

5 Ochrona i bezpieczeństwo

Opierając się na przepisach dotyczących bezpieczeństwa przeciwporażeniowego instalacji, może być konieczne umieszczenie wyłącznika bezpieczeństwa blisko silnika. Ważne jest, aby ten wyłącznik umieścić w taki sposób w instalacji kablowej silnika, aby silnik lub przemiennik częstotliwości nie ulegał uszkodzeniu przy jego zadziałaniu i aby jego działanie było niezależne od przemiennika częstotliwości.

Wymagana jest izolacja galwaniczna pomiędzy obwodem sterowania i obwodem mocy przemiennika częstotliwości. W przeciwnym razie przewody sterujące mogłyby znajdować się na takim samym poziomie napięcia w stosunku do uziomu jak sieć zasilająca. W takim przypadku kontakt bezpośredni człowieka z przewodami sterowania może doprowadzić do porażenia prądem, lub w najlepszym razie może dojść do uszkodzenia sprzętu.

Europejska norma EN 50178 opisuje zalecenia dla izolacji galwanicznych. Rodzaj ochrony stosowany dla przemiennika częstotliwości ma zapewnić ochronę przed porażeniem od dotyku. Obudowa typu IP20 zapewnia całkowite zabezpieczenie przed dotknięciem niebezpiecznych części we wnętrzu maszyny, natomiast obudowa typu IP54 chroni dodatkowo urządzenie przed bryzgami wody z dowolnego kierunku.

Dodatkowo przegrzanie mogłoby wywołać w przemienniku częstotliwości duże ryzyko pożaru. Z tego powodu czujnik termiczny, który jest integralną częścią przemiennika powinien zapewnić odłączenie źródła zasilania w przypadku awarii jego układu chłodzenia.

W pewnych okolicznościach silnik podłączony do przemiennika częstotliwości może wznowić pracę bez ostrzeżenia. Nastąpić to może w przypadku, gdy aktywne są elementy układu sterowania reagujące z opóźnieniem czasowym lub, gdy układ kontroli temperatury czasowo spowoduje zatrzymanie silnika.

5.1 Ochrona dodatkowa

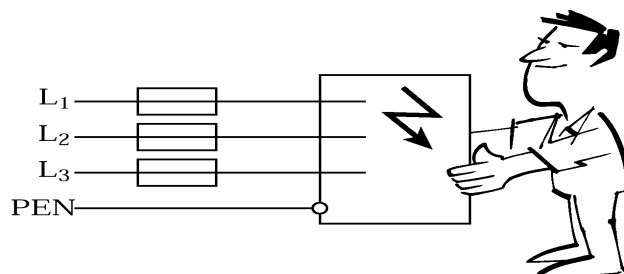
Ochrona dodatkowa służy do zapobiegania pojawieniu się niebezpiecznego napięcia na zewnętrznej stronie obudowy. Dla przemiennika częstotliwości ochrona dodatkowa jest zawsze wymagana. Sposób ochrony musi być dobrany do występujących zagrożeń oraz jest zależy od miejscowych warunków i przepisów. Inne typy ochrony to: zerowanie, uziemienie i przekaźniki ochronne.

5.2 Zerowanie (system TN)

Uziemiony przewód ochronny - PE może być połączony z przewodem neutralnym (zerowym) - N kablowej instalacji zasilającej. Sieć TN-C z przewodem ochronnym PEN. Ten typ ochrony dodatkowej jest często używany w przemysłowych

i domowych instalacjach zasilania. Uziom przewodu ochronnego powinien być umieszczony możliwie najbliżej miejsca połączenia przewodu PE - o odpowiednio dobranym przekroju, z przewodem neutralnym N.

Jeżeli instalacja nie jest zerowana wtedy, użycie tej metody będzie zależało od warunków w miejscu instalacji przemiennika częstotliwości i może być konieczna konsultacja z dostawcą przemiennika częstotliwości.

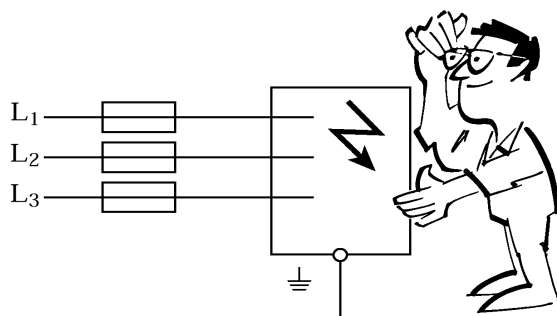


Rys. 5.01 Zerowanie (system układu sieci TN).

5.3 Uziemienie (system TT)

Przewód ochronny może być również dołączony między zaciskiem uziemienia części chronionej a uziomem sieci z bezpośrednio uziemionym punktem zerowym. Jednakże dla zastosowania tej metody impedancja w punkcie uziemienia musi być wystarczająco niska. Przemiennik częstotliwości jest złożonym urządzeniem zawierającym elementy tłumienia emisji zaburzeń, które powodują przepływ prądu upływu, dlatego uziom powinien mieć małą impedancję. Norma EN 50178/5.2.1 jest zbiorem następujących wymagań:

Dla prądu upływu większego niż 3,5mA przekrój przewodu musi być, co najmniej 10mm², lub element musi być uziemiony za pomocą dwóch oddzielnych przewodów ochronnych spełniających wymagania IEC 364-5-543.



Rys. 5.02 Zerowanie (system układu sieci TT).

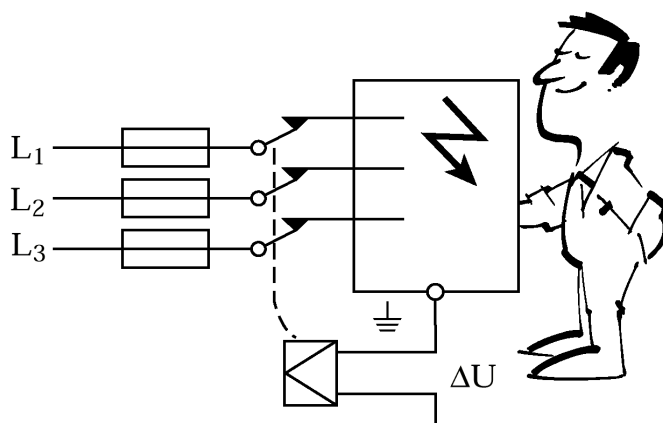
5.4 Przełączniki ochronne

Istnieją dwa typy przełączników ochronnych stosowanych dla zapewnienia ochrony dodatkowej. Jeden typ działa pod wpływem zmiany napięcia, a drugi pod wpływem zmiany prądu.

Ochrona dodatkowa wykorzystująca przełącznik nadnapięciowy (ang. FV relay) jest używana w większości instalacji. Ochrona jest uzyskana poprzez połączenie przewodem ochronnym cewki przełącznika pomiędzy potencjał uziomu i zacisk uziemienia przemiennika częstotliwości. W razie uszkodzenia napięcie pojawiające się na cewce przełącznika wyzwala go, a ten odłącza przemiennik od napięcia zasilania.

Przełączniki nadnapięciowe FV mogą być stosowane z dobrym skutkiem tam gdzie zerowanie nie jest dozwolone lub gdzie otoczenie uniemożliwia zastosowanie uziemienia. Wybór rodzaju przełącznika nadnapięciowego zależy od unormowań lokalnych dostawcy energii elektrycznej.

Ochrona przemiennika częstotliwości wykorzystująca przełącznik różnicowoprądowy (ang. RCD relay) jest stosowana pod pewnymi warunkami. Przełączniki RCD obejmują wszystkie przewody zasilające przemiennik częstotliwości. Prądy fazowe sieci trójfazowej, płynące przez kable zasilające przemiennika częstotliwości, podawane są na uzwojenia transformatora przełącznika. W normalnych warunkach pracy suma tych prądów jest równa zero. W przeciwnym razie w uzwojeniu wtórnym transformatora automatycznie indukowany jest prąd różnicowy powodujący rozwarście styków roboczych przełącznika i tym samym następuje odłączenie napięcia zasilania od przemiennika częstotliwości. Tradycyjne przełączniki różnicowoprądowe bazowały na teorii indukcji dla sinusoidalnych napięć przemiennych. Zgodnie z normą EN 50178 przemiennik częstotliwości z 6-pulsowym mostkiem prostownika wejściowego może w przypadku uszkodzenia spowodować przepływ prądu niesinusoidalnego np. prądu stałego, między obudową i uziomem. Najlepiej w praktyce jest sprawdzić czy prąd stały może być mierzony przy wejściach zasilania przemiennika częstotliwości.



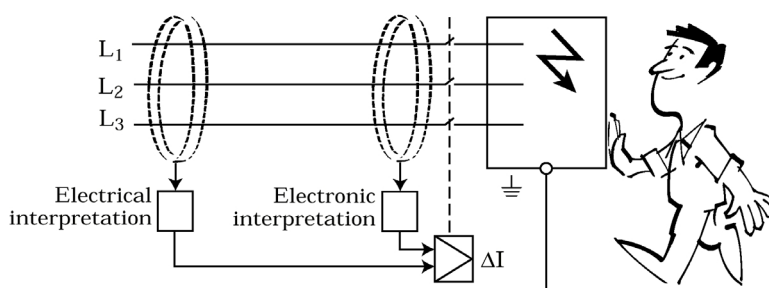
Rys. 5.03 Przełącznik napięciowy.

Zgodnie z EN 50178 prądy wyprostowane mogą być generowane w sieci zasilania, jeżeli nastąpi uszkodzenie przemiennika częstotliwości z 3-fazowym prostownikiem. Jeżeli przekaźniki różnicowoprądowe RCD są stosowane jako ochrona dodatkowa, to muszą być typu B, jak zalecane w normie IEC 755.

W praktyce oznacza to, że przekaźnik różnicowoprądowy do tych zastosowań musi być znakowany symbolem:



Jeżeli użyte są wyłączniki prądu zwarcowego, które nie są kompatybilne z prądem stałym, to transformator izolacyjny umieszczony przed przemiennikiem częstotliwości jest w stanie zabezpieczać przed wystąpieniem nadmiernych prądów zwarcowych.



Rys. 5.04 Wszystkie prądy oddziałują na wartość prądu wyzwalania przekaźnika różnicowoprądowego.

Prądy upływu są spowodowane przez komponenty filtrów tłumienia zaburzeń radiowych. Pojedyncze filtry zakłóceń radiowych normalnie są źródłem prądu upływu o wartości kilku mA i nie prowadzą do wyzwolenia przekaźnika różnicowoprądowego. Jeżeli jednak użytych jest kilka filtrów lub jeden duży, to może to być przyczyną samoczynnego wyzwolenia przekaźnika.

Interpretacja elektryczna	Interpretacja elektroniczna
	Przebieg prądu zwarcia
	Pulsacja prądu prostowanego (dodatnia i ujemna półfala)
	Nachylenie półfali prądu. Kąt nachylenia $\frac{90^\circ}{135^\circ}$
	Półfala wygładzonego prądu zwarcia DC na 6 mA.
	Wygładzony prąd zwarcia DC

Rys. 5.05 Kształt przebiegów prądu wyzwalania przekaźników różnicowoprądowych.

5.5 Zgodność elektromagnetyczna

Zaburzenia elektromagnetyczne pochodzące z urządzeń są niepożądanym zjawiskiem elektrycznym, ponieważ wywierają zły wpływ na urządzenia znajdujące się w bliskiej odległości.

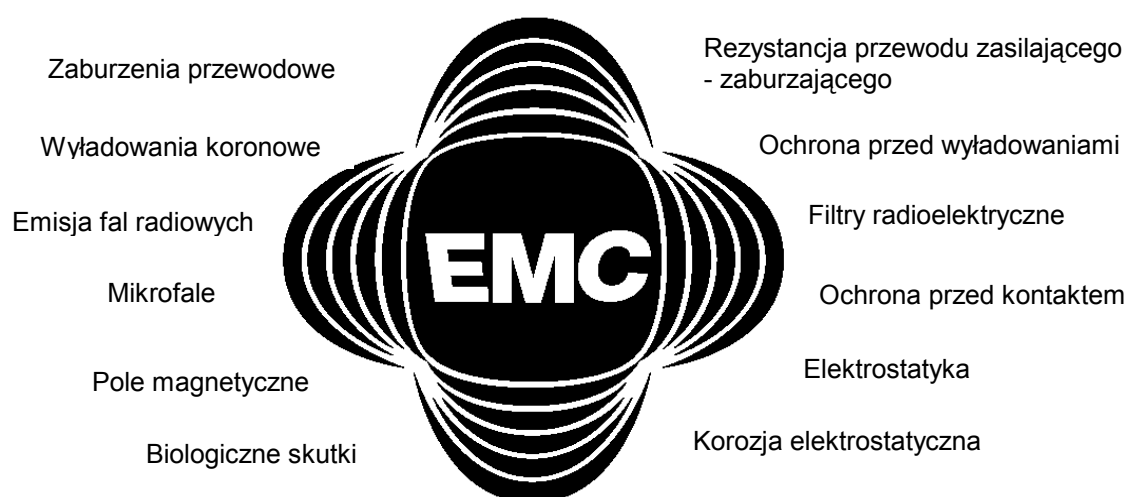
Zjawiska elektromagnetyczne mogą wynikać z natury lub działalności człowieka.

Wśród elektromagnetycznych zaburzeń pojawiających się w naturze są zaburzenia atmosferyczne, takie jak błyskawice. Innym zjawiskiem jest pole magnetyczne otaczające całą kulę ziemską, które chroni nas od promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego z przestrzeni kosmicznej. Ponieważ zaburzenia atmosferyczne są nie uniknione, to ich wpływ na urządzenia i instalacje elektryczne może być ograniczony.

Zaburzenia nie spowodowane przez naturę są uważane za sztucznie wywołane i występują tam gdzie stosuje się urządzenia elektryczne. Zaburzenia te mogą się rozprzestrzeniać się przez powietrze lub przewody instalacji elektrycznej. Pochodzą one na przykład od wyłączników oświetlenia lub układów zapłonowych, co jest widoczne przy zakłócaniu pracy odbiorników radiowych lub TV. Dodatkowo, jeżeli wystąpi krótkotrwały spadek napięcia zasilania, zegary mogą ulec zatrzymaniu lub komputery nie będą pracować poprawnie.

Elektrostatyczne wyładowanie może również doprowadzić do uszkodzenia elektronicznych wyłączników, a nawet powodować zagrożenie pożarowe, ma różne skutki oddziaływania na ludzi, rośliny i zwierzęta.

Międzynarodowa nazwa zaleceń dla zapewnienia zgodności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych to EMC (ang. ElectroMagnetic Compatibility) – Kompatybilność Elektromagnetyczna.



Rys. 5.06 Zjawiska elektromagnetyczne: rodzaje zaburzeń – rodzaje ochrony.

Opisane są zalecenia dla zapewnienia odporności urządzenia na elektromagnetyczne zaburzenia zewnętrzne i określające dopuszczalny poziom emisji zaburzeń od urządzenia do otoczenia.

W Europie zalecenia EMC zostały przyjęte w 1989 roku, a obecne obowiązują europejskie normy EMC, które są dzielone na trzy grupy.

Standard podstawowy (ang. Basic Standard)

Te normy są ukierunkowane na opis zjawisk elektromagnetycznych. Opisują one przebieg procedur i pomiarowe wymagania stawiane urządzeniom przeznaczonym do prowadzenia badań.

Standard rodzajowy (ang. Generic Standard)

Te normy ukierunkowane są na środowiskowo w którym pracują urządzenia elektryczne. Definiują one różne obszary użytkowania urządzeń: obszary mieszkaniowe, biurowe, przemysłu lekkiego, zakładów produkcyjnych oraz obszary specjalnego przeznaczenia (aplikacji nietypowych).

Standard produktowy (ang. Product Standard)

Normy te odnoszą się do określonych wymagań dla danej rodziny produktów z uwzględnieniem procedur pomiarowych w zakresie EMC. Zawierają one wartości poziomów odporności na zakłócenia i wartości poziomów emisji zaburzeń. Normy produkcyjne mają pierwszeństwo w stosunku do norm rodzajowych.

Jeżeli elektryczne lub elektroniczne urządzenie spełnia prawodawstwo europejskie, to musi być przebadane i zaakceptowane przez autoryzowane instytucje certyfikujące. Certyfikaty wydawane są na określony czas i muszą być odnawiane po jego upływie. Spełnienie wymogów EMC przez urządzenie jest uwidocznione poprzez etykietę CE jest umieszczaną na urządzeniu, opakowaniu i instrukcji obsługi. Po przeprowadzeniu badań EMC producent otrzymuje dokument: Deklaracja Spełnienia UE (ang. UE Declaration of Compliance) dla danej serii urządzeń oznacza, że spełnione są normy i dyrektywy obowiązujące na rynku UE.

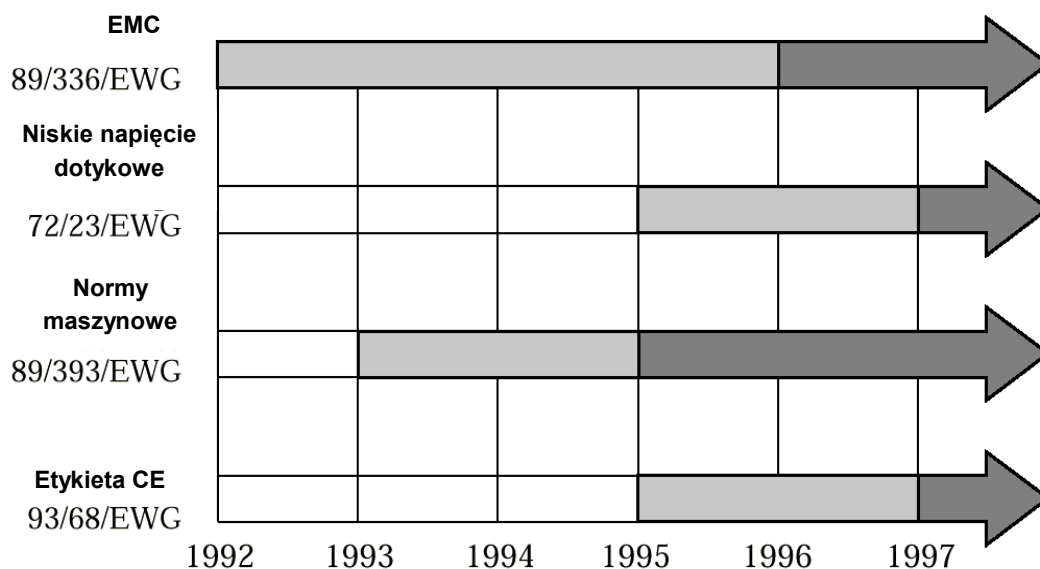
Etykieta CE jest symbolem kierowanym do odnośnych władz europejskich i potwierdza, że przestrzegane są i stosowane zasady i przepisy przy wytwarzaniu danego urządzenia elektrycznego.

Produkt wymagający etykietę CE zgodnie z zaleceniami EMC musi obecnie posiadać tę etykietę o wyglądzie:



Rys. 5.07 Znak Unii Europejskiej określający spełnienie norm wymaganych dla danego produktu.

Jeżeli urządzenie elektryczne pracuje przy napięciach przemiennych pomiędzy 50V i 1000V lub przy stałych pomiędzy 75V i 1500V DC to musi być także spełniona niskonapięciowa norma ochrony przeciwporażeniowej (np. PELV). Te dyrektywy weszły w życie w 1997 roku i odnoszą się do zagrożeń dla ludzi, zwierząt domowych lub przedmiotów.



Rys. 5.08 Okresy wprowadzania norm związanych z EMC w państwach UE.

5.6 Emisja zaburzeń

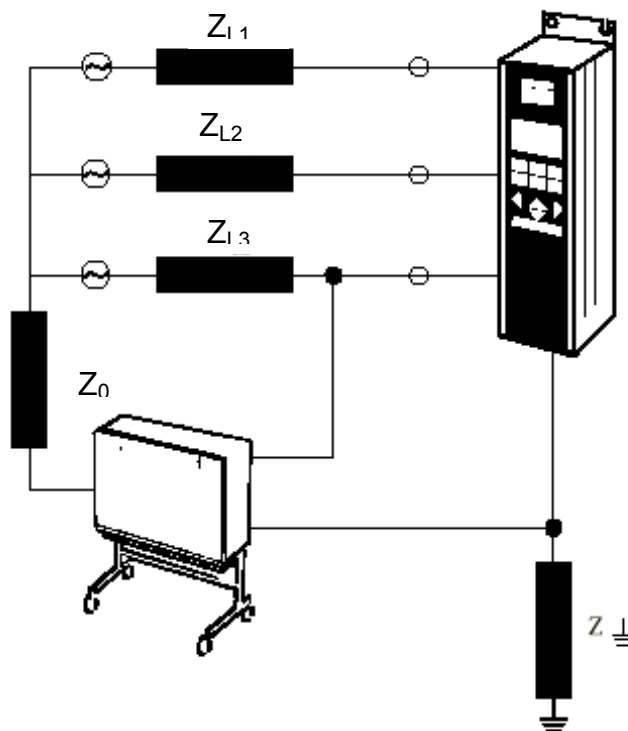
Emitowane zaburzenia (ang. emission interference) są energią elektromagnetyczną pochodzącą od czynnego urządzenia elektrycznego. Urządzenie elektryczne musi się jednocześnie cechować określoną odpornością, aby zapewnić właściwą pracę przy oddziaływujących na niego zakłóceniach zewnętrznych i wewnętrznych.

Zaburzenia pochodzące od przemiennika częstotliwości i powodujące zakłócanie pracy innych urządzeń znajdujących się w jego otoczeniu można podzielić na:

- ⇒ **zaburzenia niskoczęstotliwościowe rozprzestrzeniane drogą przewodową, np. kablami zasilającymi i przewodami sterowniczymi.**
- ⇒ **zaburzenia wysokoczęstotliwościowe promieniowane bezpośrednio do otoczenia (10kHz do kilku GHz).**

5.7 Sprężenia obwodów elektrycznych

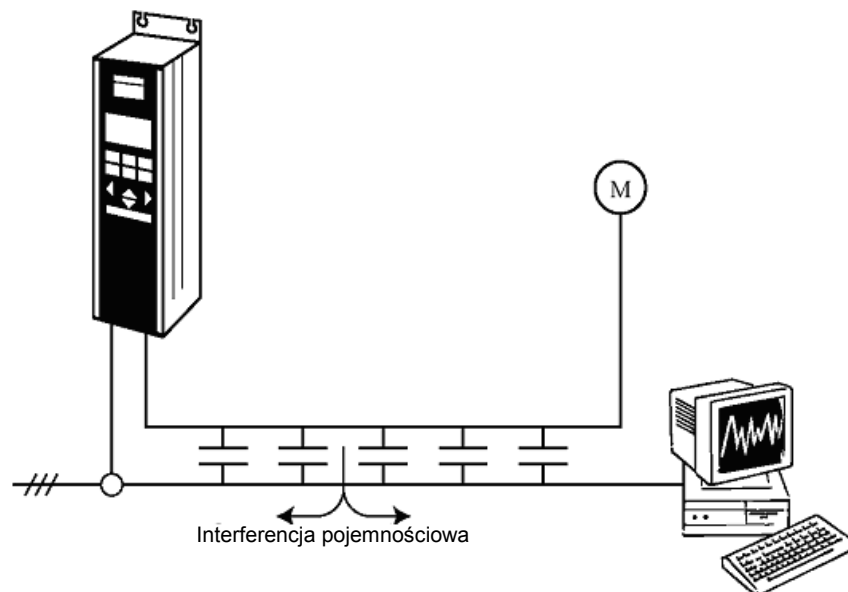
Elektryczne obwody mogą sprzęgać się między sobą poprzez połączenia galwaniczne, pojemnościowe lub indukcyjne. Galwaniczne sprzężenie może wystąpić, gdy dwa obwody elektryczne współdzielą tą samą impedancję elektryczną.



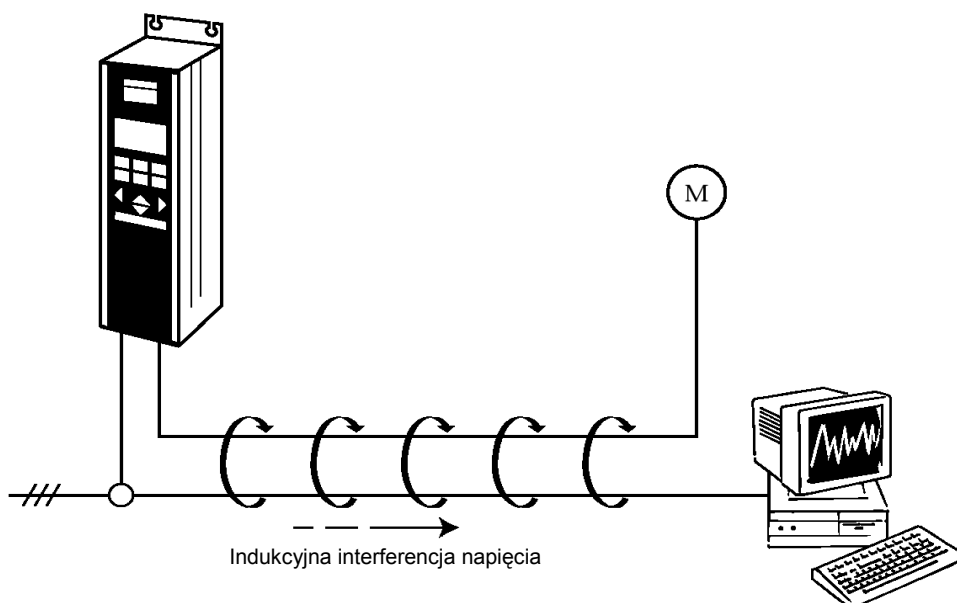
Rys. 5.09 Ilustracja sprzężenia galwanicznego.

Przebiegi częstotliwości i inne urządzenia elektryczne działające w jednym układzie zasilania, są połączone między sobą przewodami i mają taki sam potencjał uziemienia. Zależnie od stosunku impedancji, powstałe sprzężenie galwaniczne prowadzi do powstania napięć zakłócających pracę urządzeń z powodu współdzielenia impedancji Z_{L3} i Z_0 .

Pojemnościowe sprzężenie występuje wtedy, gdy dwa elektryczne obwody mają taki sam potencjał odniesienia w stosunku do uziomu. Zwykle to zjawisko występuje, gdy kable zasilania silnika ułożone są zbyt blisko innych kabli zasilających lub przewodów sygnałowych. Względnie wysoka częstotliwość przełączania zaworów półprzewodnikowych falownika dzisiejszych przebiegów częstotliwości, powoduje w efekcie zmniejszoną impedancję pojemnościową izolacji kabli silnikowych, co prowadzi do powstania pojemnościowych prądów zakłócających.



Rys. 5.10 Ilustracja powstawania sprzężenia pojemnościowego.



Rys. 5.11 Ilustracja powstawania sprzężenia indukcyjnego.

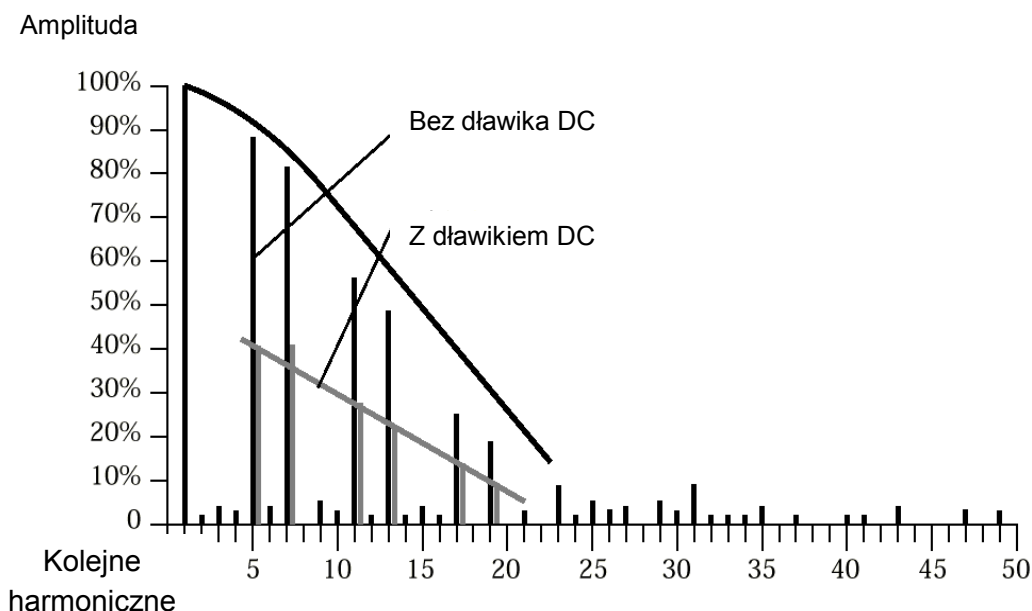
Indukcyjne sprzężenie zachodzi wtedy, gdy pole magnetyczne występujące wokół przewodzącego przewodu elektrycznego indukuje napięcie w innym przewodzie. Indukowana wartość napięcia przemiennego zależy od natężenia wytworzonego pola magnetycznego, co jest z kolei bezpośrednio zależne od natężenia i częstotliwości prądu w kablu silnikowym oraz odległości między przewodami.

5.8 Zakłócenia przenoszone siecią zasilania

Elektryczne zakłócenia mogą rozprzestrzeniać się przewodami sieci zasilania. Wyższe częstotliwości są bezpośrednio nakładane na 50Hz przebieg sinusoidy napięcia zasilającego. Zachodzi wówczas zniekształcenie czystego sinusoidalnego przebiegu.

⇒ **Zakłócenia w sieci zasilania pochodzące od odbiorów.**

Zaburzenia pochodzące od odbiorników energii elektrycznej powodują zniekształcenie napięcia zasilającego. Te zaburzenia wytworzone są przez elementy przełączające z wysoką częstotliwością prąd w obwodach wejściowych przemienników częstotliwości i innych urządzeń z elementami półprzewodnikowymi mającymi ze swojej natury nieliniowy charakter. W innych urządzeniach połączonych z tą samą zakłóconą siecią zasilającą, powstaje dodatkowe ich obciążenie. Efektem tego jest zwiększony pobór prądu i powstawanie dodatkowych szumów akustycznych w elementach urządzeń.



Rys. 5.12 Redukcja harmonicznych prądów fazowych w sieci zasilania przez wprowadzenie dławika w obwodzie DC przemiennika częstotliwości

Prostownik przemiennika częstotliwości generuje na wyjściu tętniące napięcie stałe. Kondensator włączony w obwód pośredni jest ładowany przy każdej szczytowej wartości tego napięcia. Podczas tego ładowania prąd wejściowy uzyskuje relatywnie wysoką amplitudę. Z powodu takiego impulsowego prądu, nieliniowego obciążenia, sinusoidalny kształt napięcia zasilającego jest zniekształcany i stopień zniekształcenia zależy od prądu obciążenia i impedancji (oporu pozornego) sieci zasilającej.

Maksymalne dopuszczalne odkształcenia napięcia sieci zasilania określa norma EN 61000-3-2 dla sieci publicznych, oraz EN 61000-3-4 dla publicznych

systemów niskiego napięcia. Zakłócenia napięcia sinusoidalnego w przewodzie zasilającym zawierają składowe o wysokich częstotliwościach, tzw. harmoniczne częstotliwości podstawowej napięcia zasilającego.

Ta całkowita zawartość wyższych harmonicznych w napięciu zasilania jest oznaczana symbolem THD (ang. Total Harmonic Distortion).

$$\text{THD}_{[\%]} = \frac{\sqrt{(U_3)^2 + (U_5)^2 + \dots + (U_N)^2}}{U_1}$$

Maksymalna wartość poszczególnych harmonicznych w napięciu zasilania jest określona w normie EN-61000-3-2 w tabeli 1. Zawartość wyższych harmonicznych w napięciu przewodu zasilającego może być zredukowana poprzez ograniczenie amplitudy impulsów prądu pobieranego przez odbiorniki. W praktyce wykonuje się to za pomocą dławika DC dołączonego od wyjścia prostownika w obwodzie pośrednim lub dławików AC dołączonych do wejść fazowych prostownika wejściowego przemiennika częstotliwości. Dławiki mogą być zamawiane oddzielnie i instalowane oddzielnie zależnie od potrzeb. Poziomy harmonicznych napięcia sieci zasilającej, których nie można przekraczać po włączeniu do niej przemiennika częstotliwości są opisane w normie EN-60146-1-1, dotyczącej głównych wymogów dla półprzewodnikowych konwerterów mocy.

⇒ **Przebiecia**

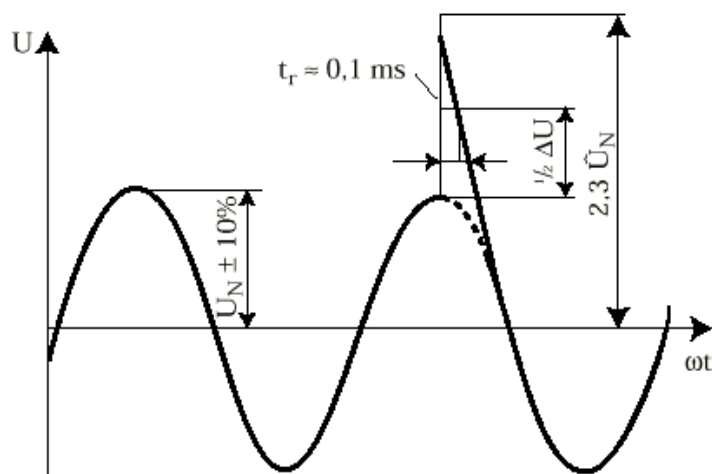
Nieustalone przebiegi napięcia, albo krótkotrwałe przebiecia osiągające wartości kilku tysięcy woltów mogą wystąpić w głównym przewodzie zasilającym instalacji przemysłowej jak i w sieciach zasilania urządzeń domowych.

Mogą one być powodowane przez duże odbiorniki przy ich włączaniu i wyłączaniu zależnie w związku z współpracą tych odbiorników z urządzeniami kompensacji współczynnika mocy. Jeśli wyładowanie piorunowe nastąpi bezpośrednio do przewodu zasilania, wtedy pojawiające się wysokonapięciowe przebiecie powoduje uszkodzenie urządzeń dołączonych do instalacji odległych nawet do 20km. W instalacjach napowietrznych może nastąpić przeskok napięcia przez izolatory na inne kable.

Zabezpieczenia przeciwzwarciove i wyłączniki sieciowe bezpieczeństwa także powodują powstawanie przejściowych przebiegów nieustalonych. Poprzez magnetyczne sprzężenia indukcyjne przewody biegnące równoległe także mogą powodować powstawanie wysokonapięciowych przebiegów.

Typowy kształt przebiegu przebieciowego i przenoszona energia są opisane w normach EN-6100-41 i VDE-0160.

Firma Danfoss kieruje się wymaganiami zawartymi w niemieckiej normie VDE-0160 (wersja 2), chociaż nie jest ona już obowiązująca. Powodem tego jest fakt, że określa ona surowe wymagania, na jakie przemiennik częstotliwości w rzeczywistych warunkach pracy jest często narażany.

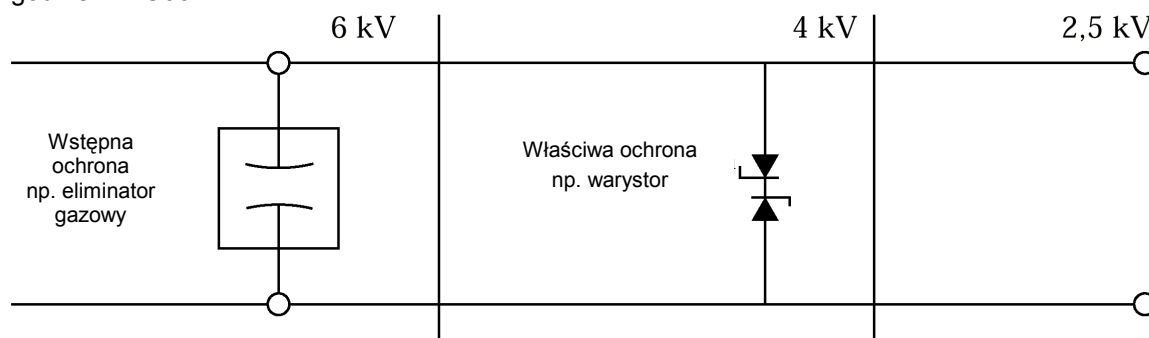


Rys. 5.13 Definicja przerw występujących w sieci zasilania wg normy VDE 0160 z grudnia 1990 roku.

Szkodliwe skutki przebiegów nieustalonych i przerw mogą być ograniczone różnymi sposobami. Aby ograniczyć wielkość energii przebiegów nieustalonych oraz amplitudę przerw można stosować eliminatory gazowe, lub tłumiki iskrowe.

W elementach elektronicznych elementy zależne od napięcia, oporniki o zmiennej oporności (warystory) są często używane do tłumienia przerw. W zakresie sygnału ochrona może być zapewniona poprzez diody zaporowe.

Kategoria przerw
zgodnie z IEC664



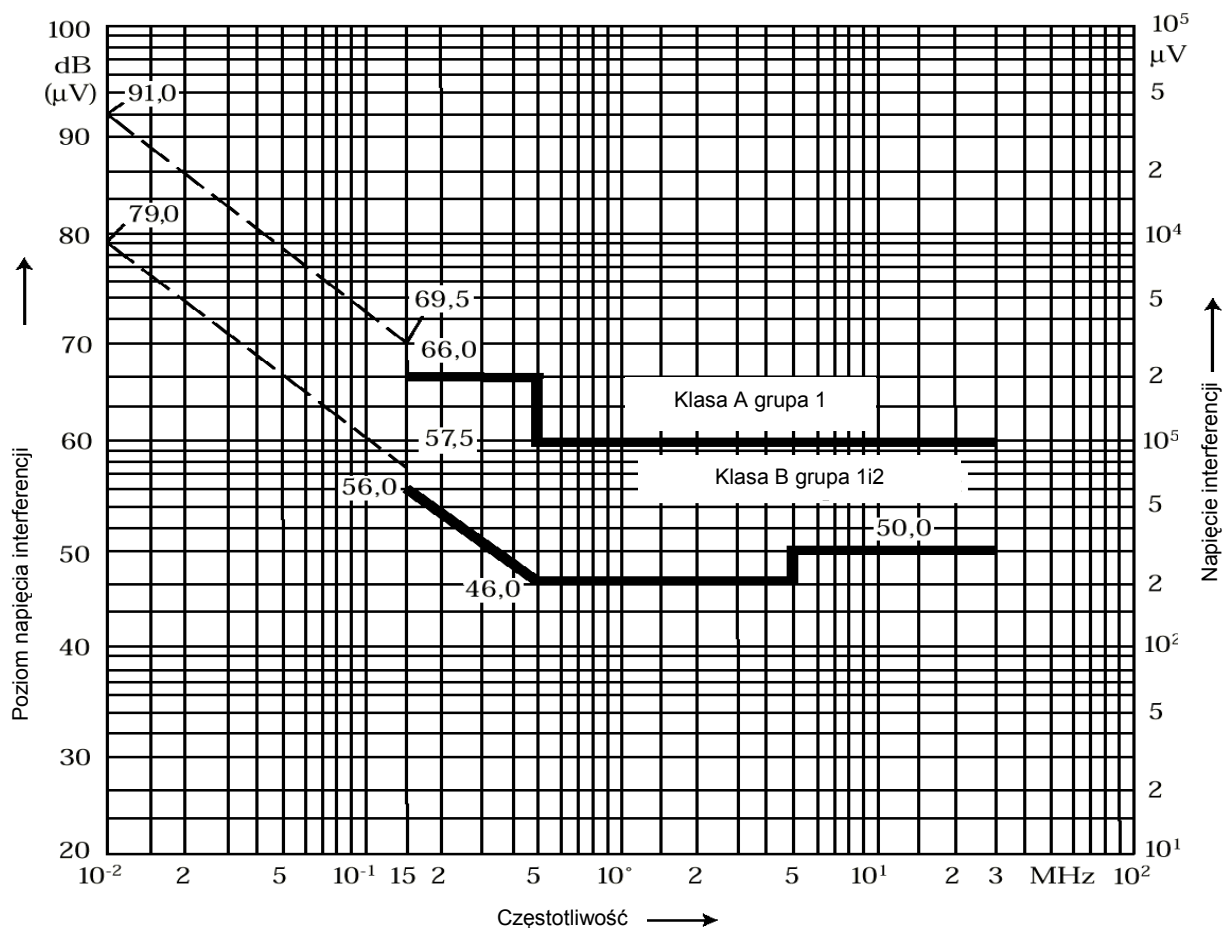
Rys. 5.14 Ochrona przerwowa w sieci średnich napięć.

5.9 Interferencja częstotliwości radiowych

Wszystkie prądy i napięcia nie mające kształtu czystej sinusoidy zawierają składowe z wyższymi częstotliwościami – częstotliwości harmoniczne. Wartość amplitud tych częstotliwości harmonicznych zależy od współczynnika odkształcenia przebiegu podstawowego.

Gdy mechanizm stykowy zamyka lub otwiera obwód elektryczny wtedy ma miejsce zmiana wartości prądu w obwodzie. Proces ten przebiega bardzo szybko i rejestrowana jest duża jego stromość. Ma to także swoje odbicie w przebiegu

napięcia. W odbiorniku radiowym zjawisko to może być słyszalne jako trzeszczący hałas. W tym kontekście pojedynczy impuls zakłócenia, - wywołany np. załączeniem stycznika, normalnie nie jest brany pod uwagę przy rozważaniu interferencji częstotliwości radiowych (ang. RFI – Radio Frequency Interference) zakłócania pasma częstotliwości radiowych.



Rys. 5.15 Przeciętny dopuszczalny poziom zakłóceń częstotliwości radiowych wg normy EN 55011.

Jednakże, odkąd półprzewodnikowe przemienniki częstotliwości przełączają zawory falownika z częstotliwościami rzędu kilka - kilkadziesiąt kHz, stałe zakłócenie częstotliwości radiowych jest wytwarzane i przenoszone do otoczenia. Zakłócenia częstotliwości radiowych RFI są definiowane jako oscylacje elektryczne o częstotliwościach w paśmie 10kHz do GHz.

Poziom tych zakłóceń zależy od wielu czynników:

- impedancji obwodu zasilania
- częstotliwości przełączania falownika przemiennika częstotliwości
- budowy mechanicznej przemiennika częstotliwości
- częstotliwości składowej napięcia wyjściowego podawanego do silnika
- długości i typu kabla zasilania silnika.

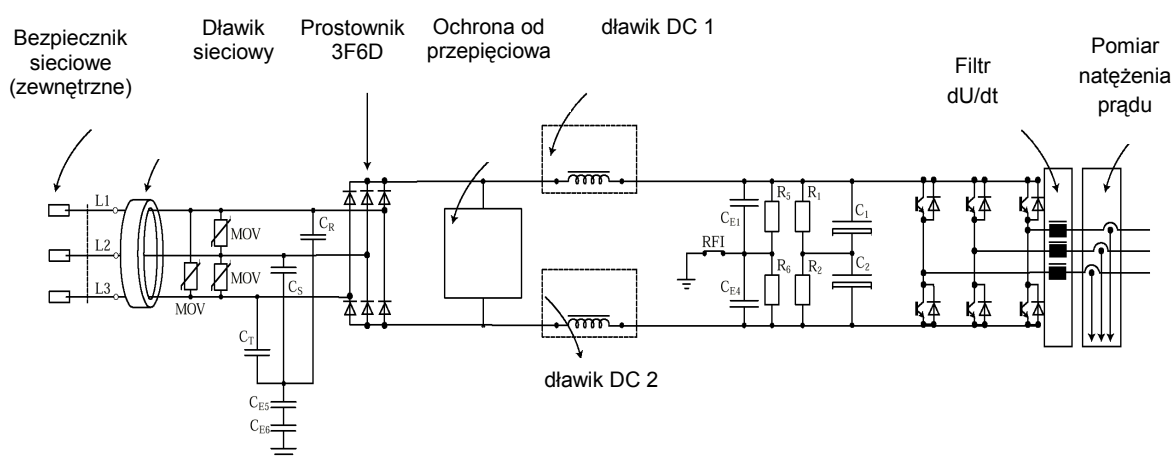
Zaburzenia częstotliwości radiowych są rozprzestrzeniane drogą przewodową i przez promieniowanie. Ich maksymalny poziom musi być ograniczany i jest określony przez standardy w europejskie EN i światowe IEC.

Graniczne wartości i procedury pomiarowe dla zaburzeń częstotliwości radiowych dla przemysłowych, naukowych i medycznych urządzeń wysokiej częstotliwości, które do niedawna zawierały także przemienniki częstotliwości zawarte są w normie EN 55011. Graniczne wartości emisji zaburzeń domowych urządzeń elektrycznych zawarte są w EN 55014. Obecnie przemienniki częstotliwości posiadają normę standardu produktu EN 61800-3.

Interferencja częstotliwości radiowych rozprzestrzenianych drogą przewodową przez sieć zasilania może być jedynie skutecznie ograniczana dzięki użyciu filtrów RFI składających się z cewek i kondensatorów. Nie wszystkie przemienniki częstotliwości posiadają wbudowane filtry RFI, zatem w ich przypadku filtry należy dołączyć dodatkowo zewnętrzny filtr RFI, dobrany wg zasady: filtr klasy A dla zastosowań w środowisku przemysłowym, zaś filtr klasy B dla zastosowań w środowisku mieszkalnym i obiektach biurowych.

Zaburzenia częstotliwości radiowych promieniowane do otoczenia przez kable łączące silnik z przemiennikiem częstotliwości można ograniczyć przez stosowanie wyjściowych filtrów sinusoidalnych LC, albo przez stosowanie ekranowanych lub opancerzonych (zbrojonych) kabli silnikowych. W takim przypadku zwiększanie częstotliwości przełączania zaworów falownika przemiennika częstotliwości powoduje, że:

- kondensatory muszą absorbować większe prądy
- cewki filtrów muszą być przewymiarowane, aby nie doszło do ich nasycenia i tym samym utraty własności filtracyjnych.



Rys. 5.16 Przemiennik częstotliwości z podzespołami ograniczania emisji zaburzeń RFI.

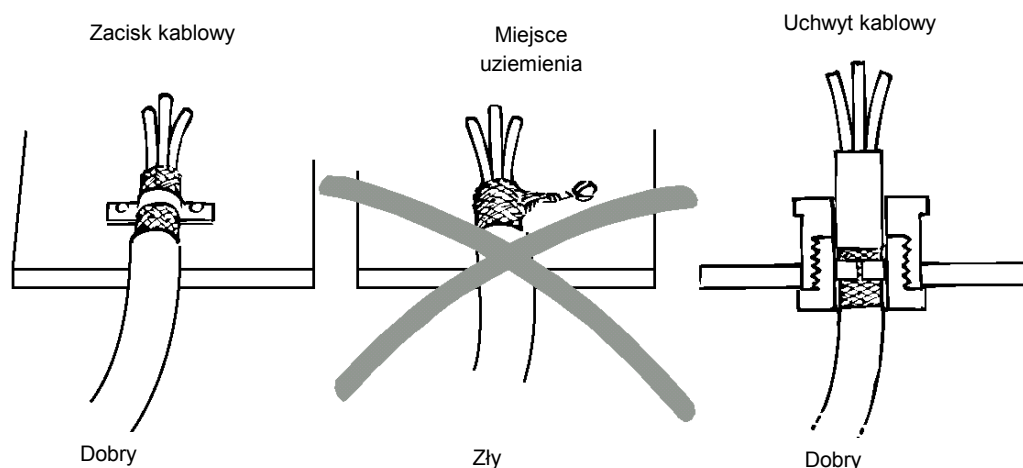
5.10 Przewody ekranowane lub zbrojone

Przewody ekranowane są często używane do ograniczenia emisji zaburzeń radiowych. Efekt ekranowania jest określany w decybelach (dB) jako tłumienie ekranu, lub sprzężania impedancji.

Tłumienie ekranu powinno być tak wysokie jak to tylko możliwe (normalnie w zakresie do 30dB), podczas gdy sprzężanie impedancji powinno być możliwie najmniejsze.

Dla efektywnego ekranowania emisji zaburzeń wysokiej częstotliwości, ekran powinien być uziemiony w obydwu końcach: przy przemienniku częstotliwości i przy silniku oraz powinien być ciągły pomiędzy obydwo ma końcami. W praktyce, jeśli wystąpi przerwa ekranu, to powstała mała impedancja dla wysokich częstotliwości będzie dalej umożliwiała ich przewodzenie. Ważny jest dobry kontakt pomiędzy ekranem, a połączeniem z uziomem, bo jako słabe połączenie redukuje efekt ekranowania, co zmniejsza efektywność tłumienia zaburzeń interferencyjnych. Należy rozważyć, czy uziemienie powinno być przeprowadzone w wielu miejscach, wówczas prąd wyrównawcze popłyną wprost do potencjału uziomu. W konsekwencji przewody sygnałowe mogą być uziemiane tylko w jednym końcu. Ponieważ przewodami sygnałowymi przesyłane są z sygnały o małych wartościach, dwustronne połączenie z ekranem mogłoby powodować ich zakłócanie.

Gdy przemiennik częstotliwości jest nabywany i instalowany, należy rozważyć, jakie i dla jakiego zakresu częstotliwości radiowych zaburzenia mają być ograniczane.



Rys. 5.17 Sposoby mocowania ekranu kabli i przewodów dla ograniczenia emisji ECM.

Dokumentacja techniczna powinna zawierać klasę poziomu interferencji częstotliwości radiowych (A lub B), którą spełnia przemiennik częstotliwości. Dodatkowo, nie zawsze jest jasne czy filtr RFI jest integralną częścią z przemiennika, czy też musi być kupowany i instalowany oddzielnie oraz jakie są dopuszczalne długości kabli silnikowych dla danego typu silnika. Ekranowane lub opancerzone

przewody sygnałowe i kable silnikowe są często konieczne i są zalecane, jeśli ma być spełniona dana klasa ochrony przed interferencją radiową.

5.11 Urządzenia do kompensacji współczynnika mocy

Urządzenia te są włączone do sieci zasilania, jeśli ma być korygowana różnica kąta fazowego napięcia i prądu w sieci zasilania - $\cos\phi$. Taki przypadek ma zwykle miejsce, gdy wiele indukcyjnych odbiorników takich jak silniki czy transformatory lub urządzenia włączające lampy są włączone do sieci zasilania.

Przezienniki częstotliwości nie wytwarzają żadnego kąta przesunięcia fazowego i ich $\cos\phi$ jest praktycznie równy 1. Przy wysokich częstotliwościach kondensatory urządzeń kompensacji mocy mają mniejszą impedancję właściwą. Jeżeli składowe wysokich częstotliwości (składowe harmoniczne) występują w napięciu sieci zasilającej wzrastają prądy przewodzone przez kondensatory urządzeń kompensacji (ang. PFC – Power Factor Correction equipment), wówczas kondensatory grzeją się i są narażone na większe obciążenie.

Zawartość składowych harmonicznego prądu wyższych częstotliwości niskiego rzędu w sieci zasilania może być ograniczana poprzez stosowanie dławików sieciowych dołączonych do każdej fazy napięcia zasilania lub przez dławiki DC instalowane na wyjściach stałonapięciowych prostownika przeziennika częstotliwości. Ponadto dławiki DC zabezpieczają sieć zasilania przed wystąpieniem rezonansu pomiędzy indukcyjnością urządzeń pobierających prąd z sieci i pojemnością kondensatorów urządzeń kompensacji współczynnika mocy. Należy uwzględnić fakt, że wysokie częstotliwości łatwo przenikają do innych odbiorników co oznacza, że w złożonych systemach sterowania i zawierających urządzeniach audio wymagane są dodatkowe filtry tłumiące.

Zależnie od lokalnych regulacji prawnych w obrębie danego systemu zasilania, zwykle dopuszcza się stosowanie dławików kompensacyjnych.

5.12 Dobór przeziennika częstotliwości dla napędów o regulowanej prędkości obrotowej

Dobór przeziennika częstotliwości dla napędu o regulowanej prędkości obrotowej silnika wymaga dużego doświadczenia. Jeżeli nasze doświadczenie jest małe, wtedy wskazane jest odwiedzenie jakiegoś zakładu z podobnymi aplikacjami lub specjalistycznych pokazów targowych tych urządzeń. Poniżej przedstawiono listę podstawowych cech układu napędowego, jakie należy brać pod uwagę.

⇒ **1. Dane sterowanej maszyny:**

- oczekiwane cechy maszyny lub urządzenia,
- charakterystyki momentu, moment ustalony, moment przyśpieszenia,
- zakres regulacji prędkości, chłodzenie,
- zużycie mocy przez przeziennik i silnik,
- praca nawrotna z dodatnim i ujemnym momentem,

- kompensacja poślizgu (dynamiczna),
- wymagane czasy rozruchu i spowalniania prędkości silnika,
- wymagany czas zahamowania, czas działania hamowania,
- bezpośredni napęd, przekładnie, elementy przenoszenia napędu, moment masy bezwładności,
- synchronizacja z innymi napędami,
- czas działania, rodzaj sterowania,
- połączenie z komputerem, interfejsy, wizualizacja,
- gabaryty i stopień ochrony obudowy przemiennika częstotliwości,
- możliwość połączenia informacji o stanie pracy przemiennika częstotliwości w jedną całość.

⇒ **2. Szczegóły dotyczące środowiska:**

- wysokość lokalizacji instalacji ponad poziom morza, temperatura otoczenia,
- wymagania chłodzenia, opcje chłodzenia,
- warunki klimatyczne, takie jak: wilgoć, woda, bród, kurz, gazy,
- specjalne przepisy np.: dla górnictwa, przemysłu chemicznego, przemysłu stocznioowego, przemysłu spożywczego,
- hałas akustyczny.

⇒ **3. Sieć zasilania:**

- napięcie sieci, wahanie napięcia,
- rodzaj wykonania sieci zasilania,
- wahania częstotliwości sieci,
- zakłócenia w sieci,
- zabezpieczenia przeciwzwarciowe i ochrona przepięciowa,
- zaniki napięcia zasilania.

⇒ **4. Eksploatacja, obsługa, personel:**

- szkolenie i instruktaż operatorów,
- części zapasowe / zapasowe podzespoły.

⇒ **5. Kryterium finansowe:**

- koszty nabywania (podzespołów),
- wymagana przestrzeń, zintegrowanie instalacji, koszt projektu instalacji,
- koszty instalacji,
- zamówienie systemu,
- przygotowanie pełnego kosztorysu,
- koszty eksploatacji napędu,
- efektywność systemu (przemiennika częstotliwości i maszyny),
- wymagania dotyczące mocy biernej i koszty wystąpienia harmonicznych prądu w sieci zasilania,
- trwałość produktu.

⇒ **6. Pomiary ochronne dla operatorów, przekształtnika, maszyny:**

- izolacja galwaniczna wg normy PELV,

- zaniki napięć fazowych,
- odłączanie wyjść mocy przemiennika,
- uziemienie i ochrona przeciwzwarciowa,
- cewki silnikowe do redukcji przepięć na zaciskach silnika,
- elektroniczne monitorowanie stanu cieplnego silnika i połączenie termistorów silnika.

⇒ **7. Normy i inne zalecenia techniczne:**

- normy narodowe DIN, BS, UL, CSA, VDE, europejskie EN,
- międzynarodowe IEC, CE, itd..

⇒ **8. Aspekty środowiskowe:**

- zdolność do powtórnego przetwarzania wyrobów - recykulacja,
- praktyka produkcyjna,
- czynniki zapewnienia energooszczędności.

Stosując to zestawienie kryteriów możemy wybrać przemiennik częstotliwości, który najbardziej odpowiada stawianym standardowym wymaganiom, ale powinniśmy dokładnie sprawdzać czy:

- przemiennik ma dławiki sieciowe lub dławiki DC w obwodzie pośrednim w celu maksymalnej redukcji poziomu harmonicznych prądu w sieci zasilania,
- filtr RFI klasy A lub B jest standardowo wbudowany w przemienniku częstotliwości czy należy go dodatkowo zakupić,
- silnik o mniejszej mocy jest wymagany, jeżeli będzie stosowany przemiennik częstotliwości,
- przekształtnik ma skuteczną własną ochronę przed zwarciami doziemnym i międzyfazowym.
- przekształtnik reaguje właściwie w przypadku wystąpienia uszkodzenia.