

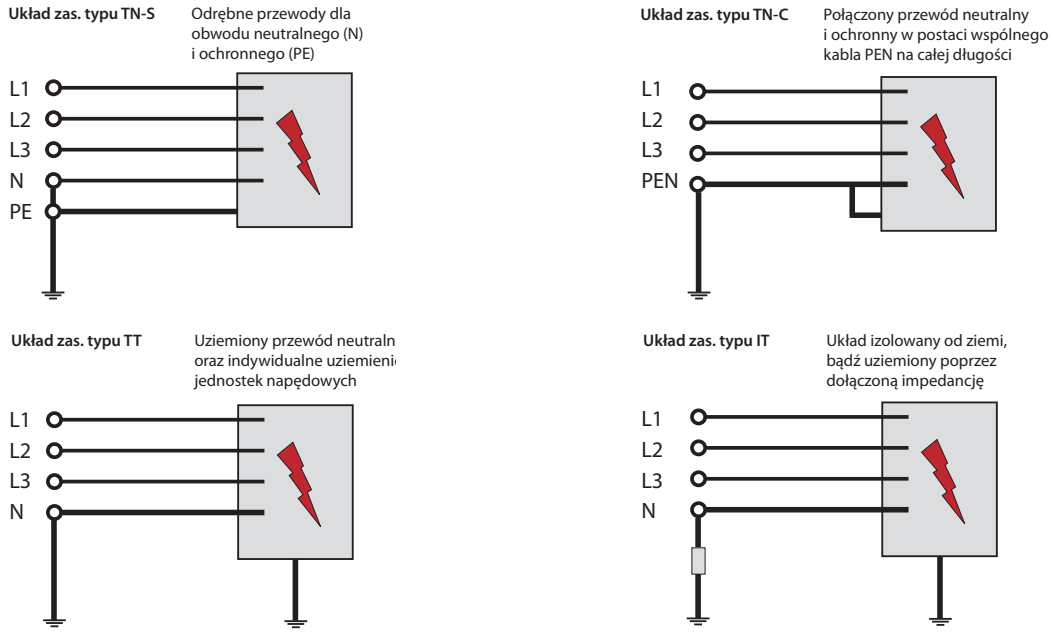
Dzięki takiej konfiguracji, zapewnione są najlepsze właściwości EMC. System w największym stopniu jest zabezpieczony przed transmisją zakłóceń.

TN-C
Układ czterożyłowy, w którym jeden punkt jest bezpośrednio uziemiony, ze wspólnym przewodem ochronno-neutralnym PEN, na całej długości. Ze względu na połączenie przewodu neutralnego z ochronnym, system TN-C nie zapewnia dobrych charakterystyk EMC.

Układy zasilania TT
System czterożyłowy, w którym jeden punkt jest bezpośrednio uziemiony oraz odbiorniki (jednostki napędowe) są uziemione indywidualnie, niezależnie od sieci energetycznej. System ten posiada dobrą charakterystykę EMC, pod warunkiem, że uziemienie jest poprawnie skonfigurowane.

Układy zasilania IT
System czterożyłowy, z częściami czynnymi izolowanymi od ziemi, albo z uziemieniem poprzez impedancję oraz odbiorniki (jednostki napędowe) są uziemione indywidualnie.

Uwaga: *Wszystkie elementy EMC w przetwornicach częstotliwości (filtry itp.) muszą być wyłączone w przypadku pracy układu w sieci IT.*



Rodzaje sieci elektrycznych na podstawie normy EN 50310 / HD 384.3

Zagadnienia dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (ang. EMC – electromagnetic compatibility)

Wszystkie urządzenia elektryczne wytwarzają pola elektryczne i magnetyczne, które do pewnego stopnia oddziałują bezpośrednio na otaczające je środowisko.

Wielkość tych zjawisk oraz konsekwencje z nimi związane, uzależnione są od mocy oraz konstrukcji urządzenia. W maszynach oraz układach elektrycznych, interakcje między zespołami elektrycznymi i elektronicznymi mogą zakłócać lub wręcz uniemożliwiać niezawodną, bezproblemową pracę. Ważne jest, aby operatorzy, projektanci oraz inżynierowie dobrze rozumieli mechanizmy tego wzajemnego oddziaływania. Tylko wówczas będą oni w stanie podjąć już na etapie projektowania stosowne i efektywne, z ekonomicznego punktu widzenia, środki zaradcze.

Należy pamiętać, że koszt wdrażania środków zaradczych wzrasta na każdym etapie procesu projektowania.

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych to zjawiska dwukierunkowe

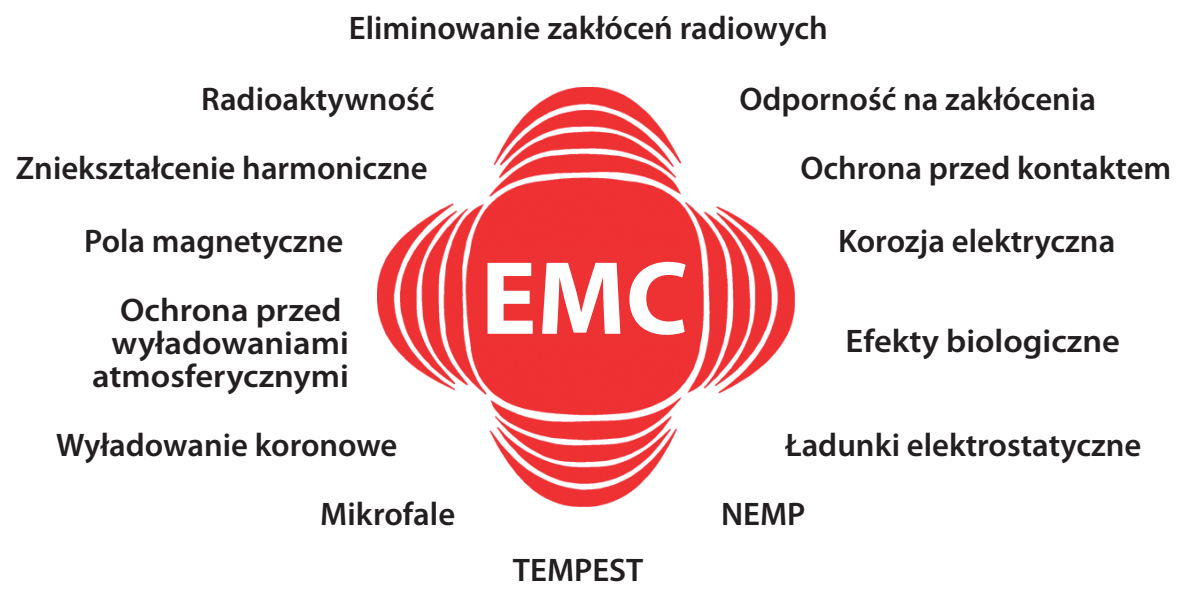
Komponenty systemu mają na siebie wzajemny wpływ. Każde urządzenie generuje zakłócenia, jednocześnie samo podlegając wpływom zakłóceń pochodzących od innych urządzeń. Poza rodzajem i wielkością zakłóceń generowanych przez zespoły, istotną kwestią jest także ich odporność na zakłócenia ze strony sąsiadujących układów elektronicznych.

Odpowiedzialność leży po stronie operatora

Dotychczas to producent komponentu albo zespołu elementów przeznaczonych do napędów elektrycznych, musiał podjąć stosowne kroki, by zapewnić zgodność z obowiązującymi prawnie standardami. Wraz z wprowadzeniem standardu EN 61800-3 dotyczącego układów napędowych o regulowanej prędkości, odpowiedzialność ta została przeniesiona na użytkownika końcowego albo operatora systemu. W chwili obecnej, producenci muszą jedynie oferować rozwiązania zapewniające zgodność z odpowiednimi standardami. Zapobieganie wszelkim zakłóceniom, które mogą się pojawić przy zastosowaniu tych rozwiązań, wraz z wiążącymi się z tym kosztami, pozostaje w gestii operatora.

Dwa możliwe sposoby redukcji zakłóceń

Użytkownicy oraz inżynierowie zakładowi dysponują dwiema możliwościami zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej. Jedną z nich jest zapobiegnięcie zakłóceniom u ich źródła poprzez minimalizacje, bądź całkowitą eliminację emisji zakłóceń. Drugim sposobem jest zwiększenie odporności urządzenia lub systemu wystawionego na zakłócenia, poprzez zapobieganie albo znaczne zredukowanie odbioru zakłóceń.



Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) obejmuje szeroki zakres różnych czynników. Wśród najbardziej istotnych z punktu widzenia inżynierii napędowej są zakłócenia sieci zasilającej, eliminacja RFI oraz poziom odporności na działanie zakłóceń.

Zagadnienia dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (ang. EMC – electromagnetic compatibility)

Różnica między zakłóceniami przewodzonymi, a zakłóceniami promieniowanymi

W przypadku zainstalowania kilku urządzeń elektrycznych w jednym systemie, zawsze zachodzą interakcje między nimi. Eksperci rozróżniają źródło zakłóceń oraz upust zakłóceń, co w praktyce oznacza urządzenie generujące zakłócenia oraz urządzenie narażone na ich oddziaływanie. Wszystkie rodzaje aktywności elektrycznej i magnetycznej są potencjalnym źródłem zakłóceń. Przykładowo zakłócenia mogą przybrać formę składowych harmonicznych sieci zasilającej, wyładowań elektrostatycznych, gwałtownych wahań napięcia, zakłóceń o wysokiej częstotliwości, albo pól zakłócających. W praktyce, składowe harmoniczne sieci zasilającej zwane są często zakłóceniami sieci zasilającej, składowe nadharmoniczne, albo po prostu składowe harmoniczne.

Mechanizmy sprzężeń pomiędzy obwodami elektrycznymi

Czytelnik prawdopodobnie zaczyna się w tej chwili zastanawiać, jakie są możliwe sposoby przenoszenia zakłóceń. Będąc formą emisji elektromagnetycznej, zakłócenia mogą być transmitowane przez przewodniki, pola elektryczne albo fale elektromagnetyczne. Z technicznego punktu widzenia, nazywa się je sprzężeniami przewodzonymi, pojemnościowymi oraz/lub indukcyjnymi, jak również sprzężeniami promieniowanymi, co oznacza interakcję między różnymi obwodami, w których przepływa energia elektromagnetyczna z jednego obwodu do innego.

Sprzężenie przewodzone

Sprzężenia przewodzone mają miejsce, gdy dwa obwody lub więcej połączone są ze sobą za pomocą wspólnego przewodnika, takiego jak kabel z prądem wyrównującym.

Sprzężenie pojemnościowe

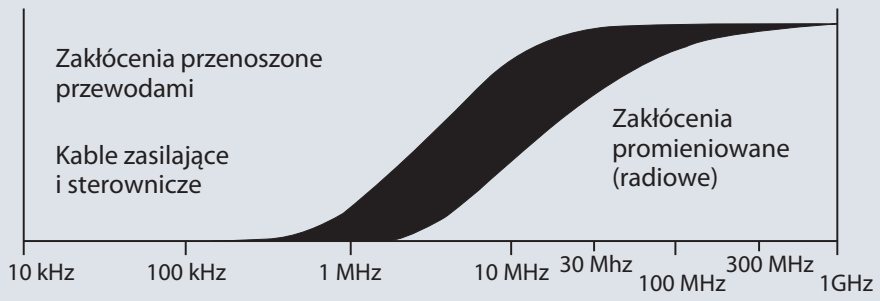
Sprzężenie pojemnościowe wynika z różnic napięcia między obwodami. Sprzężenie indukcyjne zachodzi między dwoma przewodnikami przewodzącymi prąd.

Sprzężenie promieniowane

Sprzężenie promieniowane pojawia się, gdy upust zakłócenia zlokalizowany jest w odległym punkcie pola elektromagnetycznego generowanego przez źródło zakłóceń. Dla celów analizy elektromagnetycznej, standard określa częstotliwość 30 MHz, jako wartość graniczną między sprzężeniem przewodzonym, a sprzężeniem promieniowanym.

Odpowiada to fali o długości 10 metrów. Poniżej tej częstotliwości, zakłócenia elektromagnetyczne są głównie propagowane przez przewodniki albo sprzęgane są przez pola elektryczne lub magnetyczne. Powyżej częstotliwości 30 MHz, kable i przewody działają jak anteny i emitują fale elektromagnetyczne.

Ścieżki rozprzestrzeniania się zakłóceń



Zakłócenia elektromagnetyczne występują w całym zakresie częstotliwości, jednak ścieżki propagacji oraz forma rozprzestrzeniania są różne.

Przegląd ścieżek sprzężeń dla zakłóceń elektromagnetycznych oraz typowe przykłady

Przetwornice częstotliwości i zagadnienia EMC

Efekty niskiej częstotliwości (przewodzone)	→ Zakłócenia zasilania/składowe harmoniczne
Efekty wysokiej częstotliwości (promieniowane)	→ Zakłócenia o częstotliwościach radiowych (emisja pól elektromagnetycznych)

Zagadnienia dotyczące jakości sieci zasilającej

Zakłócenia o niskiej częstotliwości w sieci zasilającej

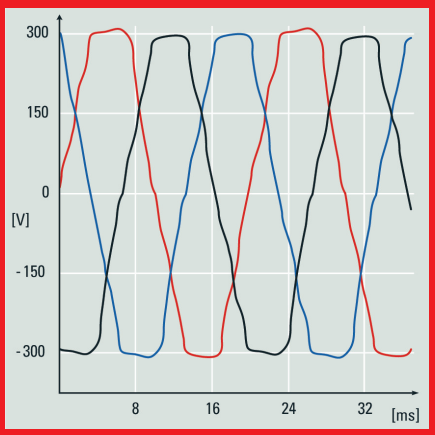
Zagrożenia dla sieci zasilającej

Napięcie sieci zasilającej dostarczane do naszych domów i zakładów przemysłowych przez firmy energetyczne powinno mieć charakter jednolitego napięcia sinusoidalnego o stałej amplitudzie i częstotliwości. Jest to sytuacja idealna, która nie ma miejsca w rzeczywistych, publicznych sieciach energetycznych. Jest to częściowo spowodowane obecnością obciążeń o charakterze nieliniowym oraz pobierających z sieci prądy o przebiegu odkształconym. Są to np. komputery osobiste, odbiorniki radiowo-telewizyjne, zasilacze z przetwarzaniem energii (SMPS), świetlówki oraz przetwornice częstotliwości. Jakość sieci elektrycznej ulegnie w przyszłości jeszcze większemu pogorszeniu, w związku z utworzeniem europejskiej sieci energetycznej, większym obciążeniem sieci oraz wskutek ograniczania środków przeznaczonych na inwestycje. Odkształcenia fali sinusoidalnej są nieuniknione. Jej maksymalne dopuszczalne odchylenie jest regulowane odpowiednimi normami. Projektanci sieci/systemów zakładowych mają obowiązek utrzymania poziomu zakłóceń na minimalnym poziomie. Należy sobie zadać pytanie, jakie dokładnie są to limity i kto jest określa?

Jakość uregulowana przepisami prawnymi

Standardy, dyrektywy i przepisy są pomocne w przypadku kwestii dotyczącej wysokiej jakości parametrów sieci zasilającej. W przeważającej części Europy, podstawą dla obiektywnej oceny jakości sieci zasilającej jest Ustawa o Elektromagnetycznej Kompatybilności Urządzeń. Standardy Europejskie EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 oraz EN 5160 definiują limity napięcia zasilania, które muszą być przestrzegane w publicznych i przemysłowych sieciach energetycznych.

Standardy EN 61000-3-2 oraz 61000-3-12 to przepisy odnoszące się do zakłóceń sieci elektrycznej generowanych przez podłączone do niej urządzenia. Konieczne jest wzięcie pod uwagę standardu EN 50178 oraz uwzględnienie warunków przyłączenia narzuconych przez firmy dystrybuujące energię elektryczną, w celu przygotowania pełnej analizy. Podstawowe założenie jest takie, że wywiązanie się z warunków, opisanych w tych normach, jest gwarancją, że wszystkie urządzenia i systemy podłączone do sieci zasilającej będą bezproblemowo wypełniać swoje cele.

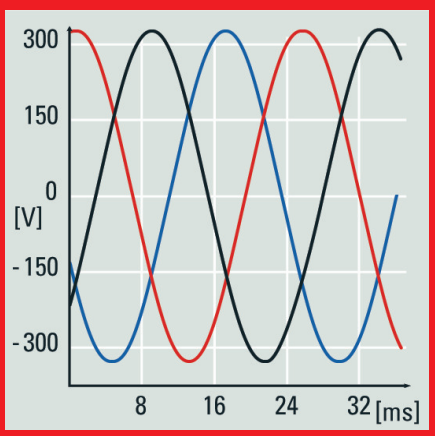


Oscylogram przedstawia wyraźne zniekształcenie napięcia sieci zasilającej spowodowane zakłóceniami pochodzącymi od obciążeń o charakterze nieliniowym

W jaki sposób pojawiają się zakłócenia?

Specjaliści nazywają odkształcenia fal sinusoidalnych w systemach zasilania, wywołane przez impulsowy charakter prądów wejściowych dla podłączonych obciążeń, jako "zakłócenia sieci zasilającej" albo jako "wywołane wyższymi harmonicznymi". Mówią oni w takich przypadkach o zawartości wyższych harmonicznych w prądzie zasilającym. Źródłem jest tutaj analiza Fouriera, a uwzględnia się najczęściej harmoniczne do 2.5 kHz, co odpowiada 50 składowej harmonicznej częstotliwości zasilania.

Układ prostownika, znajdujący się na wejściu przetwornicy częstotliwości generuje tę formę zakłócenia wyższymi harmonicznymi na sieć zasilającą. Wszędzie tam gdzie przetwornice częstotliwości podłączone są do systemów zasilania o częstotliwości 50 Hz, pod uwagę brane są kolejne składowe nieparzyste; trzecia (150 Hz), piąta (250 Hz) oraz siódma składowa harmoniczna (350 Hz). Oddziaływanie od tych harmonicznych jest najsilniejsze. Całkowita zawartość wyższych harmonicznych określana jest przez współczynnik zawartości harmonicznych (THD - ang. total harmonic distorsion).



Idealna sytuacja, gdy mamy do czynienia z sinusoidalnym kształtem napięcia zasilającego jest obecnie rzadko spotykana w naszych sieciach energetycznych.

Zagadnienia dotyczące zakłóceń o niskiej częstotliwości w sieci zasilającej

Aby uniknąć nadmiernego pogorszenia jakości parametrów sieci zasilającej, można stosować różnego rodzaju metody redukcji i kompensacji. Programy takie jak VLT® MCT31 Harmonic Calculaction służą do przeprowadzenia analizy systemu już na etapie jego projektowania. Daje to możliwość przetestowania różnych kombinacji systemu oraz określonych działań zapobiegawczych.

***Uwaga:** Firma Danfoss dysponuje bardzo wysokim poziomem wiedzy na temat EMC oraz wieloletnim doświadczeniem w tym zakresie. Przekazujemy to doświadczenie naszym klientom organizując szkolenia, seminaria, warsztaty, jak również w naszej codziennej pracy w postaci analiz EMC, ze szczegółową oceną oraz kalkulacjami sieci zasilającej.*

***Uwaga:** Wysoka zawartość wyższych harmonicznych powoduje obciążenie urządzeń do korekcji współczynnika mocy i w konsekwencji może spowodować ich zniszczenie. Z tego powodu, powinny być one instalowane razem z dławikami.*

Oprogramowanie VLT® MCT 31 oszacowuje wartość składowych wyższych harmonicznych napięcia i prądu w danej aplikacji i określa, czy wymagane jest zastosowanie odpowiednich filtrów. Dodatkowo, oprogramowanie może obliczać skutki wywołane dołączeniem do systemu urządzeń łagodzących zakłócenia oraz czy dany system zgodny z obowiązującymi normami.

Skutki zakłóceń sieci zasilającej

Wyższe harmoniczne oraz wahania napięcia to dwa rodzaje zakłóceń przewodzonych o niskiej częstotliwości. Mają one inną formę w miejscu powstania i inną w punkcie systemu zasilającego, do którego podłączone jest obciążenie.

W konsekwencji, parametry zasilania, struktura sieci zasilającej oraz obciążenia muszą zostać wszystkie wzięte pod uwagę, w przypadku przeprowadzania oceny zakłóceń sieci zasilającej. Skutki zwiększonej zawartości wyższych harmonicznych opisane są poniżej.

Ostrzeżenia o zbyt niskim napięciu

- Niepoprawny pomiar napięcia z powodu zniekształcenia sinusoidalnego napięcia zasilającego
- Obniżona pojemność mocy zasilania

Wyższe straty

- Dodatkowy udział składowych wyższych harmonicznych w mocy czynnej, biernej oraz pozornej
- Skrócona żywotność urządzeń oraz podzespołów w wyniku dodatkowego grzania, będącego skutkiem wystąpienia rezonansów
- Nieprawidłowe działanie lub uszkodzenie elektrycznych, bądź elektronicznych elementów. W najgorszym przypadku nawet ich całkowite zniszczenie
- Niepoprawne pomiary, gdyż wyłącznie mierniki "rzeczywistej" wartości skutecznej TRUE RMS uwzględniają zawartość wyższych harmonicznych

Czy dostępne są przetwornice częstotliwości wolne od zakłóceń?

Każda przetwornica częstotliwości generuje zakłócenia do sieci zasilającej. Obecny standard uwzględnia jedynie zakres częstotliwości do 2 kHz. Z tego powodu, niektórzy producenci przesuwają zakłócenia częstotliwości w obszar powyżej 2 kHz, nieobjęty standardem, jednocześnie reklamując takie urządzenia, jako "wolne od zakłóceń". W chwili obecnej trwają prace nad określeniem limitów dla tego zakresu częstotliwości.

Zagadnienia dotyczące redukcji zakłóceń w systemie zasilania

Możliwe sposoby redukcji zakłóceń zasilania

Ogólnie mówiąc, zakłócenia sieci zasilającej, pochodzące od urządzeń elektronicznych mogą zostać zmniejszone poprzez ograniczenie amplitudy prądów impulsowych. Wpływa to na poprawę współczynnika mocy λ (lambda). W celu uniknięcia nadmiernego pogorszenia się jakości parametrów sieci zasilającej, można zastosować następujące metody:

- Dławiki na wejściu, bądź w obwodzie DC przetwornic częstotliwości
- Obwód pośredniczący DC typu "slim"
- Prostowniki 12, 18 bądź 24-pulsowe
- Filtry pasywne
- Filtry aktywne
- Rozwiązania Active Front End oraz Low Harmonic Drives

Dławiki na wejściu albo w obwodzie DC przetwornicy częstotliwości

Nawet dławiki o prostej konstrukcji mogą skutecznie zredukować zawartość wyższych harmonicznych przesyłanych z powrotem do sieci zasilającej. Producenci przetwornic częstotliwości najczęściej oferują dławiki, jako dodatkowe wyposażenie (np. montują je w trakcie modernizacji układu napędowego).

Dławiki mogą być zainstalowane przed przetwornicą częstotliwości (od strony zasilania), albo w obwodzie DC za układem prostownika. Ponieważ indukcyjność daje identyczne efekty, bez względu na miejsce jej podłączenia, zmniejszenie poziomu zakłóceń sieci zasilającej będzie takie samo niezależne od miejsca instalacji dławika.

Każda z powyższych możliwości instalacji dławika ma swoje wady i zalety. Dławiki montowane na wejściu przetwornicy częstotliwości są droższe, większe i generują wyższe straty, niż dławiki w obwodzie DC. Ich niezaprzeczalną zaletą jest to, że chronią także prostownik przed przebiegami nieustalonymi prądów i napięć sieci. Dławiki DC umieszczone są w obwodzie pośredniczącym DC przetwornicy częstotliwości. Są bardziej skuteczne niż dławiki AC, ale ich wadą jest to, że nie ma możliwości ich wymiany. Przy tego rodzaju dławikach współczynnik zawartości harmonicznych, przy prostowniku 6_pulsowym, może zostać obniżony z wartości 80% do około 40%.

Dławiki z Uk równym 4% udowodniły swoją skuteczność w użyciu z przetwornicami częstotliwości. Dalsza redukcja zawartości wyższych harmonicznych możliwa jest wyłącznie przy zastosowaniu specjalnie zaprojektowanych filtrów.

Prostowniki 12-, 18- lub 24-pulsowe

Obwody prostowników z większą niż 6 ilością pulsów na cykl (12, 18 lub 24) generują niższe poziomy wyższych harmonicznych. Były one w przeszłości często używane w przypadku napędów wysokiej mocy.

Napędy z prostownikami o większej niż 6 liczbie pulsów muszą być zasilane ze specjalnych transformatorów wyposażonych w dodatkowe uzwojenia, przesunięte względem siebie w fazie. Poza wysokim stopniem skomplikowania i dużymi rozmiarami tych transformatorów, istotną wadą tej technologii są wysokie koszty inwestycji, związane z zakupem przetwornicy częstotliwości oraz samego transformatora.

Filtry pasywne

Wszędzie tam, gdzie istnieją szczególnie surowe wymagania dotyczące limitów zawartości wyższych harmonicznych, można zastosować filtry pasywne. Składają się na nie takie komponenty, jak cewki i kondensatory.

Filtry LC są specjalnie dostrajane do harmonicznych o konkretnych częstotliwościach. Połączone równolegle do obciążenia, redukują wartość współczynnika zawartości harmonicznych do poziomu 10% lub 5%. Filtry mogą być połączone do pojedynczych przetwornic częstotliwości, albo być zainstalowane z całymi grupami przetwornic.

W celu uzyskania możliwe najlepszych efektów redukcji wyższych harmonicznych, filtry muszą być dobrane do rzeczywistej wartości prądu pobieranego z sieci zasilającej przez przetwornicę częstotliwości.

Jeżeli chodzi o sposób montażu filtrów pasywnych, to są one instalowane przed przetwornicą częstotliwości albo przed grupą przetwornic częstotliwości.

Zalety filtrów pasywnych

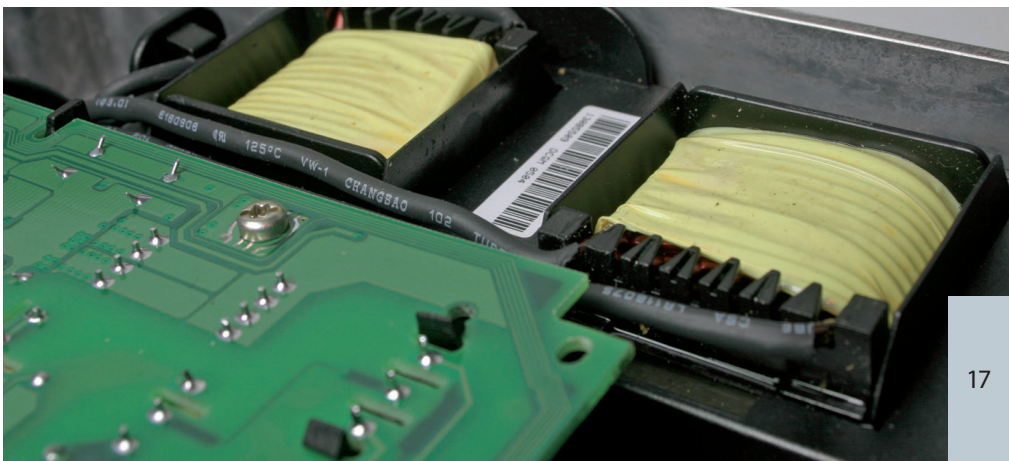
Ten rodzaj filtrów oferuje dobry stosunek ceny do wydajności. Przy stosunkowo niskich kosztach, możliwe jest uzyskanie podobnego poziomu redukcji wyższych harmonicznych, jak w przypadku zastosowania prostowników 12- lub 18-pulsowych. Wartość współczynnika harmonicznych THD może zostać zredukowana do 5%..

Filtry pasywne nie generują zakłóceń o częstotliwościach powyżej 2 kHz. Składają się w całości z elementów pasywnych, przez co nie zużywają się oraz są odporne na zakłócenia elektryczne i naprężenia mechaniczne.

Wady filtrów pasywnych

Ze względu na swoją konstrukcję, filtry pasywne są stosunkowo dużych rozmiarów. Są przez to ciężkie. Filtry te są bardzo skuteczne w zakresie obciążeń 80 - 100%. Niemniej jednak, pojemnościowa moc bierna zwiększa się przy obniżającym się poziomie obciążenia, przez co zalecane jest odłączenie kondensatorów w filtrze w przypadku braku obciążenia.

Uwaga: Przetwornice częstotliwości typu VLT firmy Danfoss, wyposażone są standardowo w dławiki w obwodzie DC. Redukują one zakłócenia sieci zasilającej do wartości THD 40% .



Zagadnienia dotyczące redukcji zakłóceń w układzie zasilania

Filtry aktywne

W przypadku, gdy wymagania dotyczące zakłóceń zasilania są jeszcze bardziej surowe, stosowane są elektroniczne filtry aktywne. Filtry te, to obwody elektroniczne absorbujące, podłączane przez użytkownika równolegle z generatorami wyższych harmonicznych. Analizują prąd harmoniczny wytwarzany przez nieliniowe obciążenie i podają prąd kompensujący. Prąd ten całkowicie neutralizuje odpowiadający mu prąd harmoniczny w miejscu przyłączenia.

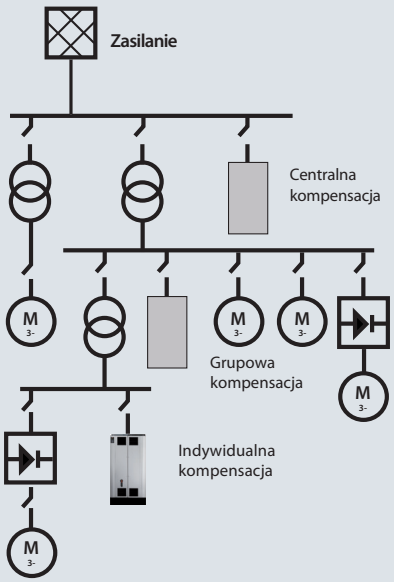
Stopień kompensacji jest regulowany. Dzięki temu, składowe harmoniczne mogą zostać prawie całkowicie skompensowane, jeżeli jest taka potrzeba, albo (np. ze względów ekonomicznych) wyłącznie w zakresie niezbędnym do zapewnienia, że system będzie działał zgodnie z prawnie przewidzianymi limitami. Ponownie, należy wziąć pod uwagę, że filtry te pracują z częstotliwością zegara i produkują zakłócenia zasilania w zakresie 4 - 18 kHz.

Zalety filtrów aktywnych

Operatorzy mogą zainstalować aktywne filtry w dowolnej lokalizacji w systemie zasilania. Zależy to od faktu czy pragną zapewnić kompensację dla poszczególnych napędów, całych grup, czy może całego systemu dystrybucji. Nie ma konieczności instalowania odrębnych filtrów dla każdej przetwornicy częstotliwości. Współczynnik zawartości harmonicznych spada do poziomu THDi ≤4%.

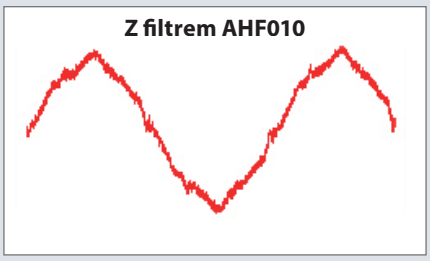
Wady filtrów aktywnych

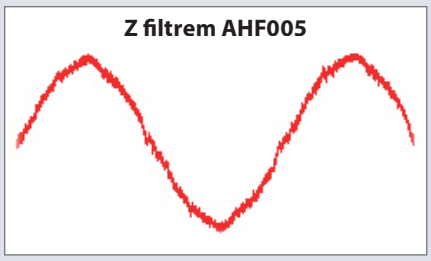
Jedną z wad jest stosunkowo wysoki koszt inwestycji. Dodatkowo, filtry te są nieskuteczne powyżej 25. składowej harmonicznej. Również, w przypadku technologii filtrów aktywnych, należy brać pod uwagę zakłócenia generowane przez same filtry o częstotliwości powyżej 2 kHz. Mogą one wymagać zastosowania dalszych środków zapobiegających zakłóceniom w systemie zasilania.

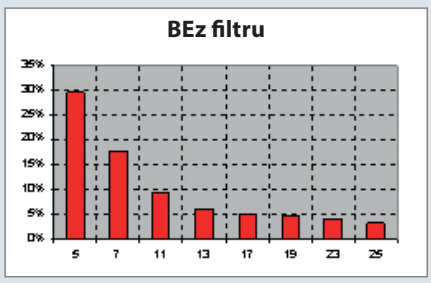


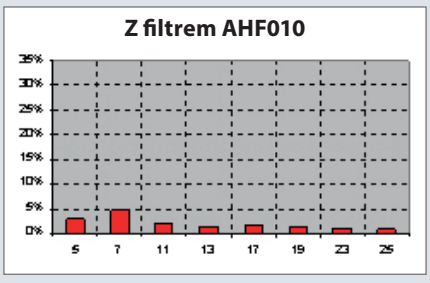
Filtry aktywne instalowane mogą być w dowolnym punkcie sieci zasilającej, zależnie od faktu czy powinny zapewniać kompensację dla indywidualnych napędów, całych grup, czy też całego systemu zasilającego.

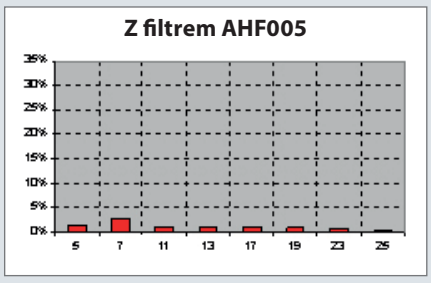
Spektrum prądu oraz zakłóceń przy znamionowym obciążeniu









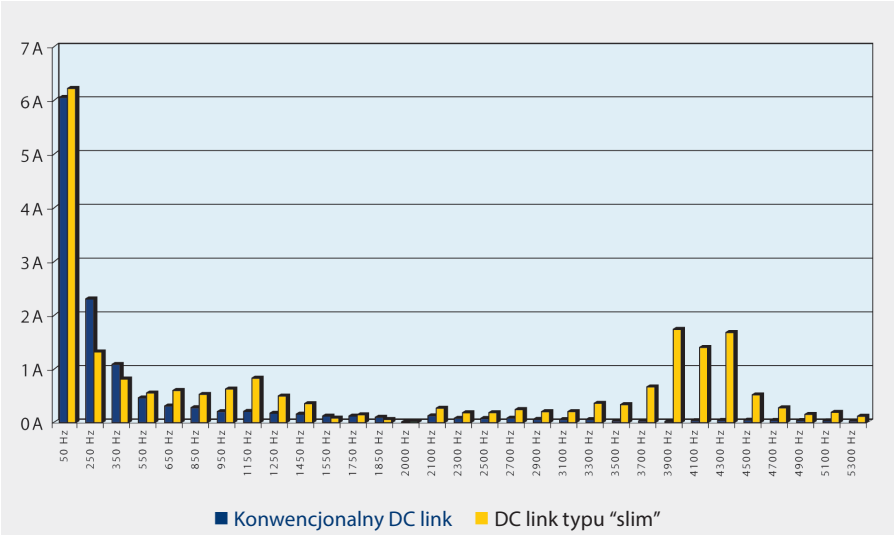


Zaawansowane filtry harmonicznych (AHF) rredukują zawartość harmonicncyh nawet do poziomu 5% lub 10% przy znamionowym obciążeniu.

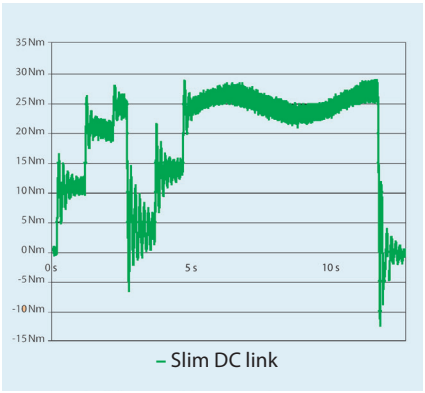
Obwody pośredniczące DC typu "slim"

W ostatnich latach zauważalna jest coraz większa dostępność przetwornic częstotliwości wyposażonych w obwody pośredniczące DC typu "slim". Pozwala to producentom na znaczące zmniejszenie pojemności kondensatorów umieszczonych w obwodach DC. Nawet bez dławika, powoduje to zredukowanie składowej piątej harmonicznej prądu, co skutkuje obniżeniem współczynnika THD poniżej 40%. Jednakże, rozwiązanie takie skutkuje zakłóceniami sieci zasilającej w wysokim zakresie częstotliwości, które w innym przypadku nie wystąpiłyby. Z powodu szerokiego spektrum częstotliwości, jakie występuje w urządzeniach zawierających obwody pośredniczące DC typu „slim", zagrożenie pojawienia się rezonansów z innymi urządzeniami podłączonymi do sieci, takimi jak świetlówki, bądź transformatory, jest bardzo duże. Opracowanie odpowiednich środków zapobiegawczych jest czasochłonne i skomplikowane.

Ponad to, przetwornice częstotliwości z obwodami DC typu „slim" posiadają słabe punkty po stronie obciążenia. W tego typu przetwornicach charakterystyczne są wahania napięcia, spowodowane nagłymi zmianami obciążenia. W rezultacie wykazują one tendencję do oscylacji w odpowiedzi na wahania obciążenia wału silnika. Trudności pojawiają się także w trakcie redukcji obciążenia. W jej trakcie silnik przechodzi w tryb pracy generatorowej z wysoką wartością szczytową napięcia. W konsekwencji przetwornice częstotliwości z obwodami DC typu „slim" szybciej się wyłączają, w porównaniu z analogicznymi urządzeniami ze standardowymi obwodami pośredniczącymi DC, w celu ochrony przed zniszczeniem, z powodu przeciążenia, albo przepięcia. Z powodu niewielkiej lub wręcz zerowej wartości pojemności, przetwornice częstotliwości z obwodami DC typu „slim" nie są przygotowane na zaniki napięcia zasilającego. Z reguły wartość pojemności obwodu pośredniczącego DC typu „slim" to 10% pojemności standardowego obwodu DC.



Przetwornice wykorzystujące tzw. slim DC link generują więcej harmonicznych w szczególności w wyższym zakresie częstotliwości.



Oprócz zakłóceń sieci zasilającej spowodowanych prądem wejściowym, przetwornice częstotliwości z obwodami DC typu „slim" zanieczyszczają sieć częstotliwościami kluczowania falownika. Efekt ten jest niezwykle widoczny po stronie sieci zasilającej z powodu niewielkiej, bądź zerowej wartości pojemności w obwodzie DC.

Napędy Active Front End

Napędy z redukcją harmonicznych (ang. Low Harmonic Drive) są często wykorzystywane, gdy chodzi o opis działania napędów Active Front End. Jednakże jest to podejście niewłaściwe, wprowadzające w błąd, ponieważ napędy LHD obejmują wiele różnych technologii i dotyczą zarówno pasywnych, jak i aktywnych metod łagodzenia zakłóceń. Napędy Active Front End posiadają na wejściu falownik (tranzystory IGBT), w miejsce obwodu prostownika. Wykorzystywane są urządzenia półprzewodnikowe o szybkiej charakterystyce przełączania w celu wymuszenia mniej więcej sinusoidalnego przebiegu fali dostarczanego prądu i są bardzo skuteczne w obniżaniu zakłóceń zasilania o niskiej częstotliwości. Podobnie jak w przypadku przetwornic częstotliwości z zainstalowanymi obwodami pośredniczącymi DC typu "slim", generują one zakłócenia zasilania w wysokich zakresach częstotliwości.

Napędy Active Front End stanowią najdroższe rozwiązania w redukowaniu zakłóceń zasilania,. Wyposażone są w dodatkowy falownik na wejściu (w miejsce prostownika), przez co są w stanie przesłać moc z powrotem do systemu zasilania. Opcja z napędami o niskich składowych harmonicznych (LHD – Low Harmonic Drive) nie zapewnia tej możliwości i jest odpowiednio mniej kosztowna.

Zagadnienia dotyczące redukcji zakłóceń w sieci zasilającej

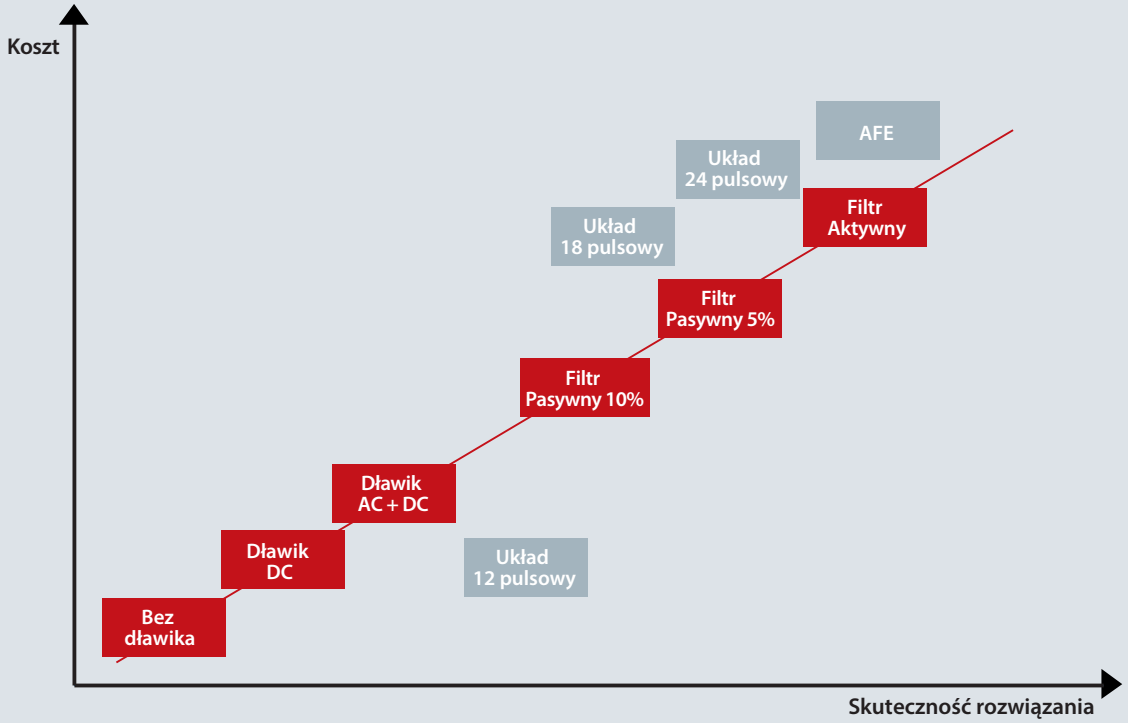
Zalety napędów AFE
Współczynnik zawartości harmonicznych spada prawie do poziomu THDi <4% w zakresie od 3. do 50. składowej harmonicznej. Z urządzeniami typu AFE możliwa jest praca cztero kwadrantowa. Oznacza to, że moc wygenerowana w procesie hamowania silnika może zostać przesłana z powrotem do sieci zasilającej.

Wady napędów AFE
Poziom skomplikowania technicznego urządzeń jest bardzo duży, co skutkuje bardzo wysokimi kosztami inwestycji. W zasadzie, urządzenia typu AFE zawierają dwie przetwornice częstotliwości, z których jedna podaje zasilanie do silnika, a druga do sieci zasilającej. Ze względu na zwiększony poziom skomplikowania obwodów, sprawność przetwornicy częstotliwości jest niższa w trakcie pracy silnika. Napęd AFE wymaga wyższego napięcia w obwodzie DC do prawidłowej pracy. W wielu przypadkach to wyższe napięcie oddziałując na silnik, powoduje w rezultacie większe obciążenie jego izolacji. W przypadku, gdy obwód DC w napędach AFE nie jest odseparowany, awaria filtra prowadzi do uszkodzenia całego napędu.

Straty mocy mogą być od 40% do 50% wyższe niż w przypadku przetwornic częstotliwości z obwodem prostownika na wejściu. Kolejna wada, dotyczy częstotliwości zegara używanego w tych urządzeniach do korekty prądu wejściowego. Jej wartość mieści się w przedziale od 3 a 6 kHz.

Dobre (i względnie skomplikowane) urządzenia odfiltrowują częstotliwość zegara przed zwrotem mocy do sieci zasilającej. Obecnie stosowane standardy i przepisy nie obejmują tego zakresu częstotliwości. Dostępne w chwili obecnej analizatory sieci zasilających nie zbierają danych w tym zakresie częstotliwości, przez co nie pozwalają na zmierzenie ich efektów.

Jakkolwiek jednak, można je zauważyć we wszystkich urządzeniach pracujących w zagrożonych sieciach zasilających, dla przykładu w formie zwiększonego poboru prądu. Skutki zauważalne będą dopiero po kilku latach. W konsekwencji, operatorzy powinni zwrócić się do producentów z zapytaniem o poziomy emisji oraz działania zaradcze, pozwalające na uzyskanie niezawodności swoich własnych systemów.



Przegląd rozwiązań służących do redukcji wyższych harmonicznych

Zagadnienia dotyczące zakłóceń o wysokich częstotliwościach (RFI)

Zakłócenia o częstotliwościach radiowych

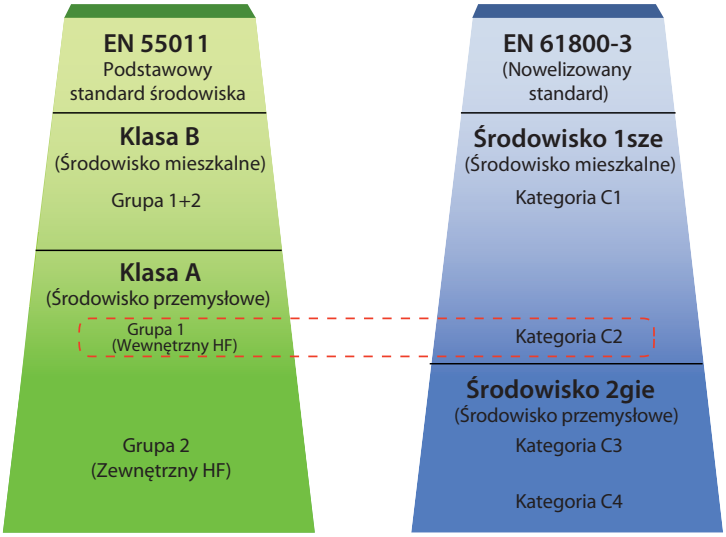
Przetwornice częstotliwości generują zmienne, wirujące pole o zadanej częstotliwości, w oparciu o metodę modulacji szerokości impulsów prostokątnych. Napięcie wyjściowe przetwornicy częstotliwości ma charakter prostokątny. Jest to napięcie impulsowe, w skład którego wchodzą elementy składowe o wysokich częstotliwościach. Przetwornice częstotliwości oraz przewody silnikowe są źródłem wysokich częstotliwości, które następnie poprzez przewody zasilające są przesyłane do sieci elektrycznej. W celu redukcji tego typu zakłóceń, w sieci zasilającej, wykorzystywane są filtry RFI (ang. radio frequency interference).

Ich celem jest zapewnić ochronę urządzeniom przed zakłóceniami przewodzonymi o wysokiej częstotliwości. Mają również za zadanie redukować ilość zakłóceń o wysokiej częstotliwości emitowanych przez urządzenie do kabla, albo emitowanych z kabla zasilającego.

Filtry mają na celu ograniczenie takich emisji zakłóceń do określonego prawem poziomu. Oznacza to, że powinny być zainstalowane w urządzeniach, wszędzie tam gdzie to możliwe, w ramach standardowego wyposażenia. Tak jak w przypadku dławików sieci zasilającej, również parametry filtrów RFI muszą być precyzyjnie określone dla danej aplikacji.

Określone limity poziomów zakłóceń zdefiniowane są w standardzie produktowym nr EN 61800_9 oraz w ogólnym standardzie nr EN 55011.

Porównanie poziomów zakłóceń



Porównanie nowych kategorii C1 do C4 zdefiniowanych w standardzie produktowym EN 61800-3, oraz klas A i B w standardzie zastosowań EN 55011.

Standardy oraz limity zdefiniowane w normach

Dwie normy muszą być przestrzegane, w celu uzyskania pełnej oceny zakłóceń, których przyczyną są częstotliwości radiowe. Pierwszym jest standard środowiskowy EN-55011, który definiuje limity na podstawie wymogów obowiązujących w środowiskach przemysłowych (klasa A1 oraz A2) i mieszkalnych (klasa B). Druga norma to EN-61800-3, standard produktowy dotyczący elektrycznych układów napędowych. Weszła ona w życie w czerwcu 2007 roku i definiuje nowe kategorie (klasa C1 do C4), dla obszarów zastosowań urządzeń.

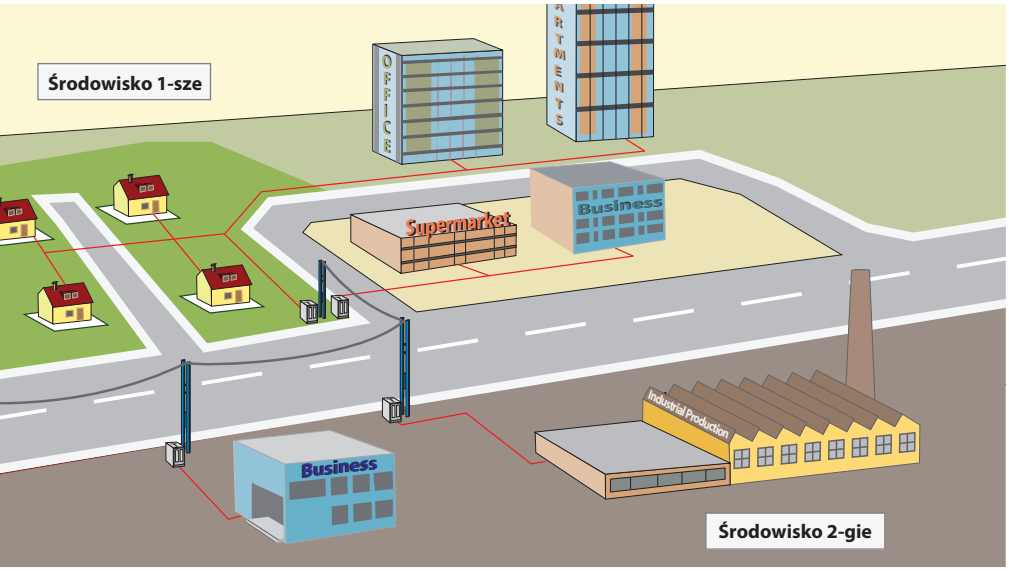
Chociaż są one porównywalne z poprzednimi klasami w kwestii limitów, to oferują szerszy zakres zastosowań w zakresie standardowych produktów.

Note:
W przypadku problemów, operatorzy zakładów są zobowiązani postępować zgodnie ze standardem EN 55011. Producenci przetwornic częstotliwości muszą przestrzegać standardu EN 61800-3.

EN 61800-3 product standard (2005-07) for electrical drive systems				
Klasyfikacja według kategorii	C1	C2	C3	C4
Środowisko	Środowisko 1sze	Środowisko 1sze lub 2gie (decyzja operatora)	Środowisko 2gie	Środowisko 2gie
Napięcie/Prąd	< 1000 V			> 1,000 V w połączeniach > 400 A do sieci IT
Wiedza specjalistyczna w zakresie EMC	Brak wymagań	Instalacja i odbiór techniczny przez eksperta EMC		Wymagany plan EMC
Limity na podstawie standardu EN 5511	Klasa B	Klasa A1 (+ zastrzeżenia)	Klasa A2 (+ zastrzeżenia)	Wartości poza klasą A2

Klasyfikacja nowych kategorii C1 do C4 według standardu produktowego EN 61800-3.

Zagadnienia dotyczące tzw. środowiska pierwszego i drugiego



Klasyfikacja środowisk roboczych w środowisku pierwszym, drugim oraz specjalnym

Miejsce użytkowania jako czynnik decydujący

Ograniczenia dla każdego ze środowisk określane są przez odpowiednie standardy. Powstaje pytanie, jakie to są standardy i według jakiego klucza podejmowana jest decyzja, który rodzaj środowiska jest tym właściwym. Ponownie należy odnieść się do standardów EN 55011 oraz EN 61800-3, które to dostarczają informacji odnośnie elektrycznych układów napędowych i ich komponentów.

Środowisko 1-sze / Klasa B: Środowisko mieszkalne

Wszystkie miejsca, w których urządzenia elektryczne są bezpośrednio podłączone do publicznej sieci energetycznej niskiego napięcia, uwzględniając także obszary lekko uprzemysłowione, klasyfikowane są, jako środowiska mieszkalne, handlowe lub lekko uprzemysłowione. Urządzenia te nie posiadają własnych transformatorów wysokiego lub średniego napięcia rozdzielających zasilanie do odrębnych podsieci. Klasyfikacja do środowiska mieszkalnego dotyczy zarówno miejsc zlokalizowanych wewnątrz, jak i na zewnątrz budynków. Wśród wielu przykładów można wymienić centra biznesowe, budynki mieszkalne, restauracje, punkty usługowe, parkingi samochodowe, ośrodki rozrywki oraz sportu.

Środowisko 2-gie / Klasa A: Środowisko przemysłowe

Wszystkie miejsca, w których urządzenia elektryczne nie są bezpośrednio podłączone do publicznej sieci energetycznej niskiego napięcia, a zamiast tego posiadają własne transformatory wysokiego lub średniego napięcia, klasyfikowane są, jako środowiska przemysłowe. Jako takie, są one wykazane w księgach wieczystych i charakteryzują się specyficznymi warunkami elektromagnetycznymi:

- Obecność aparatów naukowych, medycznych lub przemysłowych;
- Przełączanie dużych obciążeń indukcyjnych lub pojemnościowych;
- Obecność silnych pól magnetycznych (np. ze względu na przepływ prądów o dużych wartościach).

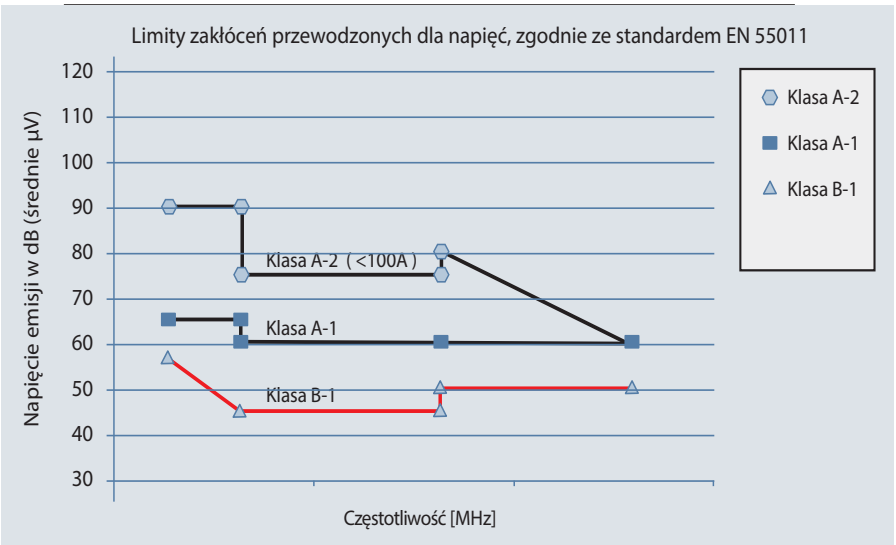
Klasyfikacja do środowiska przemysłowego dotyczy zarówno miejsc zlokalizowanych wewnątrz, jak i na zewnątrz budynków.

Środowisko specjalne

W tym przypadku użytkownik ma możliwość podjęcia samodzielnej decyzji, do którego typu środowiska ma zostać zaklasyfikowany obiekt. Warunkiem koniecznym jest, aby posiadał on własny transformator średniego napięcia oraz aby istniało wyraźne rozgraniczenie od innych obiektów. W granicach tego obszaru, użytkownik jest osobiście odpowiedzialny za spełnienie wymagań wynikających z kompatybilności elektromagnetycznej, niezbędnych do zapewnienia bezproblemowej i bezawaryjnej pracy wszystkich urządzeń w danych warunkach. Wśród wielu przykładów można wymienić centra handlowe, supermarkety, stacje paliwowe, budynki biurowe oraz magazyny.

Bez kompromisów

Jeżeli użytkowana przetwornica częstotliwości nie posiada zgodności z kategorią C1, wówczas urządzenie musi być zaopatrzone w tabliczkę ostrzegawczą. Za wypełnienie tego warunku odpowiedzialny jest użytkownik lub operator. W przypadku wystąpienia zakłóceń, specjalista będzie opierał się na limitach zdefiniowanych dla klas A1 / A2 oraz B (standard EN 55011), podczas eliminowania tychże zakłóceń. Koszt usunięcia problemów z zakresu EMC ponoszony jest przez operatora. Użytkownik ponosi ostateczną odpowiedzialność za prawidłową klasyfikację urządzeń, w odniesieniu do tych dwóch standardów.



Zagadnienia dotyczące ochrony sieci zasilającej

Korekcja współczynnika mocy

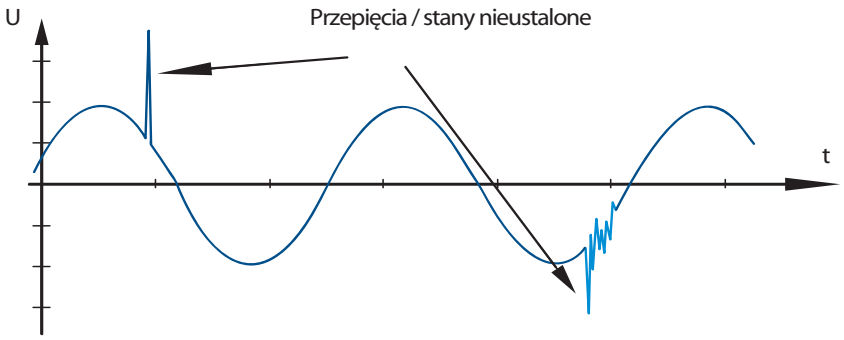
Urządzenia służące korekcji współczynnika mocy mają za zadanie zmniejszenie przesunięcia fazowego (φ) między napięciem a prądem, jak również przesunięcie samego współczynnika mocy bliżej wartości jeden (cos φ). Jest to niezbędne, gdy w systemie mamy do czynienia z dużą ilością obciążeń o charakterze indukcyjnym, takich jak silniki albo dławiki. W zależności od konstrukcji obwodu prądu stałego DC, przetwornice częstotliwości nie pobierają z sieci zasilającej żadnej mocy biernej oraz nie generują przesunięcia fazowego. Wartość współczynnika cos φ jest bliska wartości jeden. Z tego względu, użytkownicy silników o regulowanej prędkości nie mają obowiązku brać ich pod uwagę przy dobieraniu urządzeń służących do korekcji współczynnika mocy, których obecność w systemie może być niezbędna. Jednakże, prąd pobierany przez te urządzenia rośnie, ponieważ przetwornice częstotliwości generują wyższe harmoniczne. Kondensatory szybciej ładują się wraz ze zwiększeniem się zawartości wyższych harmonicznych, a tym samym wydzielają większą ilość ciepłą. Z tego powodu, konieczna jest instalacja dławików razem z urządzeniami do korekcji współczynnika mocy. Dławiki te zapobiegają także powstawaniu rezonansów między indukcyjnościami obciążeń, a pojemnościami urządzeń do korekcji współczynnika mocy. Przetwornice częstotliwości z cos φ < 1 również wymagają zastosowania dławików razem z urządzeniami do korekcji współczynnika mocy. Podczas dobierania przekroju przewodów elektrycznych użytkownik musi wziąć pod uwagę wyższą wartość mocy biernej.

Stany nieustalone w sieci zasilającej

Stany nieustalone to krótkotrwałe skoki napięcia w zakresie kilku tysięcy woltów. Mogą występować we wszystkich rodzajach sieci elektrycznej, zarówno w środowisku mieszkalnym, jak i przemysłowym.

Wyładowania atmosferyczne stanowią podstawową przyczynę powstawania stanów nieustalonych. Niemniej jednak, są one również powodowane przyłączaniem dużych obciążeń do linii zasilającej albo ich odłączaniem, czy także przyłączaniem innych urządzeń, jak chociażby tych służących do korekcji współczynnika mocy. Zwarcia, samoczynne wyzwalanie się wyłączników, jak również sprzężenia indukowane pomiędzy równolegle biegnącymi przewodami, mogą być również przyczyną powstawania stanów nieustalonych.

Standard EN 61000-4-1 przedstawia charakterystykę stanów nieustalonych oraz dostarcza informacji o ilości energii, jaką mogą przenosić. Ich szkodliwe działanie może być ograniczone poprzez zastosowanie różnych metod. Gazowe ochronniki przepięciowe oraz iskierniki używane są do zapewnienia pierwszego poziomu ochrony przed stanami nieustalonymi o wysokiej energii. Dla zapewnienia drugiego poziomu ochrony, większość urządzeń elektronicznych, wykorzystuje warystory (rezystory o nieliniowej charakterystyce rezystancji, zależnej od napięcia elektrycznego), które osłabiają działanie stanów nieustalonych. Przetwornice częstotliwości również wykorzystują tę metodę.



Wyładowania atmosferyczne stanowią najczęstszą przyczynę powstawania stanów nieustalonych w sieci elektrycznej zasilającej zakłady wodociągowe i oczyszczalnie ścieków

Zagadnienia dotyczące pracy z transformatorem lub generatorem rezerwowym

Maksymalne wykorzystanie transformatora

W sieciach niskiego napięcia (400 V, 500 V, oraz 690 V), można stosować napędy z regulowaną prędkością, o mocy znamionowej do około 1,5 MW. Transformator przetwarza średnie napięcie z sieci do wymaganej wartości napięcia. W publicznej sieci energetycznej (środowisko 1: środowisko mieszkalne), zadanie to leży po stronie przedsiębiorstwa energetycznego. W przemysłowych sieciach zasilających (środowisko 2: środowisko przemysłowe, zwykle 500 V lub 690 V), transformator zlokalizowany jest na terenie zakładu u użytkownika końcowego, który to odpowiedzialny jest za zapewnienie energii elektrycznej dla całego obiektu.

Obciążenie transformatorów

W przypadku transformatorów, które zasilają przetwornice częstotliwości, należy mieć na uwadze fakt, że są one dodatkowo obciążane mocą bierną, będącą efektem generowania przez przetwornice częstotliwości wyższych harmonicznych prądów i napięć.

To powoduje wyższe straty i dodatkowe wydzielanie się ciepła. W najgorszym przypadku może to doprowadzić do uszkodzenia transformatora. Transformatory z inteligentnym układem połączeń (kilka transformatorów połączonych ze sobą), mogą również generować wyższe harmoniczne w określonych okolicznościach.

Jakość energii elektrycznej

Aby zapewnić odpowiednią jakość energii elektrycznej w sieci, zgodnie z obowiązującymi standardami, należy posiadać dokładną wiedzę na temat wielkości obciążenia pochodzącego od przetwornic częstotliwości, jaką transformator będzie musiał obsłużyć.

Programy służące do analizy sieci zasilającej, takie jak VLT® MCT 31 Harmonic Calculation, dostarczają dokładnych danych, umożliwiających analizę transformatora pod kątem możliwości zapewnienia przez niego odpowiedniej ilości energii elektrycznej, dla danej wielkości obciążenia pochodzącego od przetwornic częstotliwości.

Uwaga: *Wszystkie przetwornice częstotliwości z serii VLT® AQUA Drive, są standardowo wyposażone w dławiki w obwodzie DC.*

Praca z generatorem rezerwowym

Operatorzy wykorzystują rezerwowe systemy zasilania, gdy konieczne jest zapewnienie nieprzerwanej pracy urządzeń, w przypadku awarii sieci zasilającej. Stosowane są one również, gdy standardowe zasilanie nie jest w stanie zapewnić wystarczającej ilości mocy. Praca równoległa z publiczną siecią energetyczną jest również możliwa w celu uzyskania wyższej mocy zasilania. Jest to powszechna praktyka, gdy konieczne jest także wytwarzanie ciepła, dla przykładu w elektrociepłowniach. Przy takiej formie dostarczania energii elektrycznej osiągany jest wysoki poziom sprawności, wskazany przy tego typu zakładach. W sytuacji, gdy generator rezerwowy dostarcza energię elektryczną, impedancja sieci zasilającej jest zwykle wyższa, niż w przypadku zasilania w energię w standardowy sposób. Powoduje to wzrost współczynnika zawartości harmonicznych. Po właściwym zaprojektowaniu, generatory są w stanie poprawnie pracować w instalacjach zawierających urządzenia, które są źródłem wyższych harmonicznych.

W praktyce, oznacza to, że gdy system jest przełączany z trybu zasilania z sieci elektrycznej, w zasilanie z generatora rezerwowego, należy spodziewać się wzrostu obciążenia podyktowanego obecnością wyższych harmonicznych.

Projektanci instalacji zakładowych oraz operatorzy powinni obliczyć, bądź zmierzyć wartość wzrostu obciążenia, w celu zapewnienia, że jakość parametrów zasilania będzie zgodna z odpowiednimi wymogami prawnymi, zapobiegając tym samym problemom i awariom urządzeń.

Nie powinno dopuszczać się do asymetrycznego obciążenia generatora, ponieważ prowadzi to do dodatkowych strat a także może zwiększyć zawartość harmonicznych. Obecnie jest możliwość wykonania generatora ze specjalnymi konfiguracjami uzwojeń, które umożliwiają redukcję niektórych wyższych harmonicznych (układy 2/3 lub 5/6). Układ 5/6 może zmniejszać zawartość 5ej i 7ej harmonicznej kosztem podwyższenia 3ej, natomiast w układzie 2/3 zmniejszana jest 3cia harmoniczna. Jeśli to możliwe powinno się pamiętać o odłączeniu urządzeń do poprawy współczynnika mocy, gdyż przy obecności baterii kondensatorów mogą powstawać w systemie zasilania zjawiska rezonansowe wywołujące niejednokrotnie wiele komplikacji.

Dławiki albo filtry aktywne mogą tłumić zakłócenia pochodzące od wyższych harmonicznych. Obciążenia o charakterze rezystancyjnym podłączone równolegle, również mają pozytywny wpływ na proces tłumienia zakłóceń, podczas gdy obciążenia o charakterze pojemnościowym powodują wzrost całkowitego obciążenia wskutek nieprzewidywalnego zjawiska rezonansu.

Jeżeli zjawiska te zostaną wzięte pod uwagę, zasilanie pochodzące z generatora umożliwi pracę pewnej ilości przetwornic częstotliwości, zachowując przy tym określoną jakość parametrów tego zasilania. Dużo dokładniejsza analiza możliwa jest przy użyciu oprogramowania do badania parametrów sieci zasilającej, takiego jak program VLT® MCT 31 Harmonic Calculation.

W przypadku obecności w systemie urządzeń generujących składowe o wyższych harmonicznych limity ustalone jak poniżej:

Prostowniki B2 i B6	→ maksymalnie 20% znamionowego obcią żenia generatora
Prostownik B6 z dławikiem	→ maksymalnie 20 – 35% znamionowego obcią żenia generatora, w zależności od konstrukcji układu
Prostownik regulowany B6	→ maksymalnie 10% znamionowego obciążenia generatora

Przedstawione powyżej maksymalne wielkości obciążeń są wartościami zalecanymi, wyznaczonymi na podstawie doświadczenia z pracą z różnego rodzaju instalacjami.

Krok 2: Zagadnienia dotyczące warunków środowiskowych i otoczenia

Właściwa lokalizacja instalacji

Maksymalnie długi czas użytkowania oraz serwisowania przetwornic częstotliwości, jest możliwy wyłącznie przy zapewnieniu odpowiedniego chłodzenia oraz czystego powietrza.

W konsekwencji, odpowiedni wybór miejsca instalacji oraz warunków, w jakich systemy mają być umieszczone, ma decydujący wpływ na długość użytkowania przetwornic częstotliwości.

Instalacja w szafie rozdzielczej, a instalacja na ścianie

Nie ma gotowej odpowiedzi na pytanie czy przetwornica częstotliwości powinna być montowana w szafie, czy może na ścianie. Oba te rozwiązania mają swoje wady i wady.

Montaż w szafie ma tę zaletę, że wszystkie elementy elektryczne i elektroniczne instalowane są blisko siebie i chronione są przez obudowę.

Szafy są dostarczane w pełni skompletowane i gotowe do instalacji na terenie obiektu.

Wadą takiego rozwiązania, jest fakt, że poszczególne elementy mogą na siebie negatywnie oddziaływać, z powodu niewielkich odległości między nimi. Oznacza to, że należy zwrócić szczególną uwagę na rozmieszczenie poszczególnych komponentów w szafie, zgodnie z wymaganiami EMC.

Wyższe są koszty ekranowanych przewodów silnikowych, ponieważ przetwornice częstotliwości i silniki są zwykle znacznie oddalone od siebie.

Montaż na ścianie jest prostszy z punktu widzenia spełnienia wymagań EMC, z powodu niewielkich odległości pomiędzy przetwornicami częstotliwości a silnikami.

Kable ekranowane silników są krótsze, co bezpośrednio wpływa na zmniejszenie kosztów instalacji. Nieznacznie wyższy koszt przetwornic częstotliwości w klasie ochrony obudowy IP54, jest w prosty sposób kompensowany przez niższe ceny kabli i całej instalacji. W praktyce około 70% przetwornic częstotliwości montowanych jest w szafach.

Uwaga:
Przetwornice częstotliwości firmy Danfoss dostępne są w trzech różnych klasach ochrony obudowy:
- *IP00 lub IP20 do instalacji w szafach;*
- *IP54 lub IP55 do instalacji na ścianie;*
- *IP66 w przypadku szczególnie ciężkich warunków otoczenia, takich jak bardzo wysoka wilgotność powietrza, czy też wysokie stężenie pyłów, albo gazów.*

Przetwornice częstotliwości mogą być montowane w sposób zcentralizowany (w szafach) albo rozproszony (blisko silników). Obie te opcje mają swoje zalety jak i wady.

Zagadnienia dotyczące klasy ochronności IP

Przetwornice częstotliwości w obudowach z klasą ochrony IP20 lub IP21 (po prawej) dedykowane są do montażu w szafie. Przetwornice w obudowach z klasą ochrony IP54 lub IP55 (po lewej stronie) zaprojektowane są do instalacji na ścianie lub na ramie.

Klasy ochrony obudowy wg IP, na podstawie normy IEC 60529

		Ochrona przed ciałami stałymi	Ochrona przed niezamierzonym dotknięciem
Pierwsza pozycja(cyfra)	0	(brak ochrony)	(brak ochrony)
	1	≥ 50 mm średnicy	Dłoń
	2	12.5 mm średnicy	Palec
	3	2.5 mm średnicy	Narzędzie
	4	≥ 1.0 mm średnicy	Przewód
	5	pyłoodporność	Przewód
	6	pyłoodporność	Przewód

		Ochrona przed wnikaniem wody	
Druga pozycja(cyfra)	0	(brak ochrony)	
	1	Krople padające pionowo	
	2	Krople padające pod kątem 15°	
	3	Rozpylana woda pod kątem do 60°	
	4	Bryzgana woda	
	5	Strumień wody	
	6	Fale wody	
	7	Chwilowe zanurzenie	
	8	Długotrwałe zanurzenie	

		Dodatkowe informacje szczególnie dla	
Pierwsza pozycja	A		Dłoń
	B		Palec
	C		Narzędzie
	D		Przewód

		Dodatkowe informacje szczególnie dla	
Dodatkowa litera	H	Urządzenia wysokonapięciowe	
	M	Urządzenia poruszające się podczas testu wodnego	
	S	Urządzenia nieruchome podczas testu wodnego	
	W	Warunki pogodowe	

Brakujące cyfry zastępowane są przez znak "x".

Zagadnienia dotyczące projektowania systemu chłodzenia

Zgodność z wytycznymi dotyczącymi temperatury otoczenia

Zewnętrzne warunki otoczenia mają bezpośredni wpływ na proces chłodzenia elementów elektrycznych oraz elektronicznych, znajdujących się w szafie sterowniczej.

Dla wszystkich przetwornic częstotliwości ustalone zostały maksymalne i minimalne wartości temperatury otoczenia. Wartości graniczne tych temperatur określane są w oparciu o parametry zastosowanych komponentów elektronicznych. Przykładowo, temperatura otoczenia dla kondensatorów elektrolitycznych zamontowanych w obwodzie DC przetwornicy częstotliwości, musi utrzymywać się w określonych przedziałach, ponieważ ich pojemność zależy od wartości tej temperatury. Chociaż przetwornice częstotliwości są w stanie działać w temperaturze do -10°C, producenci gwarantują prawidłową pracę, przy znamionowym obciążeniu, wyłącznie do temperatury minimalnej 0°C. Oznacza to, że należy wystrzegać się montowania przetwornic częstotliwości w nieizolowanych pomieszczeniach, w obszarach narażonych na spadek temperatury poniżej 0°C.

Nie należy również przekraczać maksymalnej zalecanej temperatury, ponieważ układy elektroniki są bardzo wrażliwe na ciepło.

Zgodnie z równaniem Arrheniusa, żywotność komponentów elektronicznych ulega skróceniu o 50% po przekroczeniu maksymalnej temperatury ich pracy o każde 10°C. Warunek ten dotyczy również urządzeń zamontowanych w szafach sterowniczych. Nawet przetwornice częstotliwości w obudowach w klasie ochrony IP54, IP55 lub IP66 mogą być użytkowane wyłącznie w zakresach temperatur otoczenia określonych w instrukcjach. Wymaga to czasami zastosowania odpowiedniego systemu chłodzenia w pomieszczeniach lub szafach sterowniczych, w których urządzenia te są zainstalowane. Uniknięcie sytuacji, w których przetwornice częstotliwości są użytkowane w ekstremalnych temperaturach otoczenia, przedłuża ich żywotność i tym samym zwiększa niezawodność całego układu.

Chłodzenie

Przetwornice częstotliwości tracą moc w formie ciepła. Jej ilość, określona w watach, wyspecyfikowana jest w instrukcji technicznej. Należy podjąć odpowiednie czynności, w celu usunięcia nadmiaru ciepła wydzielanego przez przetwornicę częstotliwości, np. poprzez zainstalowanie wentylatorów w drzwiach szaf sterowniczych. Zalecany poziom przepływu powietrza podawany jest w dokumentacji technicznej producenta. Przetwornice częstotliwości muszą być montowane w taki sposób, aby powietrze chłodzące mogło bez żadnych przeszkód przepłynąć przez łopatki wentylatora.

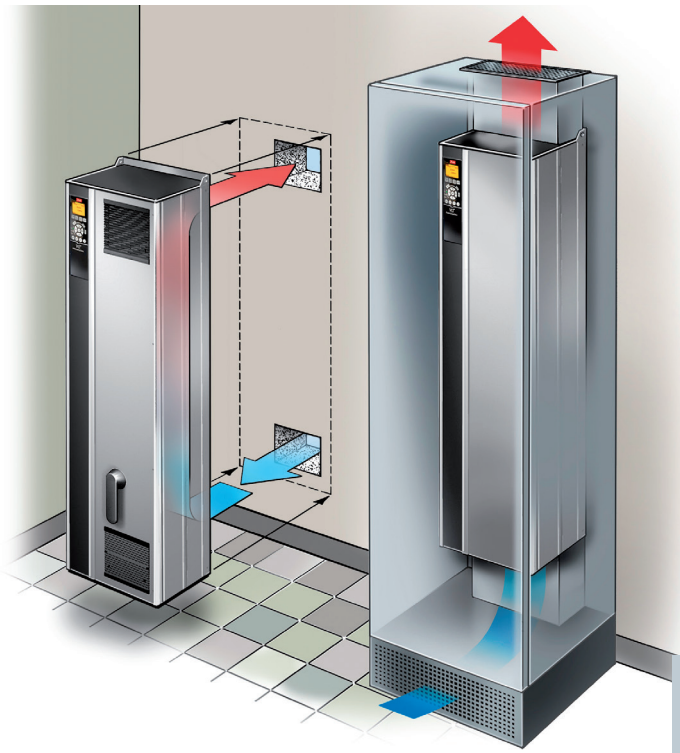
Szczególnie w przypadku przetwornic częstotliwości o klasie obudowy IP20 instalowanych w szafach, istnieje ryzyko niewłaściwej cyrkulacji powietrza z powodu niewielkich odległości między poszczególnymi komponentami elektrycznymi. W rezultacie, powstać mogą obszary o zbyt wysokiej temperaturze. W zaleceniach projektowych znajdują się informacje o minimalnych odległościach, jakie muszą być zachowane, pomiędzy kolejno montowanymi w szafie przetwornicami częstotliwości.

Wilgotność względna

Mimo, że niektóre przetwornice częstotliwości są w stanie pracować w środowisku o wysokiej wilgotności względnej (napędy firmy Danfoss zaprojektowane są do pracy przy wilgotności względnej na poziomie 95%), należy zawsze unikać zjawiska skraplania. Ryzyko powstania zjawiska skraplania, istnieje w sytuacji, gdy przetwornica częstotliwości, bądź któryś z jej komponentów, są chłodniejsze od otaczającego ich powietrza. W takiej sytuacji, wilgoć znajdująca się w powietrzu może ulec skropleniu na elementach elektronicznych.

Po ponownym załączeniu przetwornicy częstotliwości, kropelki wody znajdujące się jej powierzchni, mogą być przyczyną powstania zwarcia. Dzieje się tak zwykle w sytuacji, gdy przetwornica częstotliwości, została wcześniej odłączona od sieci zasilającej. Zalecane jest instalowanie grzałek w szafach sterowniczych, gdy możliwe jest pojawienie się zjawiska skraplania, z powodu istniejących warunków otoczenia. Innym rozwiązaniem jest utrzymywanie przetwornicy częstotliwości w trybie gotowości (cały czas podłączonej do sieci zasilającej). Umożliwi to zmniejszenie prawdopodobieństwa pojawienia się zjawiska kondensacji pary wodnej. Niemniej jednak, należy upewnić się, czy ilość traconej na ciepło energii jest wystarczająca do utrzymania suchości obwodów elektronicznych w przetwornicy częstotliwości.

Uwaga: *Niektórzy producenci, w specyfikacjach technicznych, określają minimalne odległości, jakie należy zachować po bokach oraz od dołu i góry montowanej przetwornicy częstotliwości.*



Inteligentna konstrukcja systemu chłodzenia przetwornic częstotliwości VLT®. 85% strat cieplnych odprowadzanych jest na zewnątrz szafy sterowniczej poprzez wydzielony kanał chłodzenia radiatora.

Zagadnienia związane ze specjalnymi warunkami użytkowania

Parametry otoczenia	Jednostka	Klasa				
		3C1	3C2		3C3	
			Średnia wartość	Maks. wartość	Średnia wartość	Maks. wartość
Sól morska	mg/m3	Nie	Mgiełka solna		Mgiełka solna	
Tlenki siarki	mg/ m3	0.1	0.3	1.0	5.0	10
Siarkowodór	mg/ m3	0.01	0.1	0.5	3.0	10
Chlor	mg/ m3	0.01	0.1	0.03	0.3	1.0
Chlorowodór	mg/ m3	0.01	0.1	0.5	1.0	5.0
Fluorowodór	mg/ m3	0.003	0.01	0.03	0.1	3.0
Amoniak	mg/ m3	0.3	1.0	3.0	10	35
Ozon	mg/ m3	0.01	0.05	0.1	0.1	0.3
Azot	mg/ m3	0.1	0.5	1.0	3.0	9.0

Klasyfikacja na podstawie normy IEC 60721-3-3; wartości średnie to spodziewane wartości długoterminowe. Maksymalne wartości dotyczą tymczasowych wartości szczytowych, które nie utrzymują się dłużej niż 30 minut dziennie.

Wymagające warunki środowiska i obecność gazów agresywnych

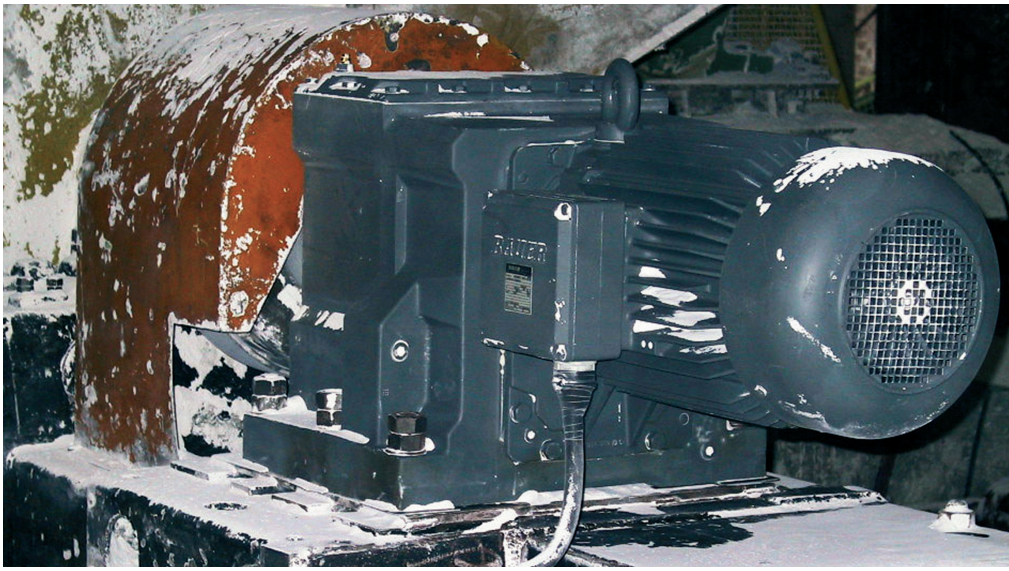
Gazy żrące jak siarkowodór, chlor lub amoniak, często występują w takich miejscach jak oczyszczalnie ścieków bądź baseny. Zanieczyszczone powietrze chłodzące może skutkować stopniowym rozkładem elementów elektronicznych i obwodów drukowanych w przetwornicach częstotliwości. Jeżeli otaczające powietrze jest w ten sposób zanieczyszczone, operator lub inżynier zakładowy powinien zamontować przetwornicę częstotliwości w innym miejscu.

Powinno to być miejsce, w którym prawdopodobieństwo pojawienia się zanieczyszczenia jest niewielkie (inny budynek, uszczelniona szafa sterownicza z wymianą ciepła, itp.). Innym rozwiązaniem jest zamówienie przetwornicy częstotliwości, której płytki drukowane obwodów elektronicznych są dodatkowo pokryte lakierem ochronnym, zabezpieczającym przed szkodliwymi warunkami środowiska.

Bezpośrednią oznaką obecności szkodliwych warunków środowiska jest korozja elementów miedzianych. Jeżeli szybko zmieniają one kolor na czarny, tworzą się na nich bąble lub nawet następuje ich rozkład, należy wówczas zastosować dodatkowe pokrycie ochronne. Szczegółowe informacje o szkodliwych czynnikach środowiska i ich stężeniu, przed którymi jest w stanie zabezpieczyć przetwornicę częstotliwości warstwa ochronna, zawarte są w międzynarodowym standardzie IEC 60721-3-3.

Uwaga: *Na etapie projektowania konieczne jest przeanalizowanie kwestii źródła pochodzenia powietrza służącego do chłodzenia urządzeń elektronicznych. Przykładowo w oczyszczalni ścieków należy unikać wykorzystywania do procesu chłodzenia, powietrza pochodzącego z obszaru dopływu ścieków, natomiast w przypadku basenów należy unikać powietrza z obszarów uzdatniania wody.*

Uwaga: *Układy elektroniki w przetwornicach częstotliwości VLT® AQUA Drive są standardowo pokryte powłoką ochronną w klasie 3C2. Jako opcja dostępna jest powłoka ochronna w klasie 3C3.*



Narażenie na kurz i pył

Instalacja przetwornic częstotliwości w środowiskach wystawionych na działanie pyłu i kurzu jest w praktyce nie do uniknięcia. Kurz ten osadza się we wszystkich miejscach i wnika nawet do najdrobniejszych szczelin. Nie dotyczy to tylko przetwornic częstotliwości instalowanych na ścianie lub na ramie, z wysokim stopniem ochrony obudowy IP55 lub IP66, lecz również tych z IP21 lub IP20 montowanych w szafie.
Trzy aspekty opisane poniżej muszą zostać wzięte pod uwagę, gdy przetwornice częstotliwości mają być montowane w takich środowiskach.

Ograniczone chłodzenie

Kurz osadza się na powierzchni przetwornic częstotliwości, w ich wnętrzu na obwodach drukowanych i innych komponentach elektronicznych. Osad taki działa jak powłoka izolacyjna, utrudniając odprowadzanie wydzielającego się ciepła. Obniża to sprawność procesu chłodzenia.

Urządzenia nagrzewają się, przez co szybciej ulegają starzeniu i w konsekwencji żywotność całej przetwornicy częstotliwości ulega skróceniu. To samo dzieje się, gdy osady kurzu gromadzą się na powierzchni radiatora, znajdującego się z tyłu przetwornicy częstotliwości.

Wentylatory chłodzenia

Przepływ powietrza chłodzącego przetwornice częstotliwości generowany jest przez wentylatory, które zlokalizowane są zazwyczaj z tyłu tych urządzeń. Łopatki wentylatorów posiadają małe łożyska, które ulegają ścieraniu, w wyniku przedostającego się do nich kurzu. Prowadzi to do awarii wentylatorów spowodowanych uszkodzeniem łożysk.

Maty filtrujące

Przetwornice częstotliwości, w szczególności dużych mocy, wyposażone są w wentylatory chłodzenia, które wydalają ciepłe powietrze z wnętrza urządzenia.

Powyżej określonego rozmiaru, wentylatory te zaopatrzone są w odpowiednie maty filtrujące, zapobiegające przedostawaniu się pyłu do wnętrza urządzenia. Maty te szybko zapychają się, jeżeli znajdują się w środowisku o wysokim stopniu zapylenia. Wówczas wentylatory nie będą w stanie odpowiednio chłodzić komponentów znajdujących się wewnątrz przetwornic częstotliwości.

Uwaga: *Gdy mamy do czynienia z warunkami opisanymi powyżej, zalecane jest przeprowadzanie okresowego czyszczenia przetwornic częstotliwości przy okazji wykonywania innych czynności związanych z utrzymaniem ruchu. Należy wydmuchać pod ciśnieniem kurz i pył, zalegający na radiatorze i wentylatorach, jak również oczyścić maty filtrujące.*

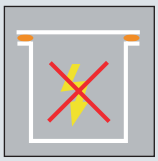
Zagadnienia dotyczące pracy w środowisku grożącym wybuchem

Środowiska grożące wybuchem

Ex d: **Ochrona przeciwogniowa**

W przypadku ochrony przed zapłonem o klasie "d" urządzenie jest tak zaprojektowane, aby gwarantowało, że w przypadku powstania iskry w obszarze chronionym (np. wewnątrz obudowy), nie będzie ona w stanie wyjść poza jego obręb.

Ex e: **Zwiększony poziom bezpieczeństwa**



W przypadku ochrony przed zapłonem o klasie "e", ochrona ta obejmuje środki zapobiegające pojawieniu się energii umożliwiającej wytworzenie iskry.

Uwaga: *Nigdy nie należy umieszczać przetwornic częstotliwości w obszarze zagrożonym wybuchem. Instalowane muszą być w szafach, znajdujących poza takim obszarem. Zalecane jest stosowanie filtra sinusoidalnego na wyjściu przetwornicy częstotliwości, ponieważ eliminuje on gwałtowne przyrosty i zmiany napięcia dU/dt oraz skoki napięcia Upeak. Przewody silnikowe powinny być możliwie krótkie, ze względu na spadki napięć.*

Uwaga: *Przetwornice częstotliwości serii VLT® AQUA Drive firmy Danfoss z opcją MCB 112, wyposażone są w czujniki termistorowe certyfikowane według PTB, do zastosowania w potencjalnie wybuchowych atmosferach. Nie jest wymagane stosowanie ekranowanych przewodów silnikowych, gdy przetwornice częstotliwości typu VLT® pracują z zainstalowanymi na ich wyjściu filtrami sinusoidalnymi.*

Układy napędowe często instalowane są w potencjalnie wybuchowych środowiskach. Jednym z takich przykładów jest obszar, w którym znajdują się ścieki w oczyszczalniach. Jeżeli w takich miejscach stosowane są przetwornice częstotliwości do regulowania prędkości silników, wówczas muszą zostać spełnione specjalne warunki. Podstawą jest tutaj dyrektywa Unii Europejskiej o numerze 94/9/EC, zwana również dyrektywą ATEX. Definiuje ona sposób stosowania i użytkowania sprzętu i urządzeń ochronnych w środowiskach zagrożonych wybuchem. Dyrektywa ta harmonizuje przepisy i wymagania w całej Unii Europejskiej w zakresie działania urządzeń elektrycznych i elektronicznych w potencjalnie wybuchowych atmosferach, gdzie jest obecność szkodliwych pyłów lub gazów.

Jeżeli stosowane są przetwornice częstotliwości do regulowania prędkości silników w obszarach, w których występuje prawdopodobieństwo wystąpienia wybuchu, wówczas silniki takie muszą być wyposażone w systemy monitorujące wartość temperatury, wykorzystujące czujniki temperatury typu PTC. Stosowane mogą być silniki wyposażone w zabezpieczenia przeciwiskrowe klasy „d" lub „e". Takie klasy ochrony przeciwiskrowej różnią się między sobą sposobem zapobiegania zapłonowi medium wybuchowego. W praktyce, przetwornice częstotliwości rzadko są stosowane z silnikami klasy „e". Tego typu zestawienie musi być zatwierdzone jako cały układ, na co składa się staranne przygotowanie opracowań oraz przeprowadzanie kosztownych testów. Niemniej jednak, firma PTB w Braunschweig (Niemcy) opracowała nową procedurę zatwierdzania, dzięki której stosowanie regulatorów prędkości z silnikami klasy „e" będzie w przyszłości bardziej przystępne. Nowa koncepcja przewiduje akceptację samego silnika, przy dodatkowym zdefiniowaniu określonych wymogów dla systemu monitoringu termicznego w procesie badań homologacyjnych typu EC. Poza zatwierdzeniem układu termistorowego PTC, również ograniczenia prądu, uzależnione od prędkości, są wymagane, aby rozwiązać problem zmniejszonego chłodzenia samo wentylujących się silników z regulowaną prędkością.

Chociaż nie wymaga to odrębnego zatwierdzenia dla silników klasy „d", instalowanie okablowania w tym obszarze jest bardzo skomplikowane. Najpowszechniej stosowanymi silnikami są te z klasą ochrony „de". W takim przypadku, sam silnik posiada klasę ochrony przeciwiskrowej „d", podczas gdy instalacja połączeniowa wykonywana musi być zgodnie z wymaganiami dla klasy ochrony „e". Wymagania dla połączeń klasy „e" obejmują maksymalne napięcie, które może być podane w takim obszarze. Ze względu na modulację szerokości impulsów napięcia wyjściowego, w większości przetwornic częstotliwości, mamy na wyjściu skoki napięcia przekraczające dopuszczalne wartości dla klasy ochrony „e". W praktyce, stosowanie filtra sinusoidalnego na wyjściu przetwornicy częstotliwości, jest skutecznym sposobem na tłumienie tego typu zjawiska.

Oznakowanie urządzeń do pracy w potencjalnie wybuchowych środowiskach, zgodnie z dyrektywą produktową ATEX (94/9/EC).

Krok 3: Zagadnienia dotyczące silników i okablowania

Minimalne klasy sprawności silników

Wymagany minimalny poziom sprawności

Klasyfikacja sprawności powstała w 1998 roku, w wyniku dobrowolnego zobowiązania się Europejskiego Komitetu Producentów Urządzeń Elektrycznych i Układów Energoelektronicznych (CEMEP). Poczynając od lata 2011 roku, trójfazowe silniki asynchroniczne, znajdujące się na obszarze Unii Europejskiej podlegają obowiązkowym standardom dotyczącym minimalnej sprawności (MEPS). Przepisy Unii Europejskiej uwzględniają coraz bardziej surowe wymagania związane ze sprawnością silników, których implementacja rozciągnięta jest w czasie do roku 2017.

Podstawa dla tych minimalnych klas sprawności, zwanych również standardami minimalnej wydajności energetycznej (ang. MEPS – minimum energy performance standards), tworzona jest w oparciu o klasy IE (ang. IE - International Efficiency classes), zdefiniowane w standardzie IEC 60034_30, które są powszechnie uznawane. Limity w tych klasach, pokrywają się częściowo z tymi z klas Eff, stosowanych obecnie w Europie.

Klasy IE oraz Eff: główne różnice

Chociaż limity w obu standardach są porównywalne, różnica kryje się w metodach określania sprawności. Pomiar sprawności w klasach Eff opiera jest na określeniu poszczególnych strat (IEC 60034_2:1996). Metoda ta pochodzi sprzed 100 lat. W odróżnieniu od tego sposobu, sprawność w klasach IE określana jest przy zastosowaniu bardziej precyzyjnych metod.

Wyniki uzyskiwane przy użyciu metody przyjętej dla klas IE, są dla urządzeń o mocy do 10kW, zazwyczaj od 2 do 3% gorsze od starej metody i około 1% gorsze dla zakresu mocy 100 kW i wyżej. Standard uwzględnia te różnice przy harmonizowaniu klas IE oraz Eff.

Poza klasami od IE1 do IE3 zdefiniowanych w standardzie IEC 60034-30, w projekcie kolejnej wersji standardu o numerze IEC 60031-31 uwzględniono nową klasę: IE4. Klasy IE1 do IE3 są w głównej mierze zorientowane na silniki zasilane bezpośrednio z sieci elektrycznej, podczas gdy IE4 bierze pod uwagę także aspekty związane z silnikami z regulacją prędkości.

Klasy zgodnie z IEC 60034-30	Klasy Eff
IE1 (standardowa sprawność)	Porównywalna do Eff2
IE2 (wysoka sprawność)	Porównywalna do Eff1
IE3 (najwyższa sprawność)	Około 15-20% lepsza niż IE2

Klasy sprawności IE1 - IE3 zdefiniowane są w międzynarodowym standardzie IEC 60034-30. Klasy Eff oparte są na dobrowolnym porozumieniu zawartym między Unią Europejską a organizacją CEMP w 1998 roku.

Trójfazowe silniki objęte klasyfikacją

Zgodność z MEPS jest wymagana dla silników trójfazowych w poniższych przypadkach:

- Praca S1 (praca ciągła) lub S3 (praca przerywana) w którym czasem pracy rzeczywistej silnika przekracza 80% całego cyklu (praca+postój)
- Silniki 2,4 i 6 polowe w zakresie mocy 0.75 do 375 kW
- napięcie znamionowe do 1000 V.

Wprowadzenie MEPS ma na celu zredukowanie zużycia energii. Jednakże, w rzadkich przypadkach podejście to może skutkować zwiększeniem zużycia energii elektrycznej. Z tego powodu, Rozporządzenie Unii Europejskiej nr 640/2009 opisuje uzasadnione techniczne wyjątki z różnych obszarów zastosowania.

Uwzględnione są np.:

- Silniki znajdujące się w środowisku grożącym wybuchem (zgodnie z dyrektywą 94/9/EC) oraz silniki hamujące
- Specjalnie zaprojektowane silniki do użytku w jednych z niżej podanych warunkach pracy:
  - temperatura otoczenia powyżej 40°C,
  - temperatura otoczenia poniżej 15°C (0° dla silników chłodzonych powietrzem); temperatura pracy powyżej 400°C; temperatura wody chłodzącej poniżej 5°C albo powyżej 25°C,
  - praca na wysokości przekraczającej 1,000 m,
  - silniki w pełni zintegrowane z produktem, takie jak motoreduktory, albo urządzenia całkowicie otoczone ośrodkiem płynnym np. pompy głębinowe

W Europie, silnik w motoreduktorze nie jest uważany jako element integralny i podlega odrębnym pomiarom. Podobna metoda stosowana jest w przypadku specjalnych silników. Pomiar odbywa się w odniesieniu do silnika w wersji podstawowej, a klasa sprawności przeliczana jest w zależności od jego wariantu.

Zagadnienia dotyczące klasyfikacji IE silników

Harmonogram wdrażania MEPS

Harmonogram zawarty w rozporządzeniu Unii Europejskiej przewiduje stopniowe podnoszenie wymogów dotyczących sprawności silników. Po upłynięciu podanych terminów, wszystkie silniki trójfazowe objęte rozporządzeniem muszą spełniać wymagania określonej klasy sprawności, jeżeli mają być sprzedawane na terenie Europy.

Silniki klasy IE2 zasilane z przetwornic częstotliwości są również przyjmowane jako rozwiązanie alternatywne MEPS do planowanej klasy IE3.

Zgodność z klasą IE3 albo alternatywną dla IE2 z przetwornicą częstotliwości musi być zapewniona na terenie zakładu.

	Zakres mocy	MEPS	Alternatywa MEPS
Od 16 czerwca 2011	0.75 – 375 kW	IE2	-
Od 1 stycznia 2015	0.75 – 7.5 kW	IE2	-
	7.5 – 375 kW	IE3	IE2 z przetwornicą częst.
Od 1 stycznia 2017	0.75 – 375 kW	IE3	IE2 z przetwornicą częst.

Harmonogram wdrażania programu MEPS

Zgodność ze wytycznymi dotyczącymi wymiarowania - standard EN 50347

Silniki a synchroniczne trójfazowe zgodne z klasami IE2 oraz IE3 są często większe niż silniki o niższej sprawności. Może to prowadzić do problemów związanych z wymianą starszych silników.

Większość silników o klasie IE2 spełnia wytyczne dotyczące wysokości wału oraz wymiarów, ustalonych w standardzie EN 50347, chociaż konstrukcja jest często dłuższa. W wielu przypadkach, niewielkie 50 Hz silniki o najwyższej klasie sprawności IE3, nie będą spełniać wymagań normy EN 50347 dotyczących wymiarów montażowych. Osoby odpowiedzialne za wymiany silników powinni wziąć ten fakt pod uwagę.

Rozwiązaniem alternatywnym dla silników klasy IE3 są silniki klasy IE2 z dołączoną przetwornicą częstotliwości.

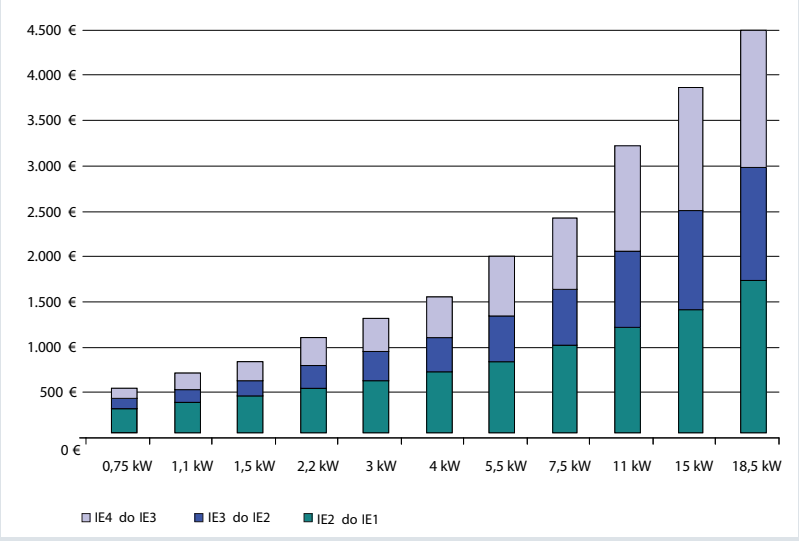
	Silnik		
	IE1	IE2	IE3
Wysokość wału (EN 50347)	Tak	Tak	Większy
Wymiary zewnętrzne (EN 50347)	Tak	Tak	Większy
Długość silnika	Tak	Dłuższy	Większy

Należy się spodziewać, że silniki trójfazowe synchroniczne o klasie IE2 oraz IE3 nie będą w stanie spełnić wytycznych dotyczących wymiarów montażowych zdefiniowanych w standardzie EN 50347.

Efektywność ekonomiczna

Właściwym pytaniem dotyczącym wypuszczenia silników IE jest: jaka jest ich efektywność ekonomiczna? Wyższa sprawność jest osiągnięta częściowo poprzez zastosowania odpowiednio większej ilości materiałów w silniku. W zależności od wielkości silnika, należy przyjąć, że silnik o wyższej klasie sprawności kosztuje około od 10 do 20% więcej.

W praktyce, ten dodatkowy koszt może zostać szybko zrekompensowany. Wykres przedstawia koszt energii uzyskany przy zastosowaniu silnika o klasy IE w porównaniu z silnikiem o wyższej klasie IE. Ta uproszczona analiza powstała w oparciu o wyniki uzyskane podczas ciągłej pracy przy znamionowym obciążeniu, 60,000 godzinach roboczych oraz cenie energii elektrycznej wynoszącej 8 Euro centów za 1 kWh.



Koszt energii elektrycznej silnika o klasie IE w porównaniu z kosztem energii silnika o wyższej klasie IE.

***Uwaga:** Pełen tekst Rozporządzenia Unii Europejskiej nr 640/2009 można pobrać nieodpłatnie ze strony internetowej www.eur-lex.europa.eu.*

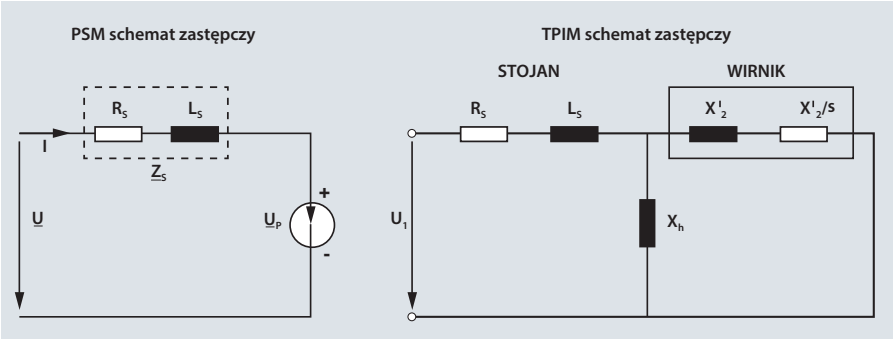
Zagadnienia dotyczące silników EC oraz PM

Wiele nazw dla tej samej technologii

Zwiększenie sprawności trójfazowego silnika indukcyjnego (TPIM – three-phase induction motor) wymaga ogromnego wysiłku. Wskutek tego silnik synchroniczny z magnesami staje się bardzo dobrą alternatywą. W porównaniu z silnikami indukcyjnymi zapewniającymi porównywalny poziom sprawności (np. o klasie IE3), mają one dużo bardziej kompaktową budowę.

Użytkownik może napotkać wiele rodzajów pod-kategorii tych silników, noszących różne nazwy. Skróty „PM" (ang. permanent magnet – magnes trwały) oraz „PMSM" (ang. permanent magnet synchronous motor – silnik synchroniczny z magnesami trwałymi), są często używane w przemyśle, podczas gdy określenia „EC" (eletrically commutated – o komutacji elektronicznej) oraz „BLDC" (brushless direct current – bezszczotkowy silnik prądu stałego) są częściej stosowane w automatyce budynkowej.

Różnorodność nazw nadawanych silnikom z magnesami trwałymi można zilustrować biorąc jako przykład silniki EC. Silniki EC są zwykle wykorzystywane w przemyśle, jako serwonapędy albo silniki krokowe. Przy niewielkiej kompaktowej budowie, obejmują zakres mocy do około 300 W. Najpopularniejszym napięciem zasilania jest 24 V. Sytuacja jest inna w aplikacjach wentylatorowych w automatyce budynkowej. W tych sytuacjach, silniki EC jedno- i trójfazowej pracują w małych aplikacjach wentylatorowych, gdzie wymagany zakres mocy wynosi pojedyncze kilowaty.



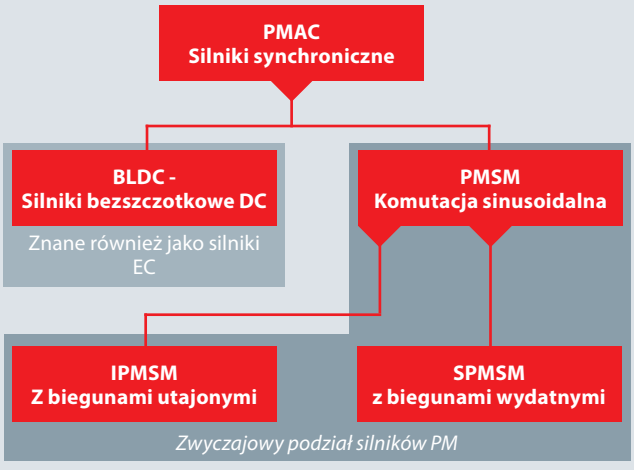
Porównanie schematów zastępczych silników PMSP i TPIM pokazuje brak start w wirniku w silnikach PM/EC. Dzięki temu mają one wyższą sprawność, niż silniki trójfazowe indukcyjne.

Technologia

Ze względu na wbudowane magnesy trwałe, silniki o stałym wzbudzeniu nie wymagają oddzielnego uzwojenia wzbudzającego. Niemniej jednak, muszą być napędzane przez sterowniki elektroniczne, które wytwarzają wirujące pole magnetyczne. Praca z zasilaniem bezpośrednio z sieci nie jest ogólnie możliwa, a jeżeli już, to przy zredukowanej sprawności. Aby kontrolować silnik, komutator elektroniczny (np. przetwornica częstotliwości) musi być w stanie monitorować na bieżąco pozycję wirnika. W tym celu wykorzystywane są dwie metody, z sygnałem sprzężenia zwrotnego o bieżącej pozycji wirnika, za pośrednictwem czujnika lub enkodera, bądź bez sprzężenia zwrotnego.

Wysoka sprawność

Dzięki zastosowaniu magnesów trwałych w wirniku, praktycznie wyeliminowano w nim straty. Prowadzi to do zwiększenia sprawności.



Zwyczajowy podział silników PM

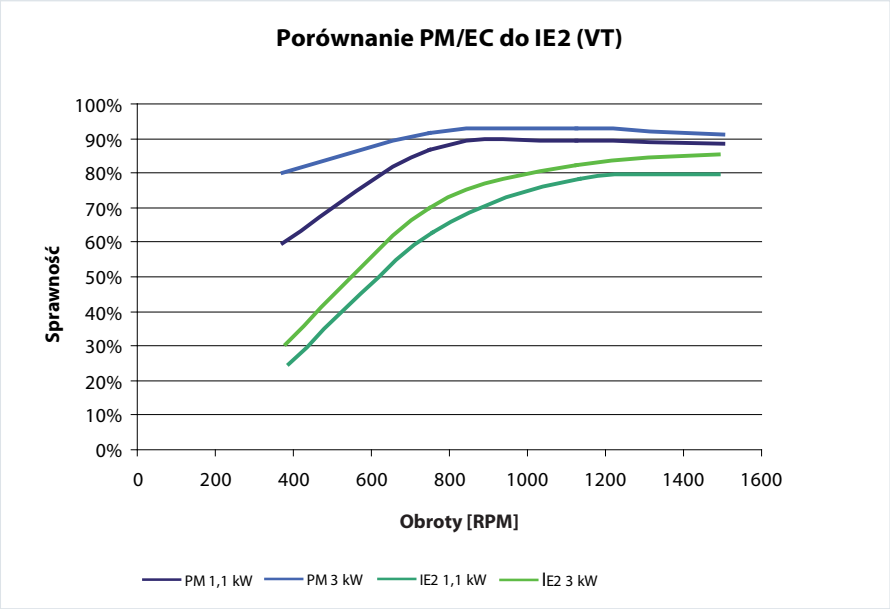
Koncepcja EC+ firmy Danfoss

pozwala na zastosowanie silników PM, o standardowych wymiarach IEC, z przetwornicami częstotliwości Danfoss VLT®. Firma Danfoss zintegrowała w istniejących typach przetwornic VLT® wszystkie niezbędne algorytmy sterowania Oznacza to, że z punktu widzenia operatora nie ma żadnych różnic w przygotowaniu instalacji. Wystarczy wprowadzić do przetwornicy częstotliwości dane znamionowe silnika i użytkownik od razu widzi korzyści, technologii EC wynikające z wysokiej sprawności silnika.

Zalety koncepcji EC+

- Nieograniczony wybór technologii silników: PM lub asynchroniczne, przy użyciu tej samej przetwornicy częstotliwości
- Instalacja i obsługa urządzeń pozostają niezmienione
- Niezależność od producenta przy doborze poszczególnych komponentów
- Wyższa sprawność systemu dzięki połączeniu komponentów o optymalnym poziomie sprawności
- Możliwa modernizacja istniejących układów
- Szeroki zakres mocy znamionowych dla silników standardowych oraz PM

Zagadnienia dotyczące silników EC oraz PM



Powyższy wykres pokazuje pomiary wykonane przez niezależny instytut. Liczby uwzgledniają straty generowane przez układy sterowania silników.

Praca w trybie nadsynchronicznym

Teoretycznie możliwa jest praca silników EC lub PM powyżej ich znamionowej częstotliwości (prędkości), jeżeli jest na to zgoda ich producenta. W przypadku silników TIPM, mówimy w takim przypadku o pracy nadsynchronicznej albo pracy z osłabionym wzbudzeniem. Osłabione wzbudzenie pozwala silnikowi na pracę przy wyższych prędkościach, ale z niższym momentem obrotowym na wale. W przeciwieństwie do silników TIPM, w silnikach EC lub PM osłabienie wzbudzdnia uzyskać można przez zastosowanie odpowiednich sygnałów sterujących. Tak jak w przypadku TIPM, powoduje to zredukowanie momentu obrotowego na wale. Należy koniecznie skontaktować się z producentem silnika, aby ten określił czy dany silnik jest przystosowany do pracy z prędkością nadsynchroniczną.

W odniesieniu do przetwornicy częstotliwości, ten rodzaj pracy nie stanowi problemu, chyba że siła przeciwelektromotoryczna EMF (ang. back ElectroMotive Force) wytwarzana przez silnik EC lub PM, poprzez magnesy trwałe, przekroczy dopuszczalne wartość napięcia w jej obwodzie DC.

Dla przykładu, silnik z siłą przeciwelektromotoryczną EMF wynoszącą 200 V przy 1,000 obr/min może pracować z prędkością do 3,192 obr/min, z przetwornicą częstotliwości, przy maksymalnym dopuszczalnym napięciu obwodu DC 900 V. Chociaż silnik może pracować nawet z wyższymi prędkościami, stwarza to ryzyko awarii elektrycznej przetwornicy w momencie pojawienia się błędu, ponieważ napięcie przekracza 900 V. Dla przykładu, sytuacja taka może zaistnieć w przypadku zaniku napięcia zasilającego.

Standardowa obudowa IEC

W wielu zastosowaniach instalowane są trójfazowe silniki indukcyjne, których wymiary montażowe oraz wielkości ram zapewniają zgodność ze specyfikacjami IEC EN 50487 lub IEC 72.

Jednak, inne typy konstrukcji są do dzisiaj używane w większości silników PM. Serwosilniki są typowymi przykładami. Przy ich zwartej budowie i długich wirnikach, zostały zoptymalizowane dla procesów, charakteryzujących się wysoką dynamiką.

W celu wykorzystania, w istniejących zastosowaniach przemysłowych, wysokiej sprawności silników z magnesami trwałymi, są one obecnie dostępne w standardowych obudowach IEC. Pozwala to na wymianę starszych modeli standardowych trójfazowych silników indukcyjnych (TIPMs) na silniki o wyższej sprawności. Umożliwia to również inżynierom mechanikom oraz firmom zajmującym się nadzorem technicznym, wykorzystanie silników o wyższej sprawności bez konieczności wprowadzania jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych w istniejących urządzeniach.

Ze względu na konieczność zapewnienia kompatybilności, oba rodzaje silników PM są dostępne na rynku.

Opcja 1: Ta sama wielkość ramy
Silniki PM / EC oraz TPIM mają identyczne wymiary ramy.

Przykład: Silnik TPIM o mocy 3 kW może zostać wymieniony na silnik EC / PM tej samej wielkości.

Opcja 2: Ta sama moc
Silniki PM / EC oraz TPIM posiadają identyczną moc znamionową. W teorii, PMSM mogą być wykonywane w mniejszych obudowach niż TPIM o porównywalnej mocy. W zależności od wielkości ramy, gęstość mocy silnika PM / EC wynosi około 1.5 do 2 razy więcej niż w przypadku TPIM.

Przykład 1: Silnik typu TPIM o mocy 3 kW może zostać zamieniony na silnik typu EC / PM z taką samą wielkością ramy jak silnik 1.5 kW.
Przykład 2: Silnik typu TPIM o mocy 3 kW może zostać zamieniony na silnik typu EC / PM z taką samą wielkością ramy i mocą 6 kW.

Należy pamiętać, że do regulowania silnika PM / EC zawsze konieczny jest sterownik.

Zagadnienia dotyczące doboru odpowiedniego silnika do pracy z przetwornicą częstotliwości

Kryteria doboru

Przedstawione poniżej aspekty muszą zostać wzięte pod uwagę w odniesieniu do silników regulowanych przez przetwornice częstotliwości:

- obciążenia izolacji
- zagrożenia łożysk
- naprężenia termiczne

Obciążenia izolacji

Praca silnika z przetwornicą częstotliwości powoduje wyższe obciążenia uzwojeń silnika, niż w sytuacji gdy jest on zasilany bezpośrednio z sieci. Jest tak, przede wszystkim, ze względu na strome krawędzie impulsów napięcia zasilającego (dU/dt) oraz kable silnika, w zależności od długości i typu okablowania, sposobu ich prowadzenia, itp..

Strome krawędzie impulsów powstają w skutek szybkiego przełączania się urządzeń półprzewodnikowych w części falownikowej przetwornicy częstotliwości. Pracują przy wysokiej częstotliwości przełączania w zakresie od 2 do 20 kHz oraz z bardzo krótkimi czasami przełączania, w celu odtworzenia fali sinusoidalnej.

W połączeniu z okablowaniem silnika, strome krawędzie impulsów są odpowiedzialne za następujące zjawiska zachodzące w silniku:

- Wysokie napięcia impulsów ULL na zaciskacj silnika powodują dodatkowe obciążenie izolacji między uzwojeniami
- Wyższe napięcia impulsowe pomiędzy uzwojeniami a laminatem ÛLE powodują dodatkowe obciążenia izolacji szczeliny.
- Wyższe napięcia impulsowe pomiędzy uzwojeniami Ûwdg powodują znaczne obciążenia izolacji przewodów w uzwo jeniach.

Zagrożenia łożysk

W niekorzystnych warunkach, silniki regulowane przez przetwornice częstotliwości mogą zawieść, ze względu na uszkodzenia łożysk spowodowane prądami łożyskowymi. Prąd przepływa w łożysku, gdy napięcie w szczelinie łożyska jest na tyle wysokie, by penetrować warstwę izolacji tworzoną przez środek smarujący. W takim przypadku, zbliżająca się a awaria sygnalizowana jest przez narastający poziom hałasu w łożysku. Prądy łożyskowe to m.in. prądy wirowe wysokiej częstotliwości, prądy doziemne oraz prądy EMD (erozja iskrowa).

Który z opisanych powyżej prądów może prowadzić do uszkodzenia łożysk, uzależnione jest od następujących czynników:

- Napięcie sieci zasilającej na wejściu przetwornicy częstotliwości
- Stromość narastania impulsów (dU/dt)
- Rodzaj okablowania silnika
- Ekranowanie elektryczne
- Uziemienie instalacji
- Wielkość silnika
- Uziemienie obudowy oraz wału silnika.

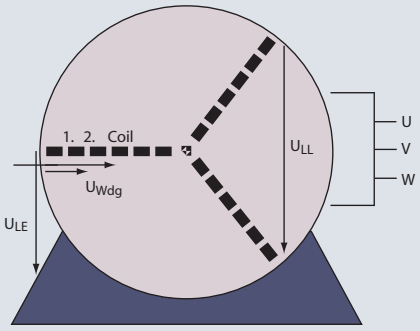
Prądy łożyskowe mogą być ograniczone przez zastosowanie następujących środków:

- Instalowanie filtrów na wyjściu (dławiki na wyjściu, filtry dU/dt, bądź sinusoidalne)
- Instalowanie elektrycznie izolowanych łożysk
- Właściwe uziemienie wszystkich metalowych elementów układu połączeniem o niskiej impedancji
- Ekranowane kable silnika
- Instalowanie filtrów tłumiących DC

Naprężenia termiczne

Praca z zainstalowaną przetwornicą częstotliwości zwiększa ilość traconej mocy w silniku. Dodatkowa zawartość wyższych harmonicznych powoduje większe straty w żelazie oraz straty cieplne w stojanie i wirniku. Wielkość strat uzależniona jest od ilości i częstotliwości wyższych harmonicznych napędu. Dodatkowe straty cieplne w wirniku zależne są od geometrii szczeliny. Straty w żelazie i straty cieplne w silnikach nie są zależne od obciążenia. Dodatkowe straty w silniku powodują wyższe naprężenia termiczne izolacji uzwojeń. Niemniej jednak, przy nowoczesnych przetwornicach częstotliwości, dodatkowe grzanie się standardowych silników (do wielkości ramy 315) jest porównywalne do dodatkowego grzania wynikającego z tolerancji dla napięć sieci zasilającej i jest przez to nieistotne. Producenci określają czasami współczynnik obniżenia mocy znamionowej dla standardowych silników (wielkość ramy 315 i większe).

Jeżeli przetwornica nie jest w stanie wygenerować pełnego napięcia sieci zasilającej przy znamionowej częstotliwości zasilania, zaleca się dobór silnika z klasą izolacji F. Praca silnika przy napięciu niższym niż przy bezpośrednim zasilaniu z sieci elektrycznej, powoduje wzrost temperatury silnika do około 10 K.

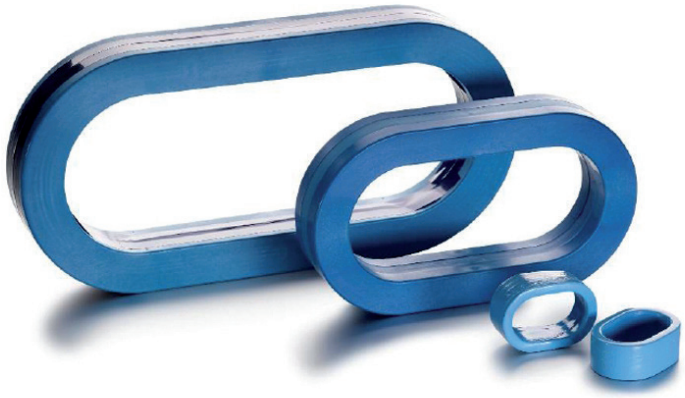


Napięcia impulsowe pojawiają się w silniku na jego zaciskach (U_{LL}) oraz pomiędzy uzwojeniami a warstwami laminatu (U_{LE}). Obciążenia wynikające z napięć pojawiają się również pomiędzy uzwojeniami (U_{wdg}).

Uwaga: *Należy potwierdzić u producenta silnika, czy silnik jest zaprojektowany do pracy z przetwornicą częstotliwości, oraz dopuszczalne zakresy prędkości roboczych (minimalne oraz maksymalne obr/min).*

Uwaga: *Uwaga: Prądy łożyskowe powstają wskutek pracy całego systemu, składającego się z przetwornicy częstotliwości, silnika, okablowania i uziemienia. Standard IEC 60034-17 zaleca wdrożenie działań zapobiegawczych w przypadku wałów o wysokości 315 mm (około 132 kW) i wyższych.*

Zagadnienia dotyczące filtrów wyjściowych



Filtry fal sinusoidalnych oraz filtry dU/dt

Wśród dostępnych filtrów wyjściowych znajdują się filtry sinusoidalne oraz filtry dU/dt. W przeciwieństwie do filtrów sinusoidalnych, jedynym zadaniem filtrów dU/dt jest ograniczenie stromości narastania impulsów. Są one prostsze w konstrukcji niż filtry sinusoidalne (mniejsza indukcyjność i pojemność), a tym samym i tańsze. Filtry sinusoidalne, które są również zwane filtrami silnikowymi albo filtrami LC, mogą być opcjonalnie instalowane na wyjściu przetwornic częstotliwości. Ich celem jest wygładzenie prostokątnych krawędzi impulsów napięcia (ang. rectangular voltage pulses), przekształcając je w prawie sinusoidalny kształt.

Funkcje i zadania filtrów sinusoidalnych

- Redukcja prędkości narastania napięci(dU/dt) na zaciskach silnika
- Redukcja skoków napięcia ÛLL
- Redukcja hałasu silnika
- Umożliwienie zastosowania dłuższego okablowania silnika
- Poprawa charakterystyki EMC
- Przy zastosowaniu z przetwornicami częstotliwości firmy Danfoss, filtry sinusoidalne umożliwiają pracę z nieekranowanymi kablami silnika, zgodnie z EN 61800-3 RFI kategoria C2.

Kiedy stosowane są filtry sinusoidalne?

- Przy pompach pracujących na mokro
- Przy długich kablach silnika (włączając sytuacje, w których jest to niezbędne ze względu na pracę równoległą silników)
- W aplikacjach pomp głębinowych
- W silnikach, pozbawionych odpowiedniej izolacji między uzwojeniami
- Zawsze, gdy nie są stosowane standardowe silniki (należy skonsultować się z producentem silnika)

Modernizacja

W przypadku, gdy operator instalacji zamieni zasilanie starszych modeli silników bezpośrednio z sieci elektrycznej na pracę z regulowaną prędkością i zmodernizuje instalację przez zastosowanie przetwornicy częstotliwości, zawsze zaleca się zastosowanie filtra sinusoidalnego. Wyjątkiem jest sytuacja, w której specyfikacje techniczne silnika określają, że uzwojenia przystosowane są do pracy z przetwornicą częstotliwości. Podczas wykonywania modernizacji, często warto jest wymienić stare silniki o niskiej sprawności na nowe silniki o wysokiej sprawności energetycznej. W takich sytuacjach, filtr sinusoidalny nie jest konieczny. Inwestycja w nowe silniki zwraca się zwykle dosyć szybko, dzięki redukcji kosztów zużycia energii elektrycznej.

	Filtry du/dt	Filtry sinusoidalne	Filtry skład. wspólnej.
Obciążenia izolacji silnika	Redukcja - stosowane mogą być dłuższe kable silnika	Redukcja - stosowane mogą być dłuższe kable silnika	Brak redukcji
Zagrożenia łożysk silnika	Lekka redukcja	Redukcja prądów cyrkulacyjnych, ale nie prądów synchronicznych	Redukcja prądów synchronicznych
Kompatybilność elektromagnetyczna	Eliminacja składowych harmonicznych w okablowaniu silnika. Brak zmiany klasy EMC	Eliminacja składowych harmonicznych w okablowaniu silnika. Brak zmiany klasy EMC	Redukcja poziomu emisji o wysokiej częstotliwości (powyżej 1 MHz). Brak zmiany klasy EMC
Maksymalna długość okablowania silnika, zgodność EMC	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 150 m kabel ekranowany	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 150 m kabel ekranowany albo 300 m kabel nieekranowany	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 150 m kabel ekranowany
Maksymalna długość okablowania silnika, brak zgodności EMC	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 150 m kabel nieekranowany	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 500 m kabel nieekranowany	W zależności od producenta FC202: maksymalnie 300 m kabel nieekranowany
Hałas silnika przy częstotliwości kluczowania	Brak efektu	Redukcja	Brak efektu
Względne wymiary (w porównaniu z przetwornicą)	15-50% w zależności od mocy	100%	5–15%
Spadek napięcia	0.5%	4–10%	Nie

Zagadnienia dotyczące okablowania silnika

Napięcie znamionowe

W kablach silnikowych występują skoki napięcia do wartości, będącej trzykrotnością napięcia w obwodzie DC w przetwornicy częstotliwości. Stanowią one ogromne obciążenie dla okablowania silnika oraz jego izolacji. Są jeszcze większe, jeżeli na wyjściu przetwornicy częstotliwości brak jest filtra dU/dt albo filtra sinusoidalnego.

Z tego względu napięcie znamionowe przewodu silnikowego, powinno wynosić, co najmniej U0/U = 0.6/1 kV. Wysokonapięciowe badania izolacji okablowania o takiej specyfikacji wykonywane są zwykle przy napięciu testowym o wartości co najmniej 3,500 V AC, a najczęściej 4,000 V AC. Udowodniły one, że posiadają dobrą odporność na uszkodzenia izolacji.

Przekroje kabli

Wymagany przekrój kabli silnikowych zależy od prądu wyjściowego przetwornicy częstotliwości, temperatury otoczenia oraz rodzaju instalacji okablowania. Przewymiarowanie przekroju kabli, ze względu na składowe harmoniczne, nie jest konieczne.

Przy doborze i wymiarowaniu kabli i przewodników, standardy EN 60204-1 oraz VDE 0113-1 podają specyfikacje pojemności prądowej dla przekrojów kabli do 120 mm2. W razie konieczności zastosowania większych przekrojów kabli, istotne informacje znaleźć można w opracowaniu VDE 0298-4.

Długość okablowania silnika

Długie kable silników można często spotkać w zakładach wodociągowych i w oczyszczalniach ścieków. Przetwornice częstotliwości i pompy są często instalowane w odległości ponad 100 m od siebie. W takich przypadkach, przy dobieraniu wymiarów kabli należy wziąć pod uwagę spadek napięcia w okablowaniu.

System zaprojektowany powinien być w taki sposób, by pełne napięcie wyjściowe zostało dostarczone do zacisków silnika, bez względu na długość kabli. Najczęściej kable silnika, które są podłączone do standardowej przetwornicy częstotliwości, mają długość od 50 do 100 metrów. Nawet przy takiej długości okablowania, napędy oferowane przez niektórych producentów nie są w stanie dostarczyć pełnego napięcia wyjściowego do silnika.

Jeżeli użytkownik potrzebuje kabli dłuższych niż 100 m, istnieje tylko kilku producentów, którzy spełniają takie wymagania dla standardowych produktów. W przeciwnym razie, konieczne jest zastosowanie uzupełniających dławików silnikowych albo filtrów wyjściowych.

Oszczędność energii

Spadek napięcia na kablach silnika, jak również wynikające z tego wydzielanie się ciepła, jest prawie proporcjonalny do ich długości i uzależniony od częstotliwości.

W związku z tym, należy starać się, by kable były możliwie jak najkrótsze, natomiast przekrój kabla nie powinien być większy niż to konieczne.

Ekranowanie kabli

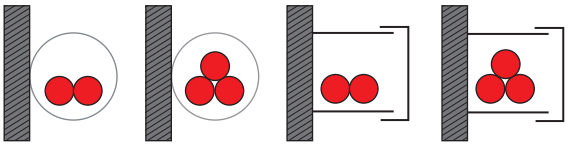
Ekranowane kable powinny być pokryte osłoną, na co najmniej 80% sowjej powierzchni. Wśród wybranych przykładów odpowiednich typów kabli są:

– Lapp Olflex 100-CY
– Helu Y-CY-JB
– Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J.

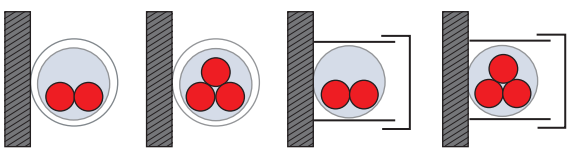
Uwaga: *Należy skonsultować się z producentem w kwestii długości kabli, jakie mogą zostać podłączone do przetwornicy częstotliwości oraz spodziewanych spadków napięcia. W przypadku standardowych przetwornic częstotliwości typu VLT® AQUA Drive, możliwe jest zastosowanie ekranowanego kabla o długości do 150 m długości, albo nieekranowanego do 300 m długości, przy zachowaniu pełnej wartości napięcia na zaciskach silnika.*

Wartości prądów [A] dla przewodów PVC dla temp. otoczenia 40°C

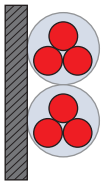
mm²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0



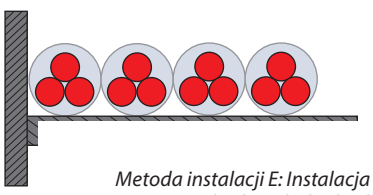
Metoda instalacji B1: Żyły przewodzące w kanałach kablowych, bądź zamknięte w korytkach.



Metoda Instalacji B2: Przewód wielożyłowy, bądź przewód wielożyłowy osłonięty kanałem kablowym, albo zamknięty w korytkach



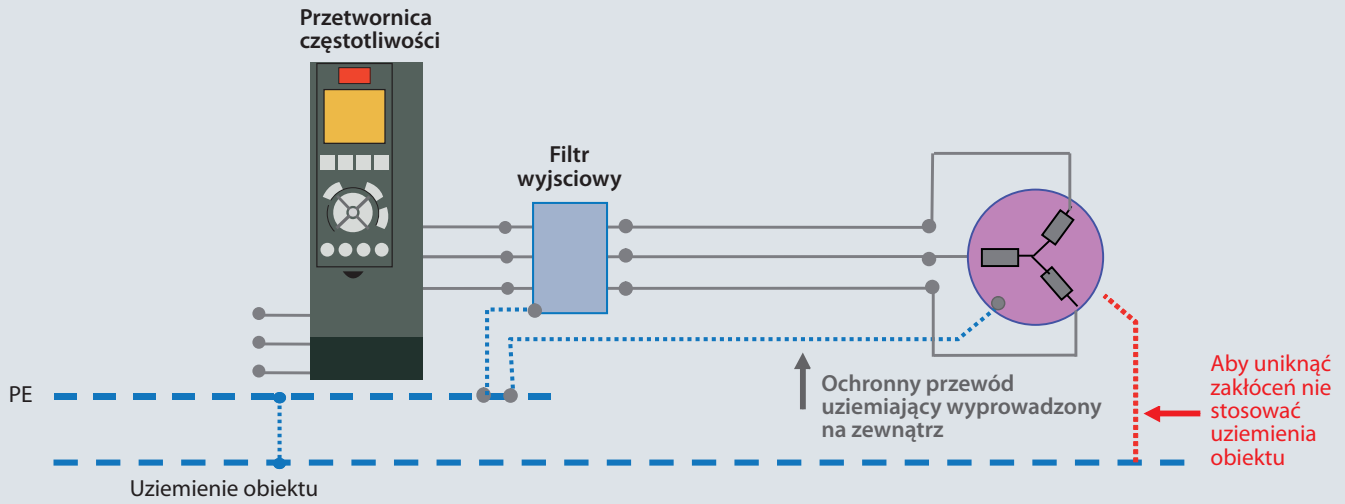
Metoda instalacji C: Bezpośrednia instalacja natynkowa (naścienna) albo podtynkowa lub w drabinkach kablowych.



Metoda instalacji E: Instalacja na świeżym powietrzu, bądź w drabinkach kablowych.

Zagadnienia dotyczące uziemienia

Znaczenie uziemienia



Plan uziemienia powinien być zawsze przygotowywany dla każdego systemu, bądź obiektu.

Instalacja uziemiająca stanowi obowiązkowy wymóg, w celu spełnienia wymogów regulowanych prawnie w zakresie dyrektywy EMC i dyrektywy Nisko Napięciowej. Jest to podstawowy warunek, aby zastosowanie innych elementów zabezpieczających, takich jak ekranowanie i filtry było skuteczne. Dodatkowe działania nie przynoszą żadnych korzyści bez dobrego uziemienia. Z tego względu, instalacja uziemienia musi być sprawdzona i kontrolowana pod kątem prawidłowego spełniania wymagań EMC przed zainstalowaniem ekranowania lub filtrów, oraz jako pierwszy krok w przypadku poszukiwania przyczyn problemów.

Materiały przewodzące prąd elektryczny

Operatorzy muszą zapewnić uziemienie wszystkich powierzchni metalowych, za pomocą przewodu o niskiej impedancji. Jeżeli chodzi o kompatybilność elektromagnetyczną, decydującym czynnikiem nie będzie przekrój przewodu, lecz jego całkowita powierzchnia, ponieważ prądy o wysokiej częstotliwości przepływają po powierzchni ze względu na tzw. zjawisko naskórkowości. Część o najmniejszej powierzchni przewodzenia jest tym, co ogranicza zdolność do odprowadzenia prądów upływowych.

Uziemione powierzchnie mają efekt osłaniania i ograniczają amplitudę pól elektromagnetycznych otoczenia.

Instalacja uziemiająca dla konfiguracji gwiazda

Wszystkie uziemione punkty i komponenty muszą być podłączone do centralnego punktu uziemienia w systemie. Połączenie takie powinno być wykonane jak najbardziej bezpośrednio, na przykład przez zastosowanie szyny wyrównania potencjału. Dzięki temu otrzymujemy instalację uziemiającą, w której wszystkie punkty połączone są promieniście do punktu uziemienia. Taki system uziemienia musi zostać jednoznacznie zdefiniowany.

Punkty styku

Po usunięciu farby i rdzy, połączenia do punktów styków muszą zostać wykonane na możliwie dużych powierzchniach. Ząbkowane podkładki nadają się lepiej do tego celu niż zwykłe, gładkie. Zamiast komponentów lakierowanych stosowane powinny być komponenty powlekane cyną, cynkiem albo kadmem. Na połączeniach stosować należy złącza wielostykowe dla połączeń ekranujących.

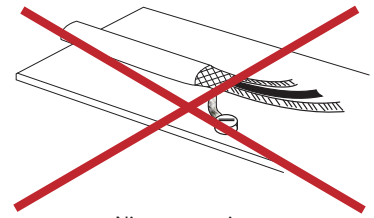
Powierzchnia przewodzenia

Duże powierzchnie przewodzenia odprowadzające prądy o wysokiej częstotliwości, uzyskać można przez zastosowanie specjalnych taśm lub kabli uziemiających. W praktyce często są obecnie stosowane plecione taśmy uziemiające, zastępujące sztywne przewody stosowane w przeszłości. Taśmy takie mają znacznie większą powierzchnię przy identycznym przekroju poprzecznym.

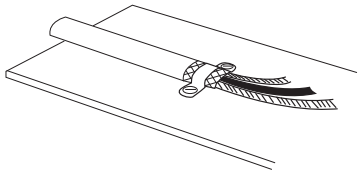
Uwaga: *Uziemienie ma podstawowy wpływ na niezakłóconą, bezproblemową pracę instalacji. Należy unikać pętli zwarciowych doziemnych. Bardzo ważne jest zastosowanie odpowiedniej szyny wyrównania potencjału. Należy przygotować odpowiedni plan uziemienia, już na wstępnym etapie projektowania i planowania instalacji.*

Zagadnienia dotyczące ekranowania

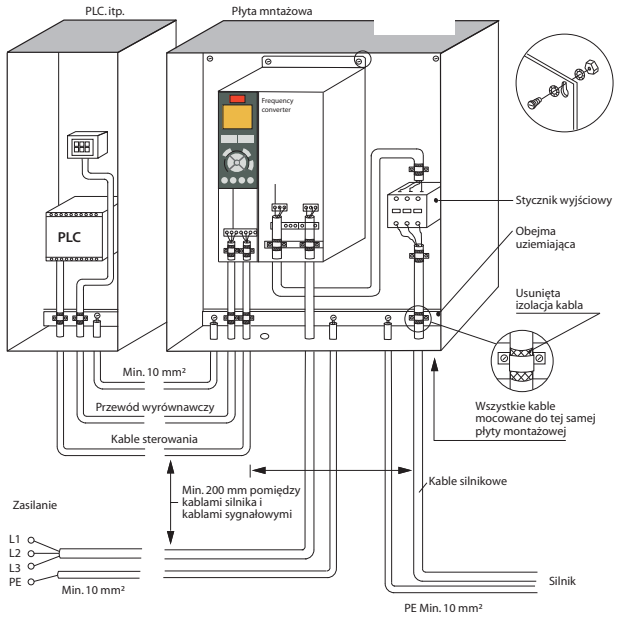
Istota ekranowania



Niepoprawnie



Poprawnie



Celem ekranowania jest redukcja poziomu zakłóceń promieniowanych, które mogą mieć niekorzystny wpływ na sąsiednie urządzenia elektroniczne, bądź systemy, jak również poprawa odporności na zakłócenia poszczególnych komponentów (odporność na zakłócenia pochodzące z zewnętrznych źródeł).

Instalowanie ekranów w istniejących systemach (np. wymiana okablowania albo dodatkowe obudowy) możliwe jest wyłącznie przy kosztach na rozsądnym poziomie. Producenci przetwornic częstotliwości zwykle udzielają odpowiednich informacji na temat zgodności z prawnie obowiązującymi limitami poziomów zakłóceń, włączając porady na temat dodatkowych środków zaradczych, które mogą być niezbędne, takich jak przewody ekranowane. Przetwornice częstotliwości generują na wyjściu impulsy o stromym zboczu narastania. Impulsy takie zawierają składowe o wysokich częstotliwościach (sięgające nawet zakresów gigahercowych), co wywołuje niepożądane promieniowanie z przewodów silnikowych. Z tego względu stosowane muszą być ekranowane kable silników.

Zadaniem ekranowania jest „wychwycenie" składowych o wysokich częstotliwościach i odprowadzenie ich z powrotem do źródła zakłócenia – w tym przypadku do przetwornicy częstotliwości.

Ekranowane kable i przewody

Nawet właściwe ekranowanie, spełniające wymagane ograniczenia, nie będzie w stanie całkowicie wyeliminować wpływu promieniowania. Gdy w części pola w pobliżu źródła promieniowania znajdują się komponenty i moduły systemu, muszą być one w stanie oprzeć się działaniu tego promieniowania, bez pogorszenia jakości ich pracy. Standard wymaga zgodności z limitami dla określonych odległości (np. 30 dB w odległości 10 m dla klasy B). W odniesieniu do poziomu dopuszczalnego limitu, standard rozróżnia pracę w 1. środowisku (środowisko mieszkalne) oraz w 2. środowisku (środowisko przemysłowe). Szczegółowe informacje znaleźć można na stronie 22. niniejszego podręcznika w części „ Miejsce użytkowania jest czynnikiem decydującym".

Połączenia ekranowania

Należy zachować ciągłość ekranu w całym torze kablowym, aby zapewnić efektywny poziom ekranowania.

Mogą być stosowane dławiki kablowe EMC (uziemienia) albo zaciski kabli uziemiających. Całkowicie otaczają one ekran i łączą go z instalacją uziemiającą na dużej powierzchni. Ekranowanie musi być poprowadzone bezpośrednio do punktu uziemienia i solidnie zaciśnięte na dużej powierzchni. Połączenia natomiast powinny być możliwie najkrótsze na każdym końcu kabla. Każdy inny sposób połączenia powoduje pogorszenie skuteczności ekranowania. Użytkownicy często skręcają plecionkę ekranowania i używają końcówek zaciskowych do połączenia ich z instalacją uziemiającą. Taka forma połączenia tworzy wysoką impedancję dla przesyłu składowych sygnału o wysokiej częstotliwości, co powoduje, że zakłócenia są wypromieniowywane z ekranowania, zamiast przesłania ich z powrotem do ich źródła. W efekcie, skuteczność ekranowania może być obniżona nawet o 90%.

Przerwy w ekranowaniu

Przerwy w ekranowaniu, takie jak zakończenia, przełączniki albo styczniki, muszą być mostkowane przez połączenie o możliwie najniższej impedancji i jednocześnie o możliwie największej powierzchni styku.

Zagadnienia dotyczące ekranowania

Połączenie uziemienia

Właściwe uziemienie ekranu jest kluczowym elementem jego skuteczności. Z tego powodu, należy umieszczać ząbkowane podkładki albo podkładki sprężynujące pod śrubami mocującymi obudowę, natomiast farba pokrywająca powierzchnię musi zostać całkowicie zdrapana, w celu uzyskania połączenia o niskiej impedancji. Przykładowo anodowane aluminiowe obudowy, zapewniają niewystarczające połączenie z uziemieniem, jeżeli zastosowane zostały zwykłe okrągłe podkładki pod śrubami mocującymi. Przewody uziemiające powinny mieć duży przekrój poprzeczny, a najlepiej gdyby były wykonane z wielożyłowego przewodu uziemiającego. Jeżeli zastosowane zostały przewody o polu przekroju mniejszym niż 10 mm^2 w przypadku silników o niskiej mocy, między przetwornicą, a silnikiem należy poprowadzić dodatkowy kabel PE o przekroju równym co najmniej 10 mm^2.

Kabel zasilający silnika

W celu spełnienia wymagań dotyczących limitów zakłóceń o częstotliwościach radiowych, kable między przetwornicami częstotliwości a silnikami muszą być ekranowane. Bardzo ważna jest, aby obie końcówki ekranu były podłączone do szafy metalowej urządzenia za pomocą zacisku kablowego.

Kable sygnałowe

Odległość między kablem zasilającym silnik, a przewodem sterującym nie powinna być mniejsza niż 20 cm, przy czym kabel zasilający i kabel silnikowy powinny być prowadzone oddzielnie, na tyle na ile jest to możliwe. Wraz ze wzrostem odległości znacząco spada poziom zakłóceń. Dodatkowe środki (takie jak paski dzielące) są niezbędne w przypadku ograniczonej separacji tych przewodów. W przeciwnym razie zakłócenia mogą się nakładać na siebie lub przenosić. Ekranowanie przewodów sterujących musi zostać wykonane w identyczny sposób, co w przypadku kabla silnikowych. W wyjątkowych sytuacjach dopuszcza się wykonanie uziemienia tylko po jednej stronie. Jednakże jest to rozwiązanie niezalecane.

Rodzaje ekranowania

Producenci przetwornic częstotliwości zalecają stosowanie ekranowanych kabli między przetwornicą częstotliwości a silnikiem. Dwa czynniki są bardzo istotne przy ich doborze: zasięg pokrycia ekranu oraz jego rodzaj.

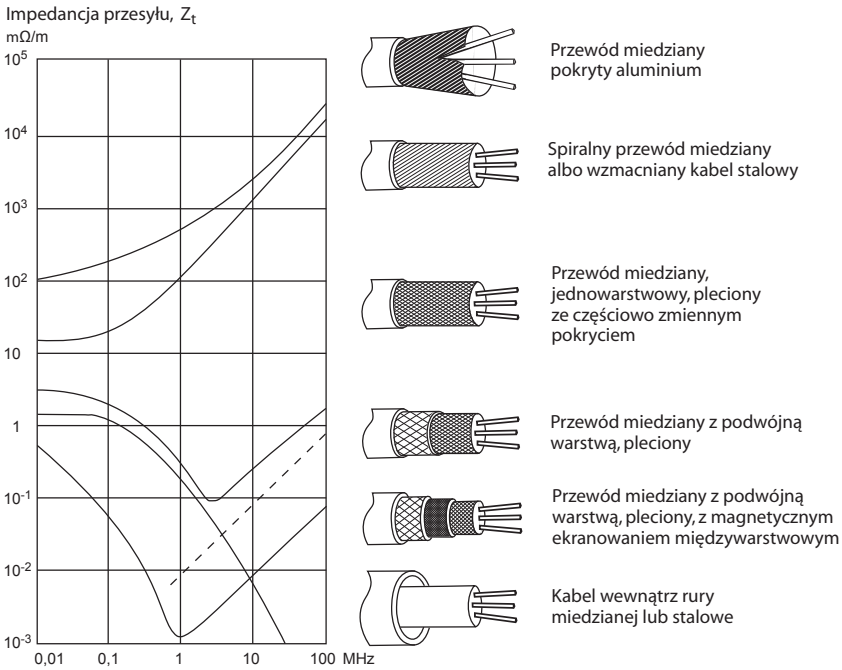
Ekran powinien zapewniać minimum 80% pokrycia, to znaczy, że taka powierzchnia kabla jest objęta zasięgiem ekranu.

Jeśli chodzi o rodzaje ekranów, w praktyce udowodniono, że ekran wykonany z jednowarstwowej plecionki miedzianej działa niezwykle wydajnie. Ważnym czynnikiem jest tutaj fakt, że ekran jest pleciony. Dla porównania, ekranowanie pierścieniowe z drutu miedzianego (dla przykładu kable typu NYCWY) pozostawia długie nieprzykryte szczelinowe obszary przerw, przez które z łatwością przedostają się składowe wysokich częstotliwości. Powierzchnia dostępna dla prądów upływu jest również znacznie mniejsza.

W przypadku modernizacji instalacji, ekranowanie dostępne jest również w postaci indywidualnych elementów. Można je naciągnąć na kabel, uzyskując w ten sposób pożądany efekt ekranowania. W przypadku krótkich połączeń, jako rozwiązanie alternatywne zastosować można metalowe węże lub rury. Zamiast klasycznego ekranowania mogą być stosowane kanały kabli, ale wyłącznie w określonych warunkach (kanał odporny na promieniowanie z dobrym pokryciem i dobrym połączeniem pomiędzy komponentami kanału a uziemieniem).

Kable z podwójnym ekranowaniem jeszcze skuteczniej poprawiają tłumienie emitowanych i wypromieniowanych zakłóceń. Wewnętrzny ekran połączony jest na jednym końcu, podczas gdy zewnętrzny ekran połączony jest na obu końcach. Skręcane przewody redukują pola magnetyczne.

Dla przewodów sygnałowych używane mogą być ekranowane kable ze skręcanymi przewodami. Tłumienie pola magnetycznego wzrasta z około 30 dB z pojedynczym ekranowaniem do 60 dB z podwójnym ekranowaniem i do około 75 dB w przypadku przewodów skręcanych.



Istnieje wiele rodzajów ekranowanych kabli. Tylko niektóre z nich nadają się do użycia z przetwornicami częstotliwości.

Krok 4: Zagadnienia dotyczące doboru przetwornic częstotliwości

Podstawowe parametry

W praktyce, projektanci i operatorzy często dobierają przetwornice częstotliwości wyłącznie na podstawie ich mocy znamionowej, podawanej w kilowatach. Niemniej jednak, przetwornice częstotliwości muszą być zawsze dobierane w oparciu o wartość prądu silnika I_{nom}, pobieranego w warunkach najwyższego obciążenia systemu. Takie kryterium doboru jest bardziej niezawodne, ponieważ moc wyjściowa silnika uzależniona jest od mechanicznego obciążenia wału napędowego, a nie od elektrycznej mocy wejściowej.

Sprawność silnika jest również brana pod uwagę. Dla porównania, znamionowa wydajność przetwornic częstotliwości (w kilowatach) oparta jest na znamionowej mocy P_{nom} silników czterobiegunowych.

Dodatkowo, silniki w tej samej klasie mocy mogą mieć różne prądy znamionowe, w zależności od producenta silnika i klasy sprawności.
Dla przykładu, prąd znamionowy silnika 11 kW może się zawierać w zakresie od 19.8 A do 22.5 A.

Uwaga: *Przetwornica częstotliwości 11 kW VLT® AQUA Drive ma prąd znamionowy 24 A. Zapewnia to wystarczającą rezerwę prądu do napędzania silnika o mocy znamionowej 11 kW.*

Jednakże, sam prąd znamionowy, nie jest parametrem wystarczającym dla określenia właściwej elektrycznej mocy wejściowej. Przetwornica częstotliwości musi dostarczyć również wystarczająco wysokie napięcie dla silnika. Przy sieci zasilającej 400 V, oznacza to pełne 400 V przy 50 Hz na terminalach silnika. Na rynku nadal dostępne są przetwornice częstotliwości, które nie są w stanie zapewnić takiego warunku. Napięcie wyjściowe jest zredukowane wskutek spadku napięcia w filtrach, dławikach oraz w okablowaniu silnika.

Jeżeli napięcie wyjściowe obniżone zostanie do 390 V, dla przykładu, wówczas silnik wymaga podania więcej prądu do wyprodukowania wymaganej mocy. Ponieważ straty narastają z kwadratem prądu, silnik coraz mocniej się nagrzewa, co skutkuje skróceniem jego czasu życia. Oczywiście, także zwiększone zapotrzebowanie na prąd musie zostać uwzględnione na etapie projektowania.

Uwaga: *W przetwornicach VLT® AQUA Drive zastosowana została specjalna metoda modulacji, dla zapewnienia pełnego napięcia silnika. Nawet przy spadku napięcia sieci o 10%, znamionowe napięcie silnika oraz jego znamionowy moment obrotowy zostają zachowane.*

Stały lub zmienny moment obrotowy

Obciążenie przenoszone przez silnik stanowi kluczowy czynnik dla doboru odpowiedniej przetwornicy częstotliwości. Należy pamiętać o rozróżnieniu pomiędzy obciążeniami, których charakterystyka momentu obrotowego wzrasta z kwadratem prędkości (dla przykładu pompy wirowe i wentylatory), a obciążeniami, które mogą wymagać od silnika stałego wysokiego momentu obrotowego w całym zakresie prędkości, nawet przy ich niskich wartościach (dla przykładu podajniki, dmuchawy Rootsa).

Większość układów napędowych w zakładach wodociągowych i w zakładach oczyszczania ścieków, charakteryzuje krzywa obciążenia, która narasta z kwadratem prędkości, do chwili osiągnięcia znamionowego momentu obrotowego. W celu uzyskania optymalnej, z punktu widzenia sprawności, pracy w takich warunkach obciążenia, przetwornica częstotliwości zapewnia większe napięcie dla silnika, które narasta z kwadratem częstotliwości wirującego pola silnika.

W przypadku większości aplikacji o stałym wysokim momencie obrotowym, konieczne jest również uwzględnienie wymagań związanych z rozpędzaniem, albo rozruchem w warunkach dużego obciążenia. W takim przypadku, przetwornica częstotliwości musi być w stanie dostarczyć dodatkową moc do silnika przez krótki okres czasu, oprócz znamionowego momentu obrotowego silnika, aby np. pompa była w stanie przezwyciężyć opory statyczne będące wynikiem gromadzenia się osadu ściekowego. Ten maksymalny moment obrotowy, dostępny przez krótki okres czasu, zwany jest momentem przeciążenia.

W aplikacjach, które nie wymagają momentu rozruchowego znacznie większego od znamionowego momentu obrotowego, w zupełności wystarczająca jest niska przeciążalność (np. rozruch nieobciążonych dmuchaw Rootsa wymaga tylko 110% wartości znamionowego momentu obrotowego silnika).

Uwaga: *Pompy wyporowe, dmuchawy Rootsa i kompresory nie są klasyfikowane jako maszyny przepływowe. Ze względu na zasadę działania takich aplikacji, przetwornice częstotliwości powinny być przystosowane do pracy ze stałym momentem obrotowym.*

Zagadnienia dotyczące charakterystyk obciążenia dla różnych aplikacji

Krzywe charakterystyk dla przykładowych aplikacji

Aplikacje o stałym momencie obrotowym

Normalny moment przeciążenia 110%
Pompy dozujące
Dmuchawy Rootsa
Wentylatory powierzchniowe
Pompy cyrkulacyjne
Kompresory z kanałami bocznymi

Wysoki moment przeciążenia – 150%
Podajniki
Sprężarki tłokowe osiowe
Sprężarki tłokowe obrotowe
Mimośrodowe pompy śrubowe
Pompy tłokowe
Mieszadła i miksery
Prasy do odwadniania osadu ściekowego
Sprężarki (z wyłączeniem turbosprężarek)
Pompy wyporowe
Pompy zębate
Zawory obrotowe z kołem zębatym

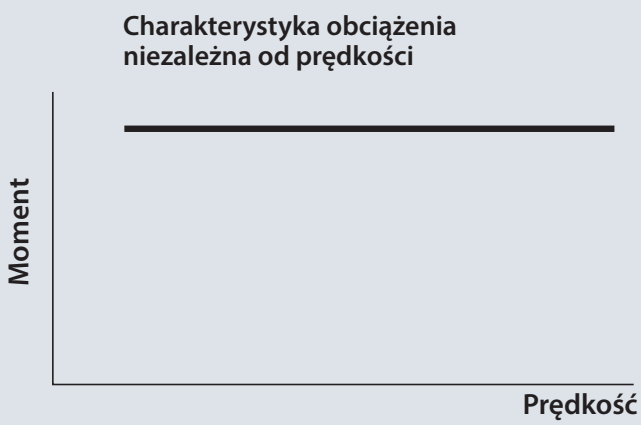
Uwaga: *Należy skontaktować się z producentem pompy lub silnika, w celu otrzymania informacji na temat charakterystyki momentu obrotowego.*

Aplikacje o zmiennym momencie obrotowym

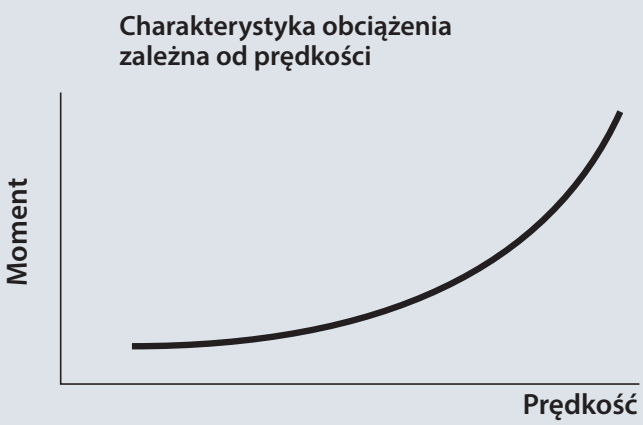
Pompy odśrodkowe
Pompy głębinowe[1]
Ciśnieniowe pompy wspomagające
Pompy do filtrów
Pompy do wód gruntowych[1]
Pompy do gorącej wody
Pompy do czynników grzewczych (obwody pierwotne i wtórne)
Pompy wirowe kanałowe
Pompy do wody chłodzącej (obwody pierwotne i wtórne)
Pompy do cystern
Pompy recyrkulacyjne osadu ściekowego
Pompy ściekowe[1]
Turbosprężarki
Pompy głębinowe[1]
Pompy rezerwowe do osadu ściekowego
Wentylatory

[1]Zalecane jest zastosowanie filtra sinusoidalnego

Stały moment



Zmienny moment



Zagadnienia dotyczące pracy równoległej wielu silników (szczególne przypadki)

Projekt
Jeżeli chcemy umożliwić równoczesną pracę kilku silników, połączonych równolegle do jednej przetwornicy częstotliwości, należy wówczas wziąć pod uwagę następujące czynniki:

Wartości prądów znamionowych i moce znamionowe silników muszą być do siebie dodane.

Dobór odpowiedniej przetwornicy częstotliwości oparty jest na obu sumach - mocy i prądu. W celu zapewnienia ochrony silników, operator musi podłączyć termistory PTC w układzie szeregowym, a przetwornica częstotliwości będzie monitorować przychodzący sygnał.

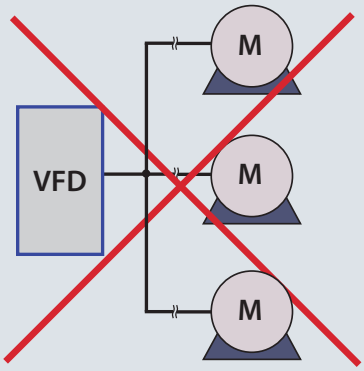
Połączone silniki pracują identycznie w zakresie swojej prędkości znamionowej. Oznacza to, że przetwornica częstotliwości zasila wszystkie z nich identyczną wartością częstotliwości oraz napięcia.

Uwaga: *Z uwagi na fakt, że rezystancje termistorów PTC połączonych szeregowo sumują się, nie ma sensu stosować opcji monitorowania termistorów w przetwornicy częstotliwości dla ochrony silnika, jeżeli równolegle pracują więcej niż dwa silniki.*

Prowadzenie kabli

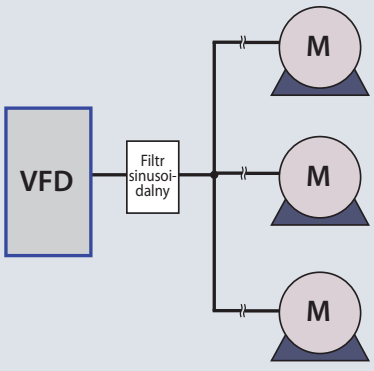
Czego unikać w pracy wielu silników: równoległe przewody są źródłem dodatkowej pojemności. Z tego względu, powinno się zawsze unikać tego rodzaju połączeń.

Należy unikać



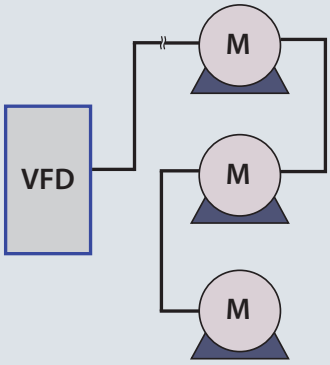
Prądy robocze ulegają obniżeniu ze względu na fakt, że filtr LC blokuje częstotliwości zegara. Pozwala to na równoległe połączenie silników. Kable silnika mogą być również poprowadzone razem na dłuższych dystansach, jeżeli jest to konieczne.

Zalecane



Zalecane dla pracy wielu silników: kable silnika połączone szeregowo, od jednego silnika do kolejnego.

Zalecane



Zagadnienia dotyczące stosowania środków zaradczych w kontekście EMC

Przekładając teorię na praktykę

Wszystkie przetwornice częstotliwości stanowią źródło zakłóceń szerokopasmowych, co oznacza, że emitują zakłócenia w szerokim zakresie częstotliwości. Operatorzy instalacji mogą zredukować ilość emitowanych przez przetwornice zakłóceń, podejmując odpowiednie środki zaradcze. Mogą np. zapewnić bezproblemowe działanie instalacji przez zastosowanie filtrów RFI oraz dławików po stronie sieci zasilającej.

W przypadku niektórych produktów komponenty te są instalowane wewnątrz przetwornic częstotliwości. W przypadku innych produktów, inżynier techniczny zakładu musi przewidzieć dodatkową przestrzeń (co nie zawsze jest korzystne) dla takich urządzeń wewnątrz szafy sterowniczej. Ogólne informacje dotyczące EMC, zakłóceń sieci zasilającej o niskiej częstotliwości oraz zakłóceń o częstotliwościach radiowych, zawarte są na stronie 13 niniejszego podręcznika.

Uwaga: *Dobrej jakości przetwornice częstotliwości wyposażone są standardowo w solidną ochronę przeciw zakłóceniom o częstotliwościach radiowych (ang. RFI) oraz komponenty służące do redukcji zakłóceń po stronie sieci zasilającej. Komponenty takie stanowią w przybliżeniu od 15 do 20% całkowitej ceny przetwornicy częstotliwości.*

Zakłócenia na częstotliwościach radiowych

Praktyczne zalecenia

Na stronie 21 niniejszego podręcznika, zawarte są wyczerpujące informacje na temat zakłóceń emitowanych o częstotliwościach radiowych. Głównym celem jest otrzymanie układów, których praca przebiega w sposób stabilny i bez obecności zakłóceń pomiędzy ich komponentami. Niemniej jednak, często zdarza się, że po modernizacji oraz/lub po zainstalowaniu nowych komponentów, nie będzie możliwe wykonywanie czułych pomiarów bez zakłóceń i/lub sygnały z przyrządów zostają utracone. Właśnie takich zagrożeń należy unikać. Aby osiągnąć wysoki poziom odporności na zakłócenia, zaleca się stosowanie przetwornic częstotliwości wyposażonych w wysokiej jakości filtry RFI. Powinny one spełniać wymagania kategorii C1 określone w standardzie produktowym EN 61800-3. Zapewni to, tym samym, zgodność z limitami Klasy B ogólnego standardu 55011.

Na przetwornicy częstotliwości umieszczone muszą być dodatkowe etykiety ostrzegawcze, jeżeli zastosowane zostały w nich filtry RFI, które nie są zgodne z kategorią C1, ale zgodne z kategorią C2 lub niższą. Ostateczna odpowiedzialność spoczywa na operatorze. Jak wspomniano na stronie 22, w przypadku problemów, instytucja przeprowadzająca inspekcję zawsze będzie opierać swoje zalecenia odnośnie eliminacji zakłóceń w zakresie limitów dla A1/A2 oraz B, zdefiniowanych w ogólnym standardzie EN 55011, zgodnie z faktycznym środowiskiem pracy. Operator ponosi koszty rozwiązania problemów związanych z EMC. Użytkownik będzie ostatecznie odpowiedzialny za przeprowadzenie odpowiedniej klasyfikacji urządzeń, w odniesieniu do tych dwóch standardów.

Z powodu obecności przewodów sterujących oraz kabli silnikowych, zakłócenia przewodzone mogą w łatwy sposób przedostać się do innych części systemu, jeżeli nie zostaną poczynione odpowiednie kroki zaradcze. Z drugiej strony zakłócenia promieniowane bezpośrednio z urządzenia, albo przewodu mają ograniczony zasięg w przestrzeni. Ich intensywność spada z każdym centymetrem zwiększającym dystans od źródła generującego zakłócenia. Z tego względu, instalacja przetwornicy częstotliwości w odpowiedniej szafie, zgodnie z wymaganiami EMC, jest zwykle środkiem wystarczającym, aby ograniczyć poziom zakłóceń. Niemniej jednak, operator powinien zawsze zapewnić odpowiednim filtr, w celu ograniczenia zakłóceń przewodzonych.

Dwa podejścia do kwestii filtrów RFI

W praktyce, istnieją dwa podejścia do zagadnienia filtrów RFI. Niektórzy producenci instalują filtry RFI w swoich urządzeniach, jako wyposażenie standardowe, podczas gdy inni producenci oferują je, jako wyposażenie opcjonalne. Wbudowane filtry nie tylko umożliwiają zaoszczędzenie przestrzeni w szafach sterowniczych, lecz również pozwalają na uniknięcie dodatkowych kosztów montażu, okablowania i materiałów. Niemniej jednak, najważniejszą ich zaletą jest doskonała zgodność z wymogami kompatybilności elektromagnetycznej oraz okablowania w zintegrowanych filtrach. Opcjonalne filtry RFI zainstalowane przed przetwornicą częstotliwości również powodują dodatkowy spadek napięcia. W praktyce, oznacza to, że pełne napięcie z sieci zasilającej nie zostanie podane do wejścia przetwornicy częstotliwości, a zatem konieczne może być jej przewymiarowanie. Należy ponieść dodatkowe koszty związane z instalacją, okablowaniem i materiałami, a mimo to nie można być pewnym, że wszystkie wymagania EMC są spełnione.

Innym równie istotnym czynnikiem jest maksymalna długość kabla silnikowego, w przypadku której przetwornica częstotliwości nadal mieści się w limitach EMC. W praktyce, mogą one mieć długość od 1 do 50 metrów. Filtry RFI wyższej klasy są konieczne w przypadku dłuższych kabli.

Uwaga: *Aby zapewnić pracę układu napędowego bez zakłóceń, zalecane jest stosowanie filtrów RFI kategorii C1. Przetwornice częstotliwości VLT® AQUA Drive wyposażone są standardowo we wbudowane filtry RFI zgodne z kategorią C1 (EN 61800-3) do pracy w sieci zasilającej 400 V, oraz mocami znamionowymi do 90 kW, lub z kategorią C2 dla mocy znamionowych od 110 do 630 kW. Urządzenia VLT® AQUA Drive są zgodne z kategorią C1 w przypadku ekranowanych kabli silnikowych do 50 metrów długości, albo z kategorią C2 z ekranowanymi kablami silnikowymi do 150 metrów długości.*

Zakłócenia sieci zasilającej

Wpływ obwodu DC na zakłócenia sieci zasilającej

Na stronie 15 i kilku kolejnych, zamieszczono opis podstawowych aspektów dotyczących zakłóceń sieci zasilającej o niskiej częstotliwości oraz działań zmierzających do ich redukcji. Zwiększające się wykorzystanie prostowników powoduje zwiększenie poziomu zakłóceń sieci zasilającej. Prostowniki pobierają z sieci prąd o charakterze niesinusoidalnym. Zakłócenia sieci wywołane przez przetwornice częstotliwości pochodzą głównie z kondensatorów w obwodzie DC, a ich przyczynę stanowią prądy ładowania. Prąd zawsze przepływa w postaci krótkich impulsów w pobliżu szczytowych wartości napięcia zasilania. Ze względu na duży prąd, mamy do czynienia z niewielkimi spadkami napięcia w sieci zasilającej, w krótkich przedziałach czasu, co sprawia, że kształt tego napięcia nie jest już sinusoidalny. Aby zachować odpowiedni poziom parametrów zasilania sieci elektrycznej, konieczne jest ograniczenie piątej składowej harmonicznej prądu do poziomu THD równego około 40%. Stosowne wymagania opisane są w standardzie 61000-3-12.
Gdy konieczne staje się przeprowadzenie redukcji zakłóceń zasilania do wartości THD poniżej 10% lub 5%, wykorzystane mogą być do tego celu odpowiednie filtry, które są w stanie prawie całkowicie ograniczyć poziom tych zakłóceń.

Sposoby redukcji

W celu ograniczenia zakłóceń sieci zasilającej operatorzy obiektów mają do dyspozycji szereg możliwości. Można je podzielić na działania bierne i aktywne, a różnią się one głównie pod względem technicznym.

Dławiki sieci zasilającej

Najtańszym i najczęstszym sposobem na redukowanie zakłóceń sieci zasilającej jest instalowanie dławików albo w obwodzie DC, albo na wejściu przetwornicy częstotliwości. Instalowanie dławików zasilania wydłuża czas przepływu prądu ładowania kondensatorów w obwodzie DC, redukuje amplitudę prądu i znacząco ogranicza zniekształcenie napięcia zasilania (niższe zakłócenia sieci zasilającej). Stopień odkształcenia napięcia zasilania uzależniony jest od jakości parametrów sieci (impedancja transformatora i impedancja linii). Liczby podane w poniższej tabeli można traktować jako wskazówki odnośnie obciążenia podłączonej przetwornicy częstotliwości (albo innych obciążeń trójfazowych prostowników), jako wartość procentową mocy znamionowej transformatora zasilającego. W przypadku przekroczenia maksymalnej wartości, należy skonsultować się z producentem przetwornicy częstotliwości.

Dodatkowo, obok redukcji zakłóceń sieci zasilającej, dławiki wydłużają czas życia kondensatorów obwodu DC, ponieważ ich ładowanie odbywa się w sposób dużo łagodniejszy dzięki ograniczeniu wartości szczytowej prądu. Dławiki montowane po stronie sieci zasilającej poprawiają także zdolność przetwornicy częstotliwości do wytrzymania obciążeń pochodzących od stanów nieustalonych sieci elektrycznej. Mogą być instalowane przewody zasilające o mniejszym przekroju poprzecznym, a także bezpieczniki i wyłączniki można dobierać na niższe wartości prądu wejściowego. Należy jednak pamiętać, że dławiki powodują wzrost kosztów oraz wymagają dodatkowej wolnej przestrzeni.

Uwaga: Dławik sieci zasilającej w postaci dławika w obwodzie DC jest standardowo wbudowany we wszystkich przetwornicach częstotliwości typu VLT® AQUA Drive. Obniża to THDi z 80% do 40%, spełniając w ten sposób wymagania standardu EN 61000-3-12. Efekt jest porównywalny z tym, jaki mamy przy zastosowaniu dławika zamontowanego po stronie sieci zasilającej (Uk 4%). Nie zachodzi zjawisko spadku napięcia, które musiałoby być kompensowane przez przetwornicę częstotliwości. Dla silnika dostępne jest pełne napięcie (400 V).

Maksymalne 20% obciążenie transformatora przez przetwornice częstotliwości, w przypadku, gdy nie odbywa się redukcja zakłóceń zasilania, czyli
→ brak dławika albo zainstalowanie niewielkiego dławika (dla przykładu Uk 2%)

Maksymalne 40% obciążenie transformatora przez przetwornice częstotliwości, w przypadku, gdy ma miejsce redukcja zakłóceń zasilania, czyli
→ dławik o Uk co najmniej 4%

Powyższe wartości maksymalnych obciążeń to wartości zalecane, wyznaczone na podstawie doświadczenia, umożliwiające bezproblemową pracę instalacji.

Zagadnienia dotyczące metod umożliwiających spełnienie wymagań EMC

Przetwornica częstotliwości z redukcją harmonicznych (ang. Low harmonic drive) składa się ze standardowej przetwornicy z wbudowanym filtrem aktywnym oddziałującym na sieć zasilającą.

Prostowniki 12-, 18- lub 24-pulsowe
W rzeczywistości przetwornice częstotliwości z prostownikami wielopulsowymi są instalowane głównie w aplikacjach z silnikami o dużej mocy. Wymagają zastosowania specjalnych transformatorów, które umożliwiają ich prawidłową pracę.

Filtry pasywne
Pasywne filtry harmoniczne, zawierające obwody LC, stosowane mogą być w wielorakich sytuacjach. Posiadają wysoką sprawność, wynoszącą około 98.5% i więcej. Urządzenia te są niezwykle solidne i poza sytuacjami, gdy zamontowane są wentylatory chłodzące, nie wymagają specjalnego utrzymania. Poniżej przedstawiono kilka kwestii, o których należy pamiętać w przypadku stosowania filtrów pasywnych. W przypadku pracy bez obciążenia, filtry te zachowują się jak źródła pojemnościowej mocy biernej, ze względu na prąd cyrkulacyjny płynący w filtrze. W zależności od konkretnej aplikacji, warte rozważenia może być zastosowanie grupy filtrów, z możliwością ich z selektywnego załączania i odłączania.

Filtry aktywne, napędy Active Front End oraz napędy z redukcją harmonicznych
Innowacyjnym rozwiązaniem, opartym na ulepszonych elementach półprzewodnikowych oraz na nowoczesnej technologii mikroprocesorowej, jest stosowanie układów aktywnych filtrów. Ich zasada działania polega na ciągłym pomiarze jakości energii zasilania i w razie potrzeby dostarczania odpowiedniej wartości prądu czynnego do sieci zasilającej. Wynikiem końcowym jest otrzymanie sinusoidalnego przebiegu prądu. W porównaniu z poprzednio opisanym rodzajem filtrów, filtry aktywne mają niezwykle złożoną architekturę, ponieważ wymagają szybkiego zbierania danych o wysokiej szczegółowości, jak również dużej mocy obliczeniowej.

Nie ma możliwości podania jednoznacznych rekomendacji dotyczących do wspomnianych tutaj metod umożliwiających redukcję zakłóceń sieci zasilającej. Należy pamiętać, że podjęcie właściwych decyzji w fazie projektowania i na etapie planowania kwestii technicznych, sprawi, że otrzymamy układ napędowy o wysokiej gotowości operacyjnej, który w jak najmniejszym stopniu będzie powodował zakłócenia sieci zasilającej, oraz będzie narażony na działanie zakłóceń o częstotliwościach radiowych. W każdym razie, należy dokładnie przeanalizować poniższe czynniki, zanim podejmie się decyzje odnośnie zastosowania konkretnej metody eliminacji zakłóceń:

- Analiza sieci zasilającej
- Dokładny przegląd topologii sieci
- Ograniczenia związane z dostępną wolną przestrzenią w pomieszczeniach, w których zainstalowane są urządzenia elektryczne
- Opcje sieci rozdzielczej i systemów uzupełniających

Uwaga: *W przypadku stosowania skomplikowanych filtrów aktywnych istnieje ryzyko pojawienia się problemów, ponieważ metoda ta posiada poważną wadę, polegająca na generowaniu zakłóceń w zakresie częstotliwości powyżej 2 kHz (patrz strona 18).*

Zagadnienia dotyczące wyłączników różnicowoprądowych

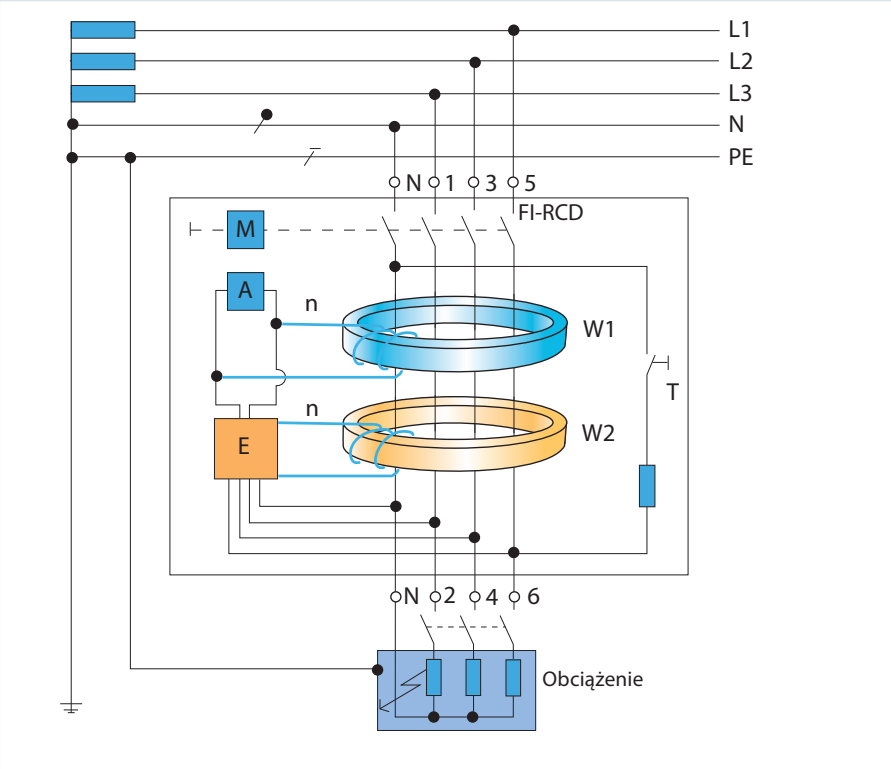
Układy monitorowania prądu upływu AC/DC

W niemieckojęzycznych państwach do niedawna stosowane były różne nazwy dla wyłączników różnicowoprądowych reagujących tylko na prąd zmienny AC oraz dla wyłączników reagujących zarówno na prąd zmienny jak i na prąd stały DC. W międzynarodowej terminologii urządzenia te znane są, jako Residual Current Circuit Breakers (RCCBs). Terminem definiującym wyłączniki różnicowoprądowe działające na wyższym poziomie jest Residual Current Operated Device (RCD), zgodnie z definicją znajdującą się w standardzie EN 61008-1.

Jeżeli w zabezpieczonym obszarze znajdują się urządzenia generujące prąd DC należy stosować wyłączniki RCD reagujące zarówno na prąd AC, jak i na prąd DC. Warunek ten obowiązuje w przypadku wszystkich urządzeń elektrycznych zawierających układ prostownika B6 (np. przetwornice częstotliwości), podłączonych do trójfazowej sieci zasilającej. Musi to być wyłącznik różnicowoprądowy RCD typu B, zgodnie z IEC 60755. Ze względu na zasadę działania, przetwornice częstotliwości generują prądy upływowe, które inżynier zakładu oraz/lub operator muszą wziąć pod uwagę w trakcie oszacowywania znamionowego prądu zwarciowego. Informację na temat typu RCD najlepszego dla danej aplikacji uzyskać można od producenta przetwornicy częstotliwości.
Wyłączniki różnicowoprądowe RCD instalowane muszą być bezpośrednio pomiędzy siecią zasilającą a prostownikiem. Niedopuszczalne jest łączenie wyłączników RCD typu B z wyłącznikami innego rodzaju.

Poziom prądu upływowego

Poziom prądu upływowego zależy od kilku czynników. Ogólnie rzecz mówiąc jego poziom jest wyższy w przypadku przetwornic częstotliwości i silników o większej wartości mocy. Przetwornica częstotliwości o mocy 1,5kW bez funkcji redukcji zakłóceń radiowych (brak filtra RFI) oraz z krótkimi kablami silnikowymi (około 2 m), będzie generować prąd upływowy o wartości około 4mA. Jeżeli zastosowany został filtr RFI klasy B, wówczas prąd upływowy wzrośnie do wartości 22mA. Przetwornica częstotliwości o mocy 20kW z zamontowanym filtrem RFI klasy B oraz krótkimi, ekranowanymi kablami silnikowymi, będzie miała prąd upływowy o wartości mniej więcej 70mA. Jeśli chodzi o kwestię długości kabli silnikowych, to można przyjąć, że z każdym kolejnym metrem ich długości, wartość prądów upływowych wzrasta o 0,5-2mA. W przypadku kabli dwuprzewodowych wartości tych prądów są niższe niż dla kabli jednoprzewodowych.



Wyłączniki różnicowoprądowe typu B posiadają dwa odrębne obwody monitorujące: jeden dla prądu stałego DC, drugi dla prądu zwarciowego z częścią składową prądu zmiennego AC.

Zagadnienia dotyczące instalacji uziemiających i ochrony silników

Instalacje uziemiające w praktyce

Instalacje uziemiające opisane zostały szczegółowo w rozdziale "Silniki i okablowanie" w ramach Kroku 3 (od strony 31). Jeżeli dana aplikacja wymaga zastosowania zewnętrznych filtrów, należy pamiętać, aby były one montowane możliwie jak najbliżej przetwornicy częstotliwości. Przewód między filtrem a urządzeniem powinien być ekranowany, natomiast sam filtr powinien być podłączony do przewodu uziemiającego zarówno po stronie sieci zasilającej, jak i urządzenia. Zaleca się również montowanie filtrów równo z powierzchnią oraz zapewnienie połączenia o niskiej impedancji pomiędzy obudową filtra a uziemieniem.

Filtry generują prądy upływowe, które mogą być znacząco przekraczać wartości znamionowe w przypadku awarii (zanik fazy albo obciążenie niesymetryczne).

W celu uniknięcia niebezpiecznych napięć, filtry muszą zostać uziemione przed załączeniem zasilania. W przypadku prądów upływowych o wartości 3.5 mA i wyższych, zgodnie z EN 50178 lub EN 60335:

- przekrój poprzeczny ochronnego przewodu uziemiającego musi wynosić 10 mm^2 lub więcej,
- albo należy monitorować ciągłość przewodu uziemienia,
- albo zainstalowany musi zostać dodatkowo drugi ochronny przewód uziemiający.

Prądy upływowe są w tym przypadku sygnałami o wysokiej częstotliwości. Wymaga to uziemienia przewodami o niskiej impedancji podłączonymi do dużych powierzchni, które przyłączone są do potencjału ziemi w najkrótszy możliwy sposób.

Uwaga: *Nawet najlepsze środki zapobiegające zakłóceniom sieci zasilającej oraz zakłóceniom o częstotliwościach radiowych będą nieskuteczne, jeżeli ich wykonanie w instalacji nie będzie zgodne z zaleceniami EMC. Wówczas problemy z zakłóceniami są nieuniknione.*

Ochrona silników oraz termistory PTC w silnikach

Przetwornice częstotliwości mają za zadanie ochronę silnika przed nadmiernymi wartościami prądów. Czujniki termistorowe albo wyłączniki termiczne w uzwojeniach silnika używane są w celu zapewnienia najlepszej, możliwej ochrony dla silnika. Sygnał jest monitorowany za pośrednictwem odpowiednich wejść w przetwornicy częstotliwości. Termistory zgodne z DIN 44081 lub DIN 44082 są zaprojektowane aby posiadać odpowiednie rezystancje w określonym zakresie temperatur tzw. RRT (rated response temperature) (RRT - 5°C < 550 Ω; RRT +5°C > 1330 Ω). Wiele przetwornic posiada możliwość współpracy z takimi termistorami. Silniki pracujące w strefach zagrozonych wybuchem lub pożarem wymagają specjalnych zabezpieczeń (więcej na str. 30).

Ochronna funkcja wyłączników silnikowych ogranicza się jedynie do pracy bezpośrednio z sieci zasilającej. W układach elektrycznych z przetwornicami częstotliwości, mogą one zapewnić ochronę silnika wyłącznie w przypadkach awaryjnych, gdy przetwornica zbocznikowana jest przez odpowiedni obwód. Funkcja wyłącznika dla ochrony silnika jest nieskuteczna przy pracy przetwornicy częstotliwości. Niemniej jednak, po odpowiednim doborze, może on pracować z silnikami o regulowane prędkości za pomocą przetwornic częstotliwości, jako pewnego rodzaju trójfazowy wyłącznik, który chroni wyłącznie uzwojenia.

Uwaga: *Wiele przetwornic częstotliwości posiada dodatkową funkcję zwaną "termicznym obrazem silnika". Temperatura silnika obliczana jest na podstawie danych silnika oraz ilości mocy pobieranej przez silnik. Funkcja ta jest rozwiązaniem, które ma tendencje do wyłączania urządzenia wcześniej niż jest to konieczne. Rzeczywista temperatura otoczenia przy rozpoczęciu procesu kalkulacji najczęściej nie jest brana pod uwagę. Jednak, funkcja ta może być stosowana do zapewnienia podstawowej ochrony w prostej postaci, jeżeli nie są dostępne żadne inne metody.*

Zagadnienia dotyczące sterowania i wyświetlania danych

Przede wszystkim prosta obsługa

Podstawowa technologia wszystkich przetwornic częstotliwości jest identyczna, dlatego czynnikiem decydującym staje się łatwość użytkowania. Wiele funkcji, jak również integracja z maszynami lub systemami, wymaga zastosowania koncepcji prostej obsługi. Musi ona spełnić wszystkie wymagania prostej i niezawodnej konfiguracji i instalacji.

Dostępnych jest wiele opcji do wyboru, począwszy od niedrogich wyświetlaczy numerycznych po wygodne w użyciu panele kontrolne wyświetlające dane w formie tekstowej. Proste panele kontrolne są wystarczające do podstawowych zadań związanych z monitorowaniem parametrów, takich jak prąd czy napięcie.

Łatwa obsługa to przejrzyste pogrupowanie funkcji dla lokalnej obsługi manualnej, to także opcje dostępu za pośrednictwem odpowiedniego oprogramowania, interfejsy sieci przemysłowych, czy nawet zdalny dostęp przy użyciu modemu czy sieci Internet. Nowoczesne przetwornice częstotliwości powinny być w stanie łączyć wszystkie tryby kontroli wspomniane poniżej oraz umożliwić przełączanie pomiędzy trybem ręcznym i zdalnym sterowania w dowolnej chwili.

design award winner

Zaprezentowany panel sterowania zdobył w 2004 roku nagrodę IF Design Award za urządzenie przyjazne dla użytkownika. Panel LCP 102 został nominowany do tego odznaczenia poprzez 1,000 zgłoszeń z 34 krajów, w kategorii „Interfejs człowiek-maszyna i komunikacja".

Graficzne panele kontrolne zapewniają łatwość użytkowania i są w stanie wyświetlać informacje w postaci prostego tekstu.

Funkcjonalność taka jak Danfoss Smart Start w znaczny sposób upraszczają zaprogramowanie i uruchomienie przetwornicy częstotliwości. Użytkownik jest prowadzony przez proces zaprogramowania podstawowych parametrów przetwornicy.

Zagadnienia dotyczące sterowania i wyświetlania danych

Praca w trybie sterowania lokalnego

Podstawowym wymogiem jest zapewnienie lokalnego sterowania przy użyciu panelu LCP. Nawet w epoce sieci komunikacyjnych, istnieje wiele zadań, które wymagają możliwości bezpośredniego sterowania urządzeniami, np. uruchomienie układu, testy, badania, optymalizacja procesu oraz działania utrzymania ruchu wykonywane na miejscu na terenie obiektu. W każdym z takich przypadków, operator lub technik mogą mieć potrzebę wprowadzenia modyfikacji parametrów, aby dokonać zmian bezpośrednio w systemie, np. w ramach diagnostyki błędów. W tym celu, panel sterowania powinien oferować prosty i intuicyjny interfejs człowiek – maszyna.

Przejrzysty wyświetlacz

Idealnym rozwiązaniem jest wyświetlacz graficzny, pozwalający użytkownikowi na wybranie preferowanego języka, natomiast podstawowy tryb wyświetlania jest w stanie przedstawić najistotniejsze parametry aplikacji. W celu zachowania przejrzystości, informacja o statusie musi być ograniczona do najistotniejszych parametrów. Musi również istnieć możliwość wprowadzenia albo modyfikacji parametrów, w dowolnej chwili. Bardzo pomocną właściwością jest umożliwienie zablokowania albo ukrycia określonych funkcji, zgodnie z poziomem wiedzy operatora, jak również ograniczania wyświetlania oraz modyfikowania parametrów, do wyłącznie tej grupy, która jest faktycznie niezbędna do regulacji i obsługi procesu.

Przy dużej ilości funkcji oferowanych przez nowoczesne przetwornice częstotliwości, które często posiadają szereg możliwych do ustawienia parametrów dla optymalnej pracy, ogranicza to możliwość popełniania błędów przez operatora. Przekłada się to na ograniczenie ilości kosztownych czasów przestojów i wyłączania linii produkcyjnych. Wyświetlacz powinien posiadać również wbudowaną pomoc dla poszczególnych funkcji, tak by technik odpowiedzialny za proces odbioru albo technik serwisu zawsze miał dostęp do opisu parametrów, szczególnie w przypadku tych rzadko używanych. Ma to na celu eliminowanie błędów operatora, w możliwie największym zakresie.

Dla optymalnego wykorzystania zintegrowanych funkcji diagnostycznych, bardzo pomocna jest możliwość wyświetlania wykresów graficznych („scope function"), oprócz danych alfanumerycznych. W wielu przypadkach taka forma wyświetlanych danych, jak np. przebieg rampy rozpędzania i/lub krzywa momentu obrotowego, ułatwia rozwiązywanie problemów.

Jednolita koncepcja

W zakładach wodociągowych oraz w oczyszczalniach ścieków, duże ilości przetwornic częstotliwości wykorzystywane są w różnorodnych zastosowaniach. Przetwornice, które najczęściej pochodzą od jednego producenta, różnią się między sobą przede wszystkim mocą znamionową, a tym samym wymiarami i wyglądem. Jednolity interfejs użytkownika w przetwornicach częstotliwości, z identycznym panelem sterowania w całym zakresie mocy, to niezwykła korzyść dla inżynierów zakładowych i operatorów linii. Uproszczona i przyjazna forma interfejsu operatora pozwala na szybsze i sprawniejsze przeprowadzenie procesu odbioru technicznego oraz likwidowania błędów. W konsekwencji, koncepcja paneli kontrolnych typu plug-and-play, potwierdziła w praktyce swoją wysoką wartość.

Integracja z drzwiami szafy sterowniczej

W wielu zakładach, w których przetwornice częstotliwości zainstalowane są w szafach sterowniczych, inżynierowie zakładowi powinni mieć możliwość zamontowania paneli kontrolnych w drzwiach tychże szaf, by zapewnić wizualizację procesu. Możliwe jest to wyłącznie z przetwornicami częstotliwości, które posiadają odłączane panele kontrolne. Dzięki panelom sterowania wbudowanym w drzwi szafy sterowniczej, za pomocą odpowiedniej ramki montażowej, możliwa jest obsługa przetwornic częstotliwości bez konieczności otwierania drzwi szafy, jak również monitorowanie i odczytywanie wartości parametrów stanu pracy oraz danych procesu.

Uwaga: *Należy upewnić się, że przetwornica częstotliwości planowana do zainstalowania w systemie charakteryzuje się odpowiednią koncepcją sterowania. Konstrukcja, która zapewni możliwie najłatwiejszy proces użytkowania w zakresie konfiguracji parametrów i programowania, będzie korzystna, gdyż funkcjonalność napędów nie jest obecnie jedynym istotnym czynnikiem. Szybka, łatwa dla użytkownika obsługa, najlepiej intuicyjna, jest tak samo ważna. Jest to jedyny sposób na ograniczenie czasu pracy, czyli i kosztów związanych z zapoznaniem się z danym systemem, jak również przyszłych czasów interakcji pracowników odpowiedzialnych za obsługę przetwornic częstotliwości.*

Programowanie przetwornicy częstotliwości, jak i odczyty parametrów pracy mogą być realizowane nawet przy zamkniętych drzwiach szafy sterowniczej.

Zagadnienia dotyczące sterowania i konfiguracji parametrów przy użyciu komputera PC

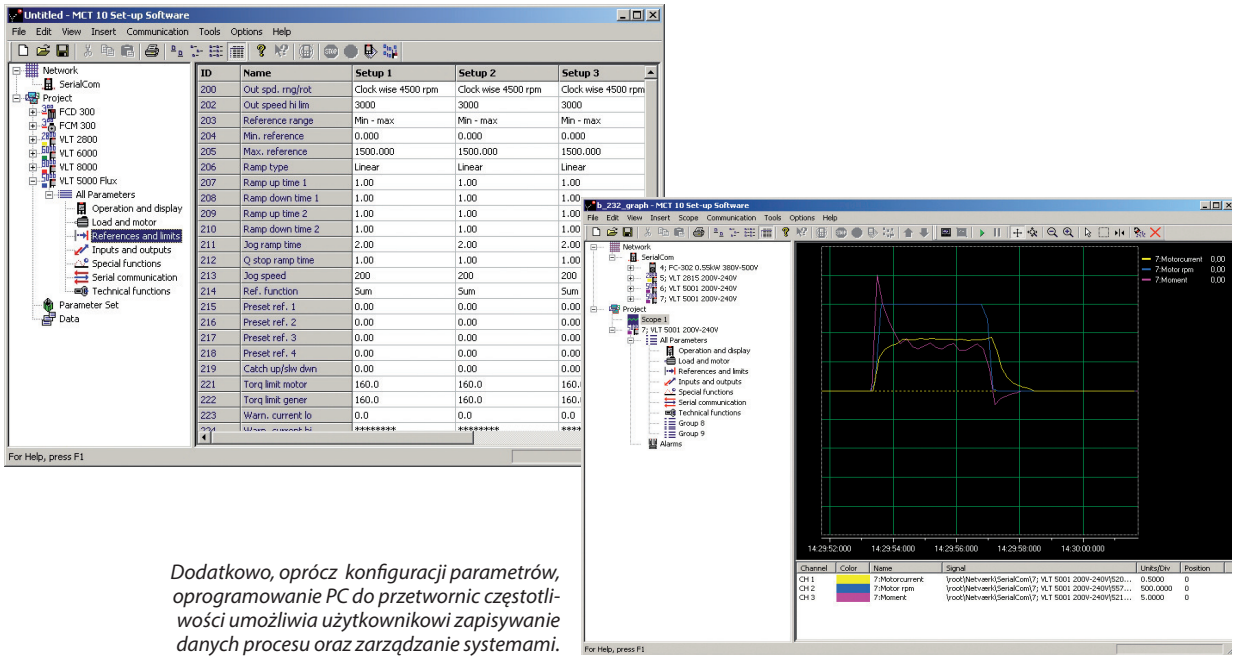
Więcej możliwości

Poza obsługą urządzenia przy użyciu panelu sterowania, nowoczesne przetwornice częstotliwości zazwyczaj umożliwiają konfigurację parametrów i odczyt danych za pośrednictwem dedykowanego programu komputerowego. Oprogramowanie takie najczęściej pracuje w środowisku Windows i obsługuje kilka protokołów komunikacyjnych. Umożliwia wymianę danych poprzez tradycyjny protokół szeregowy RS-485, sieci komunikacyjne (Profibus DPV1, Ethernet, itp.) albo poprzez złącze USB.

Przejrzysta konstrukcja interfejsu użytkownika zapewnia szybki przegląd wszystkich napędów w systemie. Dobry program pozwala również użytkownikowi na zarządzanie dużymi systemami, z zainstalowaną dużą liczbą napędów. Konfiguracja parametrów możliwa jest zarówno w trybie online, jak i offline.

Bardzo dobrze, jeżeli program pozwala również na dołączanie dokumentów do systemu. Daje to możliwość uzyskania dostępu do schematów układów elektrycznych albo instrukcji obsługi, z poziomu programu.

Uwaga: Program MCT10 jest narzędziem przeznaczonym do pracy w systemie Windows, umożliwiającym łatwe zarządzanie systemem, konfigurację parametrów i programowanie napędów VLT® AQUA Drive.



Dodatkowo, oprócz konfiguracji parametrów, oprogramowanie PC do przetwornic częstotliwości umożliwia użytkownikowi zapisywanie danych procesu oraz zarządzanie systemami.

Zagadnienia dotyczące wymiany danych

Systemy magistrali danych

Nowoczesne przetwornice częstotliwości są na tyle inteligentne, że umożliwiają zarządzanie jednocześnie wieloma zadaniami w systemach napędowych. Niemniej jednak, nawet w obecnych czasach, wiele urządzeń sterowane jest analogowo, bądź współpracując ze sterownikiem PLC i pełnią rolę jedynie regulatorów prędkości. Oznacza to, że użytkownicy nie wykorzystują w pełni wielu użytecznych funkcji i nie posiadają dostępu do danych przechowywanych w pamięci przetwornicy. Mogą oni jednakże z łatwością wykorzystać cały potencjał przetwornic częstotliwości przez zastosowanie protokołów komunikacyjnych, takich jak Profibus, w celu integracji wszystkich urządzeń w jeden system. Dzięki jednej spójnej magistrali danych użytkownik uzyskuje pełen dostęp do wszystkich parametrów zainstalowanych przetwornic częstotliwości. Okablowanie oraz procedura odbioru technicznego są prostsze, co prowadzi do oszczędności ekonomicznych, począwszy już od fazy instalacji. Dostępna jest ogromna ilość danych, możliwych do wykorzystania w zarządzaniu obiektem. Dekodowanie zbiorczych komunikatów o błędach umożliwia ich właściwe diagnozowanie nawet w sposób zdalny oraz inicjowanie odpowiednich działań naprawczych.

Lepsze zarządzanie alarmami

Szczegółowe komunikaty na temat alarmów uproszczają proces wykrywania możliwych przyczyn błędów, zapewniając w ten sposób skuteczne wsparcie dla zdalnego zarządzania instalacją. Zdalne utrzymanie ruchu przy zastosowaniu modemów albo Internetu, pozwala na sprawne wyświetlanie komunikatów stanu oraz/lub błędów, na odległość nawet dla poszczególnych komponentów systemu.

Lepsze zarządzanie instalacją

Operator w pomieszczeniu kontrolnym ma możliwość zdalnego monitorowania i regulowania wszystkich ustawień przetwornic częstotliwości. Dane na temat stanu, takie jak częstotliwość na wyjściu czy zużycie energii, mogą być w dowolnej chwili odczytywane i przetwarzane. Dodatkowe dane dla skutecznego zarządzania energią i szczytowymi obciążeniami dostępne są bez konieczności stosowania dodatkowego wyposażenia.

Niższe koszty instalacji

Nie ma konieczności wyposażania każdej przetwornicy częstotliwości w panel LCP. Użytkownik lub operator może uzyskać dostęp do wszystkich danych danej przetwornicy za pośrednictwem magistrali systemu kontroli. Okablowanie uproszczone jest do połączeń dwuprzewodowych.

Niewykorzystywane wejścia i wyjścia przetwornic częstotliwości mogą zostać użyte, jako porty I/O do zintegrowania innych komponentów z systemem kontrolnym, takich jak czujniki, filtry i wyłączniki krańcowe.

Nie ma potrzeby instalowania dodatkowych opcji wejściowych i wyjściowych, ponieważ jeden port danych jest wystarczający do sterowania przetwornicą częstotliwości. Dostępne są również funkcje monitorowania, takie jak monitorowanie termistorów w silnikach, ochrona przed suchobiegiem pomp, itp., jak również monitorowanie liczników roboczogodzin, to wszystko magistralą bez konieczności instalowania dodatkowych opcji I/O.

Uproszczona procedura odbioru technicznego

Konfiguracja parametrów przeprowadzana jest z pomieszczenia kontrolnego. Wszystkie ustawienia mogą zostać szybko i łatwo skopiowane z jednej przetwornicy do innej. W pamięci panelu sterowania LCP przechowywane mogą być kopie zapasowe wszystkich ustawień. Projektanci i personel odpowiedzialny za odbiór techniczny są w stanie sporządzić dokumentację wszystkich ustawień, przez naciśnięcie jednego przycisku.

Uwaga: *System RGO 100 Remote Guardian Option ustanawia nowy standard w monitorowaniu, utrzymaniu ruchu i przetwarzaniu alarmów w przetwornicach częstotliwości, w jednej lub więcej liczbie instalacji. Obsługuje typowe zadania, takie jak zdalna obsługa, zdalne utrzymanie ruchu, przetwarzanie alarmów oraz zapisywanie danych do konfiguracji systemu, oraz do monitorowania systemu.*

PROFIBUS®

Modbus

PROFINET®

EtherNet/IP™

Zagadnienia dotyczące dodatkowych kryteriów wyboru

Sterownik procesu

Nowoczesne przetwornice częstotliwości to inteligentne sterowniki napędów. Mogą wykonywać zadania i funkcje, które tradycyjnie wykonywane są przez sterowniki PLC. Wykorzystanie sterowników procesu może być również służyć stworzeniu niezależnych pętli regulacyjnych o wysokiej dokładności.

Właściwość taka jest szczególnie przydatna w przypadku modernizacji systemów, w którym pracował sterownik PLC o niedostatecznej wydajności, albo tam gdzie nie był w ogóle zainstalowany.

Przetworniki parametrów procesu (przetworniki bieżącej wartości przepływu, ciśnienia lub poziomu) mogą być zasilane przez napięcie 24 V DC pochodzące z przetwornicy częstotliwości, o ile posiada ona wystarczającą wydajność wewnętrznego zasilacza.

Utrzymanie ruchu

Większość przetwornic częstotliwości jest praktycznie bezobsługowa. Napędy dużej mocy mają wbudowane wkłady filtrujące, które w zależności od wielkości zapylenia w pomieszczeniu wymagają od operatora okresowego przeczyszczenia.

Niemniej jednak, producenci przetwornic częstotliwości określają okresy czasu między kolejnymi przeglądami.

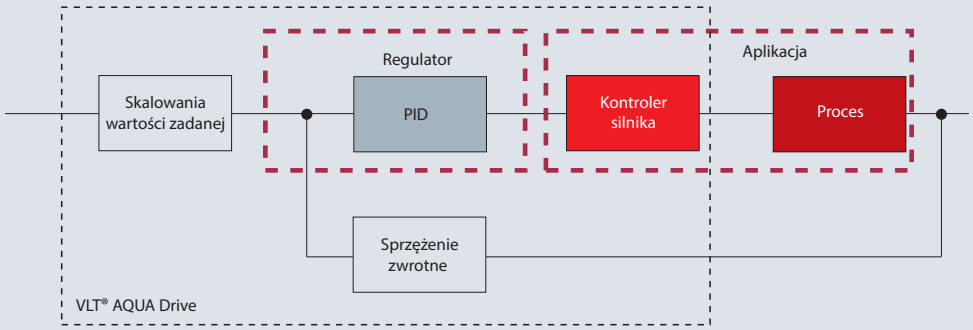
W przypadku wentylatorów chłodzących są to przeglądy co 3 lata, natomiast kondensatorów 5 lat.

Uwaga: *Przetwornice częstotliwości VLT® firmy Danfoss, o mocach do 90 kW są bezobsługowe. Modele z mocą znamionową 110 kW i większą posiadają maty filtrujące zintegrowane z wentylatorami chłodzącymi. Muszą być one okresowo kontrolowane i czyszczone w razie konieczności.*

Przechowywanie

Podobnie jak inne urządzenia elektroniczne, przetwornice częstotliwości muszą być przechowywane w suchych warunkach. Przestrzegane muszą być specyfikacje producentów w tym zakresie. Niektórzy producenci wymagają, by urządzenia były okresowo załączane. W tym celu, użytkownik musi podłączyć urządzenie do źródła o odpowiednim napięciu na określony przedział czasu. Jest to niezbędne ze względu na proces starzenia się kondensatorów w obwodzie DC przetwornicy częstotliwości. Prędkość starzenia się uzależniony jest od jakości zastosowanych kondensatorów. Załączanie ma za zadanie przeciwdziałanie procesowi starzenia.

Uwaga: *Ze względu na wysoką jakość zastosowanych kondensatorów oraz koncepcję produkcji urządzeń pod zamówienia, tego typu postępowanie nie jest konieczne w przypadku przetwornic częstotliwości VLT® AQUA Drive firmy Danfoss*



Schemat blokowy sterowania procesu PID

VLT® AQUA Drive

Przetwornice częstotliwości VLT® AQUA Drive dostępne są o mocach znamionowych w zakresie od 0.37 kW do 1.4 MW oraz dla napięć zasilania 400 V lub 690 V. Dostępne są również wersje VLT® Low Harmonic Drive, umożliwiające bardzo skuteczną redukcję zakłóceń harmonicznych w zasilaniu.

Przetwornice częstotliwości VLT® AQUA Drive firmy Danfoss są specjalnie zaprojektowane do użycia w aplikacjach wodnych i wodno-ściekowych. W przeciwieństwie do innych tego typu urządzeń, wszystkie najistotniejsze elementy i funkcje są standardowo zintegrowane z naszymi urządzeniami.

- Pełne napięcie zasilania na wyjściu przetwornicy częstotliwości
- Możliwość podłączenia długich kabli silnika (ekranowane 150 m lub nieekranowane 300 m)
- Konstrukcja gwarantująca długą żywotność
- Wbudowany filtr RFI zgodny z EN 61800-3 kategoria C1 (limity dla klasy B zgodnie z definicją w EN 55011)
- Wbudowany dławik DC (UK 4%)
- Monitorowanie termistora PTC
- Funkcja AEO to dodatkowe oszczędności energii przy pracy z częściowym obciążeniem
- Złącze szeregowe RS 485, protokoły komunikacyjne
- Złącze USB
- Zegar czasu rzeczywistego
- Zabezpieczenie przed suchobiegiem
- Kompensacja przepływu
- Rotacja pomp
- Dwustopniowy czas rozpędzania (ramp up)
- Tryb napełniania rurociągów
- Opcjonalny zintegrowany protokół komunikacji Profibus (również z zewnętrznym zasilaniem 24 V DC)
- Zintegrowany sterownik kaskady dla pracy trzech pomp
- Opcjonalny rozszerzony lub zaawansowany sterownik kaskadowy dla większej liczby pomp/dmuchaw
- Opcjonalna bezczujnikowa kontrola pompy
- Opcjonalne filtru aktywne i pasywne sieci zasilającej w celu dodatkowej redukcji wyższych harmonicznych
- Opcjonalny filtr sinusoidalny oraz filtr dU/dt dla całego zakresu mocy
- Napędy VLT® AQUA Drive w wersjach z redukcją harmonicznych (LHD).

Obszerne informacje możecie Państwo otrzymać od przedstawiciela firmy Danfoss, albo znaleźć na stronie internetowej. Udostępniamy również dużą ilość dokumentacji technicznej, którą można pobrać z naszej strony internetowej.

www.danfoss.pl/napedy

Dyrektywy dotyczące przetwornic częstotliwości

Oznaczenie CE

Oznaczenie CE (Communaute Europeenne) ma za zadanie wyeliminowanie barier technicznych w wolnym handlu między państwami członkowskimi EC oraz EFTA (Europejskiego Stowarzyszenia Wolnego Handlu) (wewnątrz ECU). Oznaczenie to umieszczone na wyrobie jest deklaracją, że jego producent działa w zgodzie ze wszystkimi obowiązującymi dyrektywami Komisji Europejskiej, które zostały wdrożone do prawodawstwa międzynarodowego. Znak EC nie ma nic wspólnego z jakością produktu. Także na podstawie tego oznaczenia nie można wyciągać wniosków o warunkach technicznych produktu. Wśród dyrektyw, które muszą być przestrzegane w zakresie użytkowania przetwornic częstotliwości, znajdują się Dyrektywa Maszynowa, Dyrektywa EMC oraz Dyrektywa Niskiego Napięcia.

Dyrektywa maszynowa

Stosowanie Dyrektywy Maszynowej nr 2006/42/EC zaczęło być obowiązkowe w dniu 29 grudnia 2009 roku. Dyrektywa Maszynowa nr 98/37/EC została tym samym uchylona. Kluczowa informacja zawarta w tej dyrektywie jest taka, że maszyna składająca się z zespołu różnych, wzajemnie powiązanych komponentów lub urządzeń, z których przynajmniej jedna jest w stanie się poruszać, musi być zaprojektowana w taki sposób, aby zapewnić bezpieczeństwo i zdrowie ludzi oraz zwierząt domowych lub innych podmiotów, czyli musi być poprawnie zainstalowana, odpowiednio konserwowana i użytkowana w sposób zgodny z wytycznymi. Przetwornice częstotliwości sklasyfikowane są jako elementy elektroniczne, a zatem nie podlegają zapisom Dyrektywy Maszynowej. Gdy na obiekcie, w maszynach stosowane są przetwornice częstotliwości, musi zostać przygotowana deklaracja producenta, stwierdzającą, że maszyna spełnia wszystkie wymagania przepisów prawnych i środków zabezpieczających.

Dyrektywa EMC

Dyrektywa EMC o numerze 2004/08/EC obowiązuje od dnia 20 lipca 2007 roku. Kluczowym założeniem tej dyrektywy jest warunek, że urządzenia odpowiedzialne za emisję zakłóceń elektromagnetycznych, albo których praca może zostać zaburzona przez takie zakłócenia, muszą być zaprojektowane tak, aby ograniczone było generowanie tychże zakłóceń elektromagnetycznych, w takim stopniu, aby urządzenia radiowe i telekomunikacyjne, jak również innego rodzaju charakteryzujące się odpowiednią klasą odporności na zakłócenia, mogły pracować w przewidzianym dla nich zakresie użytkowania. Ponieważ przetwornice częstotliwości nie są urządzeniami, które nie mogą pracować niezależnie oraz nie są ogólno dostępne w sprzedaży detalicznej, nie ma konieczności dokumentowania ich zgodności z Dyrektywą EMC, przy użyciu oznaczenia CE albo deklaracji zgodności EC. Niemniej jednak, przetwornice częstotliwości firmy Danfoss posiadają znak CE, jako dowód na zgodność z Dyrektywą EMC, natomiast deklaracja zgodności jest dostępna na żądanie.

Dyrektywa Niskonapięciowa LVD

Dyrektywa Niskonapięciowa o numerze 73/23/EEC weszła w życie w dniu 11 czerwca 1979 roku. Okres przejściowy zakończył się w dniu 31 grudnia 1996 roku. Podstawowy warunek dyrektywy brzmi, że urządzenia elektryczne przeznaczone do użycia z napięciem znamionowym od 50 do 1,000 V AC albo 75 do 1,600 V DC muszą być zaprojektowane w taki sposób, by bezpieczeństwo i zdrowie ludzi i zwierząt domowych, jak również cennych przedmiotów, nie było zagrożone, o ile sprzęt jest poprawnie zainstalowany oraz konserwowany i użytkowany zgodnie z przeznaczeniem. Przetwornice częstotliwości są urządzeniami elektrycznymi pracującymi w określonym zakresie napięć, zatem podlegają zapisom Dyrektywy Niskonapięciowej i wszystkie urządzenia wyprodukowane od dnia 1 stycznia 1997 roku muszą posiadać oznaczenie CE.

***Uwaga**: Producenci maszyn lub systemów powinni zapewnić, by przetwornice częstotliwości, które są przez nich użytkowane, posiadały znak CE. Deklaracja zgodności EC musi być udostępniana na żądanie.*

ENGINEERING
TOMORROW

Lista Kontrolna Projektowania Układów z Przetwornicami Częstotliwości

Cztery podstawowe kroki w procesie projektowania systemów z przetwornicami częstotliwości w celu otrzymania niezawodnych aplikacji wodnych i wodno-ściekowych.

Pierwszym krokiem jest zdefiniowanie zadań dla napędu oraz charakterystyki obciążenia. Jeżeli zostaną wzięte pod rozwagę wszystkie aspekty wymienione na poniższej liście kontrolnej, wówczas będzie można być pewnym, że zaprojektowana została niezawodna i bezproblemowa aplikacja.

Sieć zasilająca

☐	**Typ sieci: TN-C, TN-S, TT, IT**	Preferowaną siecią jest sieć typu TN-S, biorąc pod uwagę kwestie EMC. W przypadku sieci IT, konieczne jest uwzględnienie specjalnych ograniczeń.
☐	**EMC**	Przestrzegać wytycznych EMC i ograniczeń z nimi związanych.
☐	**Zakłócenia sieci zasilającej (harmoniczne)**	Jaki jest poziom obecnie istniejących zakłóceń sieci zasilającej? Jaki jest maksymalna, dopuszczalna wartość współczynnika zawartości harmonicznych (THD)?
☐	**Zakłócenia o częstotliwościach radiowych (wysokie częstotliwości)**	Jaka jest klasa środowiska obiektu (1 czy 2), w której umieszczona jest instalacja?
☐	**Urządzenia do korekcji współczynnika mocy**	Zainstalować urządzenia do korekcji współczynnika mocy z dławikami.
☐	**Stany nieustalone zasilania**	Czy przetwornice częstotliwości są odpowiednio chronione przed stanami nieustalonymi sieci zasilającej?
☐	**Maksymalne wykorzystanie transformatora**	Praktyczna reguła dotycząca obciążenia transformatora: około 40% obciążenia przetwornicy częstotliwości (z dławikiem).
☐	**Praca z generatorem rezerwowym**	Inne kryteria mają zastosowanie w przypadku pracy z przetwornicami częstotliwości niż w przypadku pracy z zasilaniem sieciowym.

Warunki zewnętrzne

☐	**Lokalizacja instalacji**	Montaż zcentralizowany przetwornic częstotliwości w szafie sterowniczej (IP20) albo rozproszony na ścianie (IP54 lub IP66)?
☐	**Koncepcja chłodzenia**	Chłodzenie szafy sterowniczej i przetwornicy częstotliwości; wysokie temperatury powodują uszkodzenia wszystkich rodzajów komponentów elektronicznych.
☐	**Agresywne korozyjnie środowisko / gazy**	Elektroniczne płyty drukowane PCB z powłoką ochronną przed działaniem szkodliwych substancji: siarkowodór (H2S), chlor (Cl2) oraz amoniak (NH3).
☐	**Narażenie na działanie pyłu**	Gromadzenie się pyłu na zewnątrz albo wewnątrz przetwornicy częstotliwości obniża skuteczność chłodzenia.
☐	**Praca w atmosferze grożącej wybuchem**	Przetwornice częstotliwości podlegają w tym zakresie specjalnym ograniczeniom.

ENGINEERING
TOMORROW

Silnik i okablowanie

☐	Klasy sprawności silników	Dobór silnika pod kątem sprawności energetycznej.
☐	Dopasowanie silnika do pracy z przetwornicą częstotliwości	Skontaktować się z dostawcą silnika, by potwierdził możliwość pracy z przetwornicą częstotliwości.
☐	Filtr wyjściowy: sinusoidalny lub dU/dt	Dodatkowe filtry do zastosowań w szczególnych przypadkach.
☐	Przewód silnika	Stosować przewód z odpowiednim ekranowaniem. Przestrzegać, określonej w specyfikacji technicznej przetwornicy częstotliwości, maksymalnej długości kabla silnikowego.
☐	Uziemienie	Upewnić się, że zapewnione jest prawidłowe wyrównanie potencjałów. Czy dostępny jest plan instalacji uziemienia?
☐	Ekranowanie	Stosować dławiki kablowe zgodne z EMC oraz we właściwy sposób podłączyć ekran.

Przetwornica częstotliwości

☐	Wymiary i dobór	Dobór wg prądu nominalnego silnika. Uwzględnić spadki napięcia.
☐	Przypadki specjalne, równoległa praca wielu silników	Zastosowanie mają w tym przypadku specjalne kryteria.
☐	Zakłócenia częstotliwości radiowej (wysoka częstotliwość)	Określić właściwe filtry RFI dla rzeczywistego środowiska EMC.
☐	Zakłócenia zasilania (niska częstotliwość)	Stosować dławiki sieciowe lub specjalistyczne filtry w celu redukcji harmonicznych prądu.
☐	Uziemienie	Czy zastosowane zostały właściwe środki mające na celu przeciwdziałanie prądom upływu?
☐	Wyłącznik różnicowoprądowy RCD	Stosować RCD wyłącznie typu B.
☐	Ochrona silnika i termistor PTC silnika	Przetwornica częstotliwości monitoruje termistor PTC silnika (zatwierdzenie PTB dla strefy EX).
☐	Sterowanie i wyświetlanie danych	Sterowanie i wyświetlanie danych przy wykorzystaniu panela tekstowego (zainstalowanego na drzwiach szafy sterowniczej).
☐	Wymiana danych (magistrale danych)	Za pośrednictwem magistral danych (np. Profibus) albo za pośrednictwem standardowego okablowania.
☐	Sterownik procesu	Przetwornica częstotliwości może wykonywać zadania PLC albo utworzyć niezależne pętle regulacji.
☐	Utrzymanie ruchu	Czy przetwornica częstotliwości jest bezobsługowa?

Notatki

ENGINEERING
TOMORROW

Wszystko o VLT®

Danfoss VLT Drives jest światowym liderem w produkcji elektronicznie regulowanych napędów, stosowanych w każdym obszarze działalności przemysłowej. Danfoss ciągle zwiększa swoje udziały rynkowe w sprzedaży napędów.

Z dbałością o środowisko

Produkty z pod marki VLT® wytwarzane są z uwzględnieniem norm środowisk społecznych oraz środowiska naturalnego. Wszystkie plany i działania producenta biorą pod uwagę potrzeby indywidualnych pracowników, środowiska pracy i środowiska przyrody. Produkcja odbywa się bez hałasu, dymów lub innych zanieczyszczeń.

UN Global Compact

Danfoss parafując UN Global Compact zobowiązał się w swojej działalności kierować się zasadami z zakresu praw człowieka, praw pracowniczych, ochrony środowiska i przeciwdziałania korupcji. Global Compact promuje społeczną odpowiedzialność biznesu.

Dyrektywy Europejskie EU

Wszystkie fabryki Danfoss VLT Drives są certyfikowane wg ISO 14001 i spełniają wymagania europejskich dyrektyw dotyczących bezpieczeństwa produktów (GPSD) oraz dyrektywy "maszynowej". Danfoss VLT Drives we wszystkich wytwarzanych produktach zapewnia Zgodność z RoHS – Dyrektywą EU o ograniczeniu użycia substancji niebezpiecznych. Wszystkie nowe produkty spełniaja także wymagania dyrektyw europejskich dotyczących kontroli wycofanych z użycia urządzeń elektrycznych i elektronicznych (WEEE).

Wpływ produktów

Wyprodukowane w ciągu jednego roku napędy VLT® zaoszczędzą w aplikacjach tyle energii ile w tym samym czasie wyprodukuje jedna elektrownia atomowa. Lepsza kontrola procesu wytwarzania to także wyższa jakość produktów i mniej odpadów.

Specjalizacja w napędach

Specjalizacja jest kluczowym słowem w Danfoss od roku 1968, kiedy to jako pierwsza firma na świecie rozpoczął masową produkcję przetwornic częstotliwości – urządzeń do płynnej regulacji prędkości obrotowej silników prądu przemiennego.
Już wówczas nadano im nazwę VLT®.

Obecnie ponad dwa tysiące osób pracuje przy rozwoju, produkcji, sprzedaży i serwisowaniu przetwornic częstotliwości oraz softstartów – i nic więcej tylko przetwornice częstotliwości i softstarty.

Inteligentna i innowacyjna

Inżynierowie Danfoss VLT Drives opracowali i wykorzystali koncepcję modułową napędu na każdym etapie jego wdrożenia, począwszy od projektu urządzenia przez proces produkcji, aż do finalnej konfiguracji zamówienia.

Przyszłe opcje są rozwijane z wykorzystaniem zaawansowanych technologii. Pozwala to na rozwój wszystkich elementów w tym samym czasie, redukując czas oczekiwania i zapewniając klientom możliwość korzystania z najnowszych funkcji.

Polegamy na ekspertach

Bierzemy odpowiedzialność za każdy element w naszej produkcji. Fakt, że sami rozwijamy i produkujemy hardware, software, moduły mocy, płytki drukowane elektroniki i akcesoria daje Państwu gwarancję, że otrzymacie najwyższej jakości, niezawodny produkt.

Lokalne wsparcie – globalnie dostępne

Danfoss VLT Drives, dzięki globalnej organizacji sprzedaży i serwisu jest obecny i oferuje swoje produkty oraz usługi w ponad 100 krajach.

Napędy VLT® pracują w aplikacjach na całym świecie, a eksperci Danfoss VLT Drives kończą swoją pracę tylko wtedy, kiedy problemy klientów zostają rozwiązane.

www.danfoss.pl/napedy

Danfoss Sp. z o.o., ul. Chrzanowska 5 • 05-825 Grodzisk Mazowiecki • Telefon: (48 22) 755 06 68 • Telefax: (48 22) 755 07 01 • www.danfoss.pl/napedy • e-mail: info@danfoss.pl
Kontakt z serwisem • Telefon: (0 22) 755 07 90 • Hotline: (0 22) 755 07 91 • Telefax: (0 22) 755 07 82 • e-mail: VLT_drives_support@danfoss.pl

Danfoss nie ponosi odpowiedzialności za możliwe błędy drukarskie w katalogach, broszurach i innych materiałach drukowanych. Dane techniczne zawarte w broszurze mogą ulec zmianie bez wcześniejszego uprzedzenia, jako efekt stałych ulepszeń i modyfikacji naszych urządzeń. Wszystkie znaki towarowe w tym materiale są własnością odpowiednich spółek. Danfoss, logotyp Danfoss są znakami towarowymi Danfoss A/S. Wszystkie prawa zastrzeżone.

DKDD.PB.14.U3.49
VLT® is a trademark of Danfoss A/S
Produced by PE-MMSC 2014.09