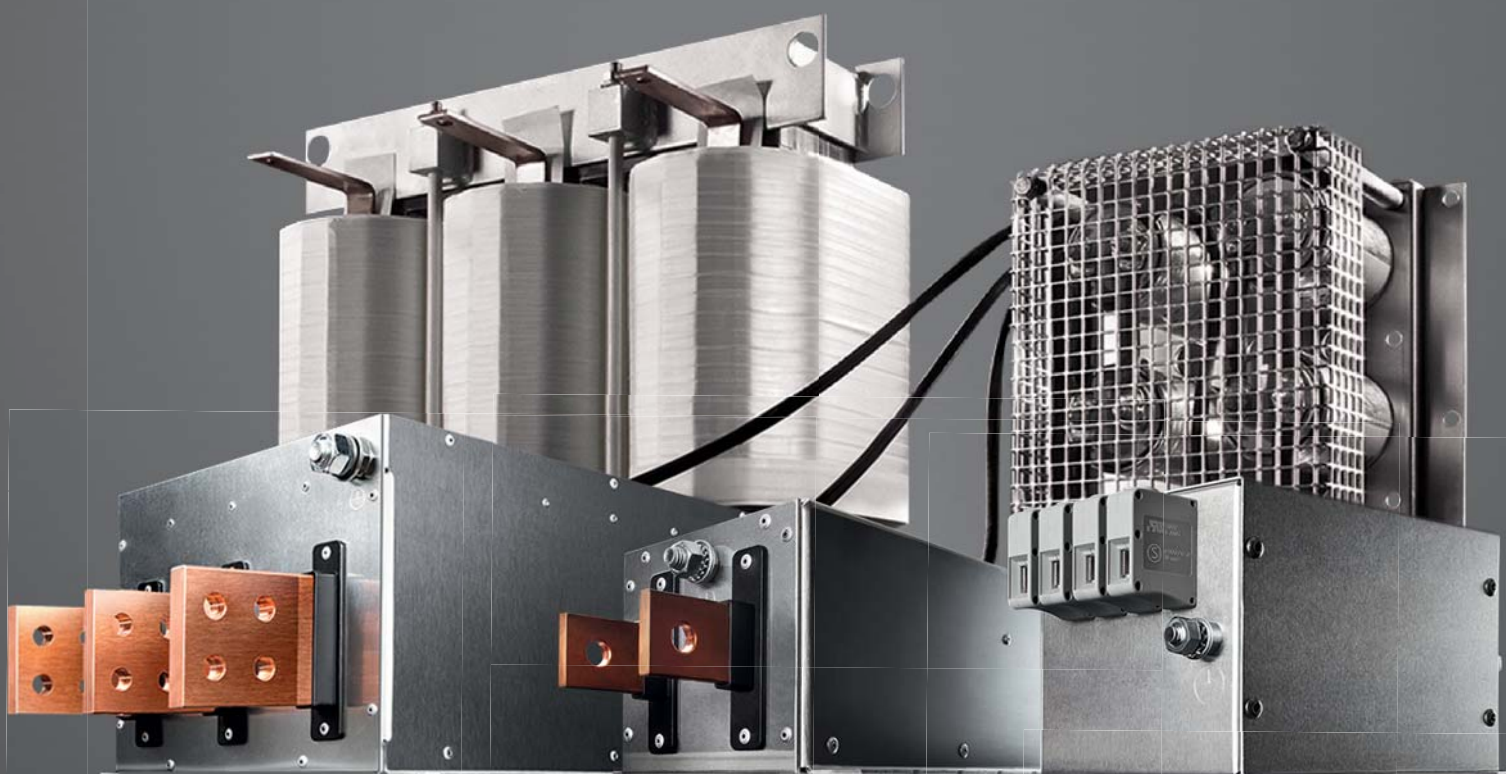


ASTAT

EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Technika filtrowania
i pomiarów zaburzeń



ASTAT sp. z o.o.
ul. Dąbrowskiego 441 60-451 Poznań
tel. 61 848 88 71 fax 61 848 82 76
info@astat.pl www.astat.pl

WPROWADZENIE

I. WPROWADZENIE	4
1. Źródła sygnałów elektromagnetycznych	4
1.1. Naturalne i techniczne źródła sygnałów elektromagnetycznych	4
1.2. Definicja zaburzenia.....	4
1.2.1. Zakresy częstotliwości	4
1.2.2. Zaburzenia różnicowe - symetryczne (differential-mode).....	4
1.2.3. Zaburzenia wspólne - asymetryczne (common-mode).....	5
1.3. Propagacja zaburzenia.....	5
1.3.1. Metody sprzężeń.....	5
1.3.2. Promieniowanie (radiacja).....	5
2. Wymagania prawne	5
2.1. Legislacja światowa.....	5
2.1.1. Oznakowanie CE dla Unii Europejskiej.....	5
2.2. Normy dotyczące EMC.....	6
2.2.1. Klasyfikacja norm	6
2.2.2. Dopuszczalne limity poziomów zaburzeń.....	8
2.2.3. Pomiary EMC jako usługa	8
2.2.4. Testy	8
3. Pomiary EMC	8
3.1. Emisja	8
3.1.1. Emisja promieniowania dla wysokich częstotliwości (HF)	8
3.1.2. Emisja przewodzona dla wysokich częstotliwości.....	9
3.1.3. Zaburzenia nieciągłe (trzaski).....	10
3.1.4. Harmoniczne sieci zasilającej.....	10
3.1.5. Wahania i migotanie napięcia.....	11
3.2. Odporność.....	11
3.2.1. Odporność RF	11
3.2.2. Odporność przewodzona	12
3.2.3. Odporność promieniowana	12
3.2.4. Odporność na szybkie stany przejściowe	13
3.2.5. Wyładowania elektrostatyczne (ESD)	13
3.2.6. Szybkie stany przejściowe (Burst).....	13
3.2.7. Impulsy Surge	14
3.2.8. Pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej.....	14
3.2.9. Sieć zasilająca	14
4. Tłumienie zaburzeń.....	15
4.1. Koncepcja EMC	15
4.2. Ekranowanie	15
4.2.1. Obudowy ekranowane	15
4.2.2. Ekranowanie przewodów.....	15
4.3. Masa.....	16
4.3.1. Projektowanie masy	16
4.3.2. Uziemienie	16
4.4. Komponenty tłumiące.....	16
4.4.1. Dławiki.....	16
4.4.2. Kondensator.....	17
4.4.3. Filtry.....	18
4.5. Tłumienność filtrów.....	19
5. Jakość energii.....	19
5.1. Definicja współczynnika PF.....	19
5.1.1. Zakresy częstotliwości	20
5.2. Dławiki w układach napędowych	20
5.2.1. Potrzeba ochrony	20
5.2.2. Przegląd zastosowań.....	20
5.2.3. Wejście.....	20

5.3. Rozwiązania wyjściowe dla napędów	21
5.3.1. dv/dt - stromość narastania impulsu	21
5.3.2. Przepięcia i piki napięciowe	21
5.3.3. Dodatkowe straty w silniku	22
5.3.4. Ekranowanie kablowe oraz prądy pasożytnicze ziemi	22
5.3.5. Uszkodzenia łożysk	22
5.3.6. Poziomy zakłócenia akustycznych	22
5.3.7. Rozwiązania dla problemów na wyjściu	23
II. ADNOTACJE DO SPECYFIKACJI FILTRÓW	24
1. Parametry filtrów	24
1.1. Parametry Elektryczne	24
1.1.1. Prąd	24
1.1.2. Napięcie	24
1.1.3. Częstotliwość	24
1.1.4. Rezystancja DC	24
1.1.5. Rezystory rozładowcze	24
1.1.6. MTBF	25
1.2. Parametry mechaniczne	25
1.2.1. Tolerancje mechaniczne	25
1.2.2. Złącza filtrów i przekroje przewodów	25
1.2.3. Charakterystyka momentu	27
1.3. Wymagania środowiskowe	27
1.3.1. RoHS	27
1.3.2. Test na wibracje i uderzenia	27
1.3.3. Klasyfikacja klimatyczna	27
2. Wymagania bezpieczeństwa	28
2.1. Test typu	28
2.2. Test wysokonapięciowy (Hipot)	28
2.3. Prąd upływu	28
2.4. Klasa palności	29
2.5. Bezpieczniki	29
3. Rodzaje sieci zasilających	29
3.1. Przeznaczenie sieci zasilających	29
3.2. Sieci TN	30
3.2.1. Instalacje TN-S	30
3.2.2. Instalacje TN-C-S i TN-C	30
3.3. Sieci TT	30
3.4. Sieci IT	30
3.5. Sieci zasilające z uziemioną jedną fazą	30
4. Instrukcje montażowe	31
4.1. Instalacja filtru	31
4.2. Połączenia i prowadzenie przewodów	31
4.2.1. Podłączenia ekranów	31
4.2.2. Prowadzenie przewodów	31
4.3. Planowanie EMC	31
Schemat doboru filtrów	32
Tabela zastosowań filtrów	33
Aktywne i pasywne filtry harmonicznych	35
Filtry PCB	36
Kable zasilające z systemem blokowania do filtrów z wtykiem IEC	36
Filtry z wtykiem IEC / moduły zasilania	37
Filtry 1-fazowe oraz filtry DC	38
Filtry i dławiki trójfazowe	40
Filtry 3-fazowe z przewodem neutralnym	41
Filtry i dławiki wyjściowe	42
Elementy przepustowe	43
Dławiki EMC/EMI	44
Transformatory impulsowe	45

WPROWADZENIE

1. Źródła sygnałów elektromagnetycznych

Sygnały elektromagnetyczne są rezultatem przepływu prądów elektrycznych i napięć. Pojawiają się w każdym miejscu, w którym sprzęt jest zasilany energią elektryczną. Sygnały te mogą być używane do przesyłania informacji z jednego punktu do kolejnego lub po prostu do zasilania urządzeń. Tam gdzie sygnały powstają w sposób niezamierzony, mówimy o zaburzeniach elektromagnetycznych. Są to szумы, które mogą powodować błędy w działaniu sprzętu, dlatego też producenci są zmuszeni przedsięwziąć kroki w celu zmniejszenia zaburzeń i ich efektów.

W tym rozdziale głównie zwrócimy uwagę na sygnały niechciane, a w celu lepszego zrozumienia, będziemy również odnosić się do sygnałów pożądaných.

1.1. Naturalne i techniczne źródła sygnałów elektromagnetycznych

W pewnym stopniu, sygnały elektromagnetyczne są zjawiskiem naturalnym. Jednym z najbardziej znanych jest wyładowanie atmosferyczne, które jest niczym innym, niż przepływem ogromnego prądu z chmur do Ziemi. Prąd ten tworzy duże pole elektromagnetyczne. Innym zjawiskiem jest promieniowanie atmosferyczne.

Wyżej wymienione rodzaje sygnałów pochodzenia naturalnego są porównywalnie małe i generalnie nie są rozważane na poziomie EMC. Ważniejszymi, z naszego punktu widzenia, są sztuczne źródła sygnałów elektromagnetycznych. Jednym z takich źródeł jest właśnie energia elektryczna zasilająca sprzęt.

W kategorii tej możemy rozróżnić dwa główne źródła zaburzeń elektromagnetycznych: zasilacze i systemy napędowe. Z drugiej strony, sygnały elektromagnetyczne generujemy również celowo. Służą one do transmisji na odległość, np. w telewizji.

Wraz z rozwojem komunikacji, w szczególności usług bezprzewodowych, sygnały te stają się coraz większym i ważniejszym problemem, który z punktu widzenia EMC nie może zostać pominięty.

1.2. Definicja zaburzenia

Podczas generowania sygnałów pożądaných w transmisji informacji, zaburzenie nie jest rozważane, ale ma ono wpływ na EMC urządzenia i jego działanie. Wrócimy do tego w późniejszym rozdziale. Natomiast w tym, skupimy się na sygnałach zaburzeniowych i ich charakterystykach.

1.2.1. Zakresy częstotliwości

Kluczowym parametrem zaburzenia elektromagnetycznego jest jego częstotliwość. Zasadniczo normy EMC pokrywają zakres od 0 Hz do 400 GHz. Obecnie, jednak nie wszystkie zakresy częstotliwości są całkowicie uregulowane prawnie.

Pierwszym ważnym zakresem jest zakres w okolicach częstotliwości sieciowej (w Europie 50 Hz). Większość obciążeń podłączonych do sieci zasilającej ma charakter nieliniowy. Stwarza to poważny problem, ponieważ obciążenia te mają skłonność do generowania dodatkowych prądów o częstotliwości będącej wielokrotnością częstotliwości sieciowej.

Prądy te, nazywane harmonicznymi, są generalnie rozważane do 40 lub 50 wielokrotności częstotliwości sieciowej. Innymi słowy, nasz pierwszy zakres częstotliwości rozpoczyna się na 50 Hz i kończy się na 2 kHz lub 2,5 kHz. Dla sieci 60-hercowej - od 60 Hz do 2,4 kHz lub 3 kHz.

Od końca zakresu harmonicznych do 9 kHz mamy zakres częstotliwości, który nie jest obecnie regulowany żadnymi normami. Wrócimy do tego w rozdziale „Jakość energii”. Powyżej 9 kHz rozpoczyna się zakres wysokoczęstotliwościowy. Ten zakres jest często nazywany częstotliwością radiową lub zakresem RF (Radio Frequency).










Częstotliwość radiowa to zbiór częstotliwości od kilku kiloherców do kilku gigaherców. Przepisy EMC ograniczają ten zakres częstotliwości do 400 GHz, pomimo że metody pomiarowe dla tych zakresów nie zostały jeszcze zdefiniowane. Obowiązujące normy definiują metody testów od 9 kHz do 1 GHz, nowsze wersje nawet do 2 GHz i wyżej.

Dzisiejszy postęp techniczny jest niestety szybszy niż rozwój regulacji prawnych. Komputery i sprzęt komunikacyjny używają częstotliwości, które ostatnio przekraczają już 2 GHz. Spoglądając na częstotliwości harmonicznych, nawet powyżej 2 GHz, przepisy nie rozwiązują dostatecznie problemów RF.

Zakres RF jest ogólnie dzielony na dwa podzakresy: przewodzony i promieniowany. Dla niższych zakresów RF, zaburzenie jest rozpatrywane jako szum przewodzony drogą przewodową, a nie drogą promieniowaną. Głównym tego powodem jest budowa anteny, która wymaga większych dipoli dla niższych częstotliwości. Innymi słowy, fizyczny rozmiar większości urządzeń jest po prostu niewystarczający do radiacji zaburzeń.

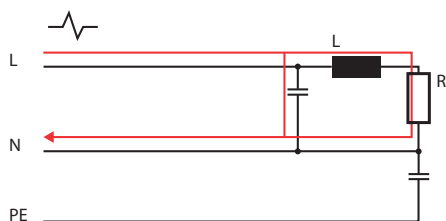
W momencie, kiedy dokładna częstotliwość nie jest zdefiniowana, standardy ustalają zakres przewodzony RF na przedział pomiędzy 150 kHz, a 30 MHz. Częstotliwość górna - 30 MHz, jest wtedy początkiem zakresu promieniowanego RF. Granica górna ograniczająca pasmo promieniowane RF zależy od normy, ale generalnie jest to około 1 GHz, dla niektórych produktów - 2 - 3 GHz.

Podsumowując, mamy następujące zakresy:

Harmoniczne	LF	Przewodzony zakres RF		Promieniowany zakres RF	
					
50 Hz - 2/2,5 kHz	(2/2,5 - 9) kHz	9 kHz - 150 kHz	150 kHz - 30 MHz	30 MHz - 1/2/3 GHz*	Powyżej 3 GHz
60 Hz - 2,4/3 kHz	(2,4/3 - 9) kHz				
	Zakres regulowany przepisami				
	Zakres nieregulowany przepisami				
	Zakres regulowany dla niektórych produktów				
*	Zależy od produktu				

1.2.2. Zaburzenia różnicowe - symetryczne (differential-mode)

Patrząc na sygnały przewodzone zauważamy, że zaburzenie może się pojawiać pomiędzy dowolnymi dwoma liniami układu. W systemach jednofazowych - pomiędzy fazą L i przewodem neutralnym N. W układach trójfazowych - pomiędzy dwoma fazami, np. L1 i L2. W układach stałoprądowych zaburzenia przenoszą się od zacisku plusa do minusa. Taki typ zaburzeń nazywa się zaburzeniem różnicowym lub symetrycznym. Rysunek poniżej przedstawia zaburzenie symetryczne w układzie jednofazowym.



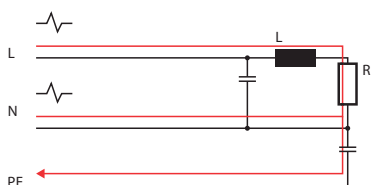
Zaburzenia symetryczne w układzie jednofazowym.

Zaburzenia symetryczne są rezultatem istnienia składowych pasożytniczych, takich jak równoważna indukcyjność szeregową (ESL) lub równoważna rezystancja szeregową (ESR).

W układach elektronicznych, zaburzenie symetryczne zazwyczaj pojawia się przy niższych częstotliwościach i zwykle jest związane z częstotliwością przełączania zasilaczy impulsowych lub układów napędowych.

1.2.3. Zaburzenia wspólne - asymetryczne (common-mode)

Zaburzenie może być również przewodzone od jednej linii obwodu do ziemi. W układach jednofazowych, sygnały mogą przebiegać od fazy L i przewodu P do ziemi. Ten typ zaburzenia umownie nazywa się asymetrycznym lub wspólnym. Główną cechą tego sygnału jest sposób rozchodzenia się po systemie, który propaguje się we wszystkich liniach w tym samym kierunku i kieruje się do ziemi.



Zaburzenia asymetryczne w układzie jednofazowym.

Sygnał ten jest rezultatem przypadkowych pojemności w układzie. Pojawia się często pomiędzy półprzewodnikami i połączonymi z nimi radiatorami. Efekt ten jest zauważalny przy wyższych częstotliwościach.

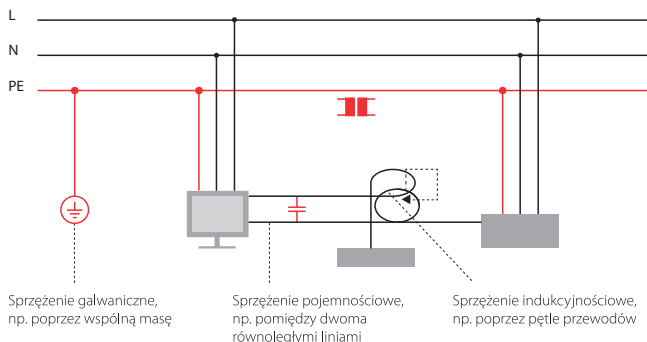
Kiedy spojrzymy później na pomiary, zauważymy, że ich wyniki nie odzwierciedlają różnicy pomiędzy dwoma typami zaburzeń. Jednakże w celu redukcji tych sygnałów, krytycznym jest zrozumienie, który właściwie typ zaburzenia zaistniał w systemie.

1.3. Propagacja zaburzenia

Sygnały elektromagnetyczne są generowane w układach elektrycznych i elektronicznych. Mogą rozchodzić się wewnątrz lub na zewnątrz systemu. Propagacja może przebiegać drogą przewodzoną po przewodach lub drogą radiacji. Ścieżki rozchodzenia się sygnałów są wyjaśnione w poniższych paragrafach.

1.3.1. Metody sprzężeń

Spoglądając na połączenia w systemach elektrycznych i elektronicznych, możemy rozróżnić trzy różne ścieżki sprzęgania zaburzeń. Jednym z typów jest sprzężenie galwaniczne, które wymaga bezpośredniego połączenia pomiędzy pojedynczymi częściami układu. Drugim jest sprzężenie pojemnościowe. Może ono zaistnieć, gdy dwa przewody w układzie są prowadzone blisko siebie, tworząc pojemność pasożytniczą. W sytuacji, gdy pętle pochodzące od różnych przewodów są ułożone zbyt blisko siebie pojawia się sprzężenie indukcyjnościowe.



Galwaniczne sprzężenia wynikają często z połączenia z ziemią poprzez wspólne przewody.

Sprzężenia pojemnościowe są zjawiskiem typowym dla aplikacji przemysłowych, gdzie przewody sygnałowe i przewody mocy są położone względem siebie równolegle na długich dystansach.

1.3.2. Promieniowanie (radiacja)

Zaburzenie może propagować się nie tylko poprzez bezpośrednie połączenie, ale również poprzez powietrze drogą radiacji. W sytuacji, gdy sygnały HF są generowane wewnątrz układu, ich droga propagacji będzie przebiegać po ścieżce najmniejszego oporu. Natomiast, gdy struktura i budowa układu stwarza dobre cechy antenowe, sygnały będą używać tych pasożytniczych anten i będą wypromieniowywane w powietrze. W ten sposób sygnały elektromagnetyczne w postaci fal są transportowane do innych urządzeń drogą radiacji.

2. Wymagania prawne

2.1. Legislacja światowa

Zjawiska elektromagnetyczne i ich efekty w działaniu sprzętu elektrycznego i elektronicznego, zmuszają wiele krajów do wprowadzenia w życie pomiarów, które zapewnią prawidłowe jego działanie. Pierwotnie większość wymagań pochodziło z sektorów wojskowych i z lotnictwa cywilnego, gdzie bezawaryjne działanie sprzętu jest wysoce związane z bezpieczeństwem ludzi. Dopiero później, kiedy urządzenia elektroniczne, transmisja bezprzewodowa i systemy komunikacyjne zostały zastosowane prawie we wszystkich dziedzinach naszego życia, wymagania kompatybilności elektromagnetycznej zostały rozszerzone także o sektor cywilny. Legislacja prawna w różnych państwach tworzy regulacje i normy, z którymi urządzenia mogą być stosowane. Niestety, ustawy zmieniają się od państwa do państwa i w zależności od kraju mamy różne normy prawne regulujące zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej.

2.1.1. Oznakowanie CE dla Unii Europejskiej

Wprowadzenie oznakowania CE miało za zadanie zredukować ogromną ilość narodowych oznakowań i dopuszczeń oraz zharmonizować zasady oznaczeń. Przepisy te są zawarte w dyrektywach UE. Dyrektywy te nie są prawnie wiążące w stosunku do producentów, natomiast wszystkie kraje członkowskie są zobligowane do zaadaptowania tych przepisów w prawie narodowym z ustalonym okresem czasu. Jakiegokolwiek zaniedbanie jest bezpośrednim powołaniem prawa europejskiego i w stosunku do państwa członkowskiego będzie wyegzekwowana kara.

Oznaczenie CE w innym kontekście jest oznakowaniem producenta, wskazującym, że produkt jest zgodny wszystkimi stosowanymi dyrektywami. Dodatkowo, producent znakujący swój produkt znakiem CE, jest zobowiązany przygotować pisemną deklarację zgodności stwierdzającą, że opisywany produkt jest zgodny z obowiązującą dyrektywą.



Oznaczenie zostało wprowadzone po to, aby ułatwić prowadzenie interesów pomiędzy producentami z różnych państw. Produkt posiadający znak CE nie musi być badany pod kątem dopuszczeń obowiązujących w danym kraju. Jednakże, producent musi wiedzieć, jakie istnieją dyrektywy i jakie muszą być zastosowane do danych produktów. Unia Europejska nie dysponuje wyczerpującymi informacjami w tym temacie. Z tego powodu europejski system jest odbierany jako wyjątkowo trudny.

Jak wspomniano wcześniej, zasady są zdefiniowane w dyrektywach europejskich, które są następnie aplikowane w prawie narodowym, np. Dyrektywa EMC o numerze 89/336/EU została przekonwertowana w prawie każdego z państw członkowskich, np. w German EMC Act z listopada 1992 r. Każda dyrektywa definiuje także procedurę badania zgodności, która może być użyta do przedstawienia zgodności z dyrektywą.

Przepisy zawarte w dyrektywach nie mówią natomiast nic na temat wprowadzania dyrektyw i egzekwowania kar. W związku z tym, w jednym kraju producent urządzenia niezgodnego prawnie może zostać obciążony grzywną, a w innym natomiast nawet karą więzienia.

Unia Europejska stworzyła pewną ilość podstawowych dyrektyw, jak np. dyrektywę regulującą zasady znakowania symbolem CE, która z kolei definiuje procedury stosowane w wielu innych dyrektywach. Dyrektywa definiuje wszystkie istniejące procedury sprawdzania zgodności. Jednakże nie wszystkie procedury mogą być używane przez wszystkie dyrektywy. Typowymi ścieżkami zgodności są moduły: A (samodeklaracje producentów), B (jednostki kompetentne) oraz H (jednostki notyfikowane).

Zakres dyrektyw EMC jest bardzo ogólny. Pokrywają one obszar wszystkich możliwych produktów emitujących i pochłaniających energię elektromagnetyczną. Aby produkty te były zgodne z dyrektywą, nie mogą emitować energii elektromagnetycznej w ilości, która może oddziaływać na inne urządzenia. W tym samym czasie, każda część urządzenia musi być dostatecznie odporna na sygnały elektromagnetyczne pochodzące z innych źródeł.

Problem ten pozostawia sporo możliwości interpretacji i spekulacji. Z tego powodu Unia Europejska wypuściła nieoficjalny dokument dostarczający porad na temat dyrektyw EMC. Nowa wersja dyrektywy EMC ma za zadanie wyjaśnić, nieklarowne strefy dyrektywy początkowej. Pomimo, że dyrektywy wydają się skomplikowane, nadal spełniają swój główny cel. Likwidują konieczność przeprowadzania testów według narodowych standardów i gwarantują zgodność z przepisami i normami we wszystkich państwach członkowskich UE.

Ścieżki zgodności dopuszczone przez dyrektywę EMC to: samodeklaracja, jednostki kompetentne oraz dopuszczenia wydawane przez jednostki notyfikowane.

Ścieżka samodeklaracji pozwala producentom zatroszczyć się o ich dopuszczenia bez konieczności ingerencji osób trzecich. Dla dyrektywy EMC, zgodność może zostać przyjęta jeśli produkt spełnia istniejące standardy EMC. System zharmonizowanych standardów wyjaśnimy w następnym rozdziale. Producenci mogą więc testować swój produkt w stosunku do tych standardów i deklarować zgodność.

Jeśli przepisy nie istnieją lub stosowanie samodeklaracji jest nieopłacalne, producenci mogą skorzystać z opcji współpracy z jednostką kompetentną. Producent przygotowuje wtedy dokumentację techniczną, która powinna zawierać wszystkie, związane z EMC informacje, w tym także wyniki i dane badań. Dokumentacja jest następnie sprawdzana przez jednostkę kompetentną i jeśli zagadnienia EMC są spełnione i klarowne, jednostka wydaje stosowny certyfikat. Dla urządzeń radiotransmisji, np. radiotelefony, w tryb uzyskiwania zgodności musi być włączona jednostka notyfikowana. Producent ma wtedy obowiązek złożyć dokumenty oraz jedną próbkę w urzędzie jednostki notyfikującej na badanie i zatwierdzenie.

Jak wspomniano wcześniej, sytuacja z jednostkami: kompetentną i notyfikującą ulegną wkrótce zmianie. Nowa dyrektywa nie będzie dłużej zawierać drogi otrzymywania uprawnień poprzez jednostkę kompetentną, której zadania przejmie jednostka notyfikująca. Dopuszczenia dla urządzeń radiotransmisji nie znajdą się dłużej w zakresie dyrektywy EMC. Zasady te zostaną wkrótce zawarte w nowej dyrektywie telekomunikacji. Zmiany w nowej dyrektywie EMC weszły w życie 20 lipca 2007 r. Po wejściu w życie dyrektywy obowiązywał dwuletni okres przejściowy.

2.2. Normy dotyczące EMC

W przeszłości większość krajów miała swoje własne przepisy i normy regulujące zakres zakłóceń elektromagnetycznych (EMI) i zakłóceń częstotliwości radiowych (RFI). Po czym, z dniem 1. stycznia 1992 r. weszła w życie Europejska Dyrektywa 89/336/EEC o kompatybilności elektromagnetycznej. Przepisy te przyniosły wspólną strategię EMC dla wszystkich krajów członkowskich UE. Wspólne normy będą używane na terenie całej Europy zapewniając usunięcie technicznych barier w handlu międzynarodowym.

Dyrektywa określa poziomy emisji urządzeń, jak również wymaga, aby

urządzenia były odporne na zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne. Zadaniem opracowania norm zajęła się europejska organizacja nazwana CE-NELEC. Większość europejskich przepisów będzie bazować na międzynarodowych normach CISPR i IEC. System nazewnictwa użyty w tych dokumentach prezentuje się następująco:

EN xxxyy

gdzie:

EN = Norma Europejska (European Norm),

xx = 50 - symbolizuje normę opracowaną przez CENELEC,

yyy = to po prostu numer dodatkowy.

Dobrym przykładem jest norma produktowa dla obrabiarek - EN 50370.

Jeśli xx = 55, to norma bazuje na przepisach CISPR. Dlatego też norma CISPR 13 ma odpowiednika w EN 55013.

Normy oznaczone przez xx = 60 pochodzą od norm IEC. System numeracji tych przepisów został stworzony z nazw obu norm. W rezultacie dokumenty te są często oznaczane podwójną nazwą, np. IEC/EN 61800-3 (norma produktów dla rodziny urządzeń napędowych). Gdy tylko normy europejskie zostały ukończone, państwa członkowskie UE zaczęły tworzyć własne narodowe normy, które są ujednolicone z przepisami europejskimi. Nowopowstała norma otrzymuje dopisek oznaczający kraj, w którym ją stworzono, np. polską PN-EN 55011, która jest odpowiednikiem EN 55011.

2.2.1. Klasyfikacja norm

Normy w systemie międzynarodowym zostały podzielone na trzy kategorie:

1. Normy podstawowe - opisują ogólne i fundamentalne zasady spełniania wymagań. Są w nich zawarte również przepisy i pojęcia dotyczące: terminologii, zjawisk, poziomów kompatybilności, pomiarów, techniki pomiarowej oraz klasyfikacji środowisk elektromagnetycznych. Seria norm EN-61000-4 to najbardziej znane przykłady norm podstawowych.

2. Normy ogólne - nawiązują do konkretnych środowisk. Określają minimalne poziomy EMI, które urządzenia w tych środowiskach muszą spełnić. Normy ogólne są używane w każdej sytuacji, gdy nie są określone konkretne normy produktów. Opisują środowiska EMI: domowe i przemysłowe. Przykładami norm ogólnych są EN 61000-6-1/2/3/4. Normy produktów są definiowane dla konkretnych produktów lub grup produktów. Przepisy te są koordynowane z normami ogólnymi.

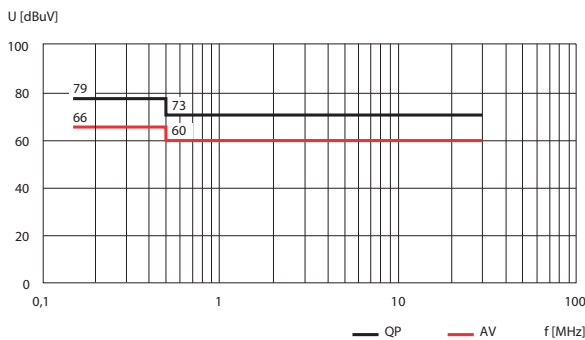
3. Normy produktów - zawsze biorą pierwszeństwo nad normami ogólnymi. Jeśli istnieje norma dla produktu lub rodziny produktów, producent musi użyć właśnie tego przepisu. Jedynie w przypadku braku normy produktowej, producent jest zobligowany do zastosowania normy ogólnej.

Przegląd norm produktów (wyjątki)

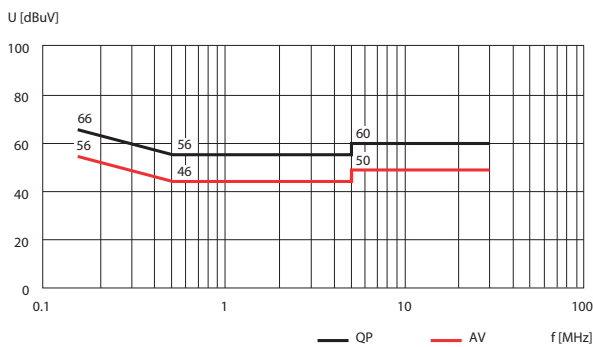
Typ produktu	Emisja	Odporność
Urządzenia gospodarstwa domowego i sprzęt przenośny	EN 55014-1	EN 55014-2
Odkurzacze	EN 61000-3-2	
Pralki automatyczne	EN 61000-3-3	
Ogrzewanie		
Sprzęt do gotowania		
Oświetlenie	EN 55015	EN 61547
Lampy wyładowcze	EN 61000-3-2	
Lampy fluorescencyjne	EN 61000-3-3	
Elektronika domowa	EN 55013	EN 55020
Wzmacniacze	EN 61000-3-2	
Odtwarzacze audio	EN 61000-3-3	
Radio, odbiorniki TV oraz dekodery		
Wyposażenie komputerowe	EN 55022	EN 55024
Komputery	EN 61000-3-2	
Urządzenia peryferyjne PC	EN 61000-3-3	
Drukarki		
Urządzenia do transmisji danych i dźwięku w sieciach niskonapięciowych (3 do 148,5 kHz)	EN 50065-1	EN 61000-6-1/-2
Komunikacja sieci energetycznych		
Zasilacze z wyjściem stałoprądowym DC	EN 61204-3	EN 61204-3
Zasilacze impulsowe	EN 61000-3-2	
Przetwornice DC/DC	EN 61000-3-3	
Zasilacze UPS	EN 50091-2 EN 61000-3-2 EN 61000-3-3	EN 50091-2
Urządzenia kontroli prędkości obrotowej silników	EN 61800-3	EN 61800-3
Inwertery częstotliwości		
Konwertery prądu		
Serwonapędy		
Elektryczne urządzenia medyczne	EN 60601-1-2	EN 60601-1-2
Urządzenia promieni rentgenowskich X-ray		
Skanery CAT		
Obrabiarki	EN 61000-6-4	EN 50370-2
Tokarki	(zamieniona przez EN 50370-1)	
Kruszarki		
Maszyny CNC		
Wyposażenie naukowe	EN 55011	EN 61000-6-1
Sprzęt pomiarowy	EN 61000-6-2	
Urządzenia laboratoryjne		
Normy ogólne (jeśli nie są dostępne normy produktów)	Emisja	Odporność
Mieszkania, biura i środowisko przemysłu lekkiego	EN 61000-6-3	EN 61000-6-1
Środowisko przemysłowe	EN 61000-6-4	EN 61000-6-2

2.2.2. Dopuszczalne limity poziomów zaburzeń

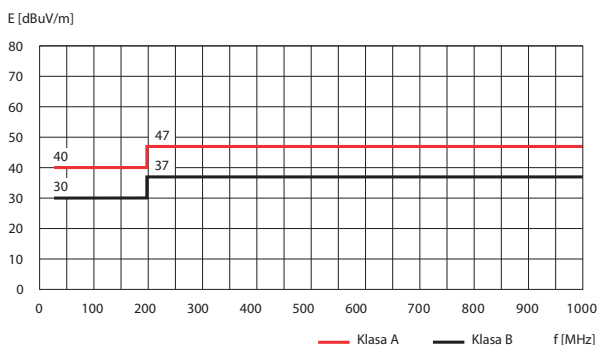
Różne normy wprowadziły dopuszczalne poziomy dla zaburzeń przewodzonych i emisji promieniowanej. Limity te są podawane w dB μ V dla napięcia przewodzonego i w dB μ V/m dla pola promieniowanego. Wielkościami wzorcowymi są: 1 μ V dla 0 dB μ V oraz 1 μ V/m dla 0 dB μ V/m.



Zazwyczaj limity dopuszczalnych poziomów są definiowane oddzielnie dla środowiska domowego i przemysłowego. Oba środowiska są reprezentowane przez dwie klasy dopuszczalnych poziomów: klasę A dla środowisk przemysłowych i klasę B dla domowych.



Limity dopuszczalnych zaburzeń emisji przewodzonej dla klasy B (EN 55011/22).



Limity dopuszczalnych zaburzeń emisji promieniowanej dla klasy A i B (EN 55011/22).

Poszczególne metody pomiaru dla emisji przewodzonej i promieniowanej są opisane w późniejszych rozdziałach.

2.2.3. Pomiary EMC jako usługa

W pełni wyposażone laboratorium kompatybilności elektromagnetycznej firmy Schaffner z jego przeszkolonym personelem było pierwotnie dedykowane do badania i pomiarów produktów własnych Schaffner'a. Jednakże centrum akredytowane Schaffnera ISO/IEC 17025 dostarcza także usług na poziomie badań kompatybilności elektromagnetycznej. Zakres usług pokrywa nawet przenośne pomiary pojazdów.

2.2.4. Testy

Prototypy należą do produktów, które objęte są najbardziej rygorystycznymi normami. W laboratoriach EMC badane są różne parametry należące do zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej, m.in. prowadzi się pomiary skutków przepięć oraz przeprowadza się testy działania ochrony zwarciowej. Kompatybilność środowiskowa produktu rozpoczyna się od wyboru i pomiarów materiałów, użycia przyjaznego dla środowiska, procesu produkcji i wpływa na zgodność z najnowszymi normami światowymi.

3. Pomiary EMC

3.1. Emisja

Emisja jest każdym zaburzeniem elektromagnetycznym wytwarzanym przez urządzenia testowe (EUT). Na przykład patrząc na komunikację telefonu komórkowego i stacji bazowej. Telefon komórkowy emituje sygnał komunikacyjny do stacji bazowej. Ten rodzaj emisji jest mierzalny i potrzebny do prawidłowego funkcjonowania urządzenia. Władze państwowe mają za zadanie kontrolowania emisji przez kontrolę częstotliwości pracy urządzeń oraz wprowadzanie odpowiednich przepisów ochronnych.

Jednakże każdy elektroniczny i elektryczny sprzęt wytwarza dużo niekontrolowanej emisji niepotrzebnej dla prawidłowej pracy urządzeń - emisja ta jest niepożądanym „odpadem”.

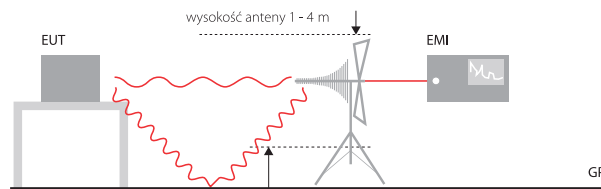
Aby zagwarantować, że urządzenie nie będzie zakłócać innych urządzeń w sąsiedztwie, należy ograniczyć emisję zaburzeń tego urządzenia. Niepożądana emisja pokrywa szeroki zakres częstotliwości, zaczynając od zakresu sieci energetycznej (50 Hz dla Europy) kończąc na kilku GHz. Ogólnie sygnały mogą być przesyłane przez powietrze na drodze promieniowanej lub przewodami na drodze przewodzonej. Skutkiem takiej transmisji jest promieniste rozchodzenie się emisji zaburzeń.

3.1.1. Emisja promieniowania dla wysokich częstotliwości (HF)

Ponieważ nie ma jednoznacznej definicji od jakiej częstotliwości zaczynają się wysokie częstotliwości (ang. High Frequency, HF), naukowcy z dziedziny EMC przyjmują, że częstotliwości HF zaczynają się od kilku kHz. W środowisku osób związanych z EMC często używa się terminu częstotliwości radiowe (ang. Radio Frequency, RF).

Transmisja powietrzna, nazywana emisją promieniowania, może być mierzona za pomocą anteny odbiorczej na odpowiednim miejscu pomiarowym.

Poniższy rysunek pokazuje przykładowy układ pomiarowy:



~ fala bezpośrednia
~ fala odbita od GP
 EUT urządzenie testowane
 EMI odbiornik EMI
 GP płyta uziemiająca
 Pomiar emisji promieniowanej na otwartym polu pomiarowym (OATS).

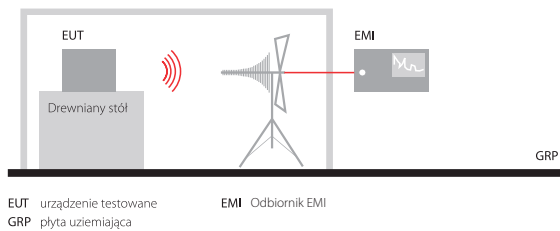
Klasyczny pomiar emisji promieniowanej według powszechnych norm przeprowadzany jest na otwartym polu pomiarowym OATS (ang. Open Area Test Site).

Minimalny obszar płyty uziemiającej, zgodnie z CISPR22, należy traktować wyłącznie jako wskazówkę. Prawdziwy pomiar OATS jest jego skalibrowaną znormalizowaną tłumiennością pola (NSA, Normalized Site Attenuation). Bardzo ważne jest również umiejscowienie obszaru pomiarowego z dala od zabudowań (z wyjątkiem drewnianych budynków).

Płyta uziemiająca jest niezbędna do unormowania odbić od powierzchni ziemi, a wysokość ustawień anteny odpowiada wartościom zerowym, które w sposób nieuchronny są wynikiem obecności płyty uziemiającej. Zmiana wysokości ustawień anteny nie ma na celu pomiaru emisji z EUT w kierunku pionowym. Mierzona jest tylko emisja w płaszczyźnie poziomej poprzez obracanie EUT.

Każdy pomiar na otwartym polu pomiarowym jest obarczony występowaniem niepożądanych sygnałów. Sygnały te są generowane w sąsiedztwie i nie pochodzą z badanego EUT. Sygnały z sąsiedztwa mogą przewyższać emisję z EUT lub mogą przekroczyć założone przez normy dopuszczalne poziomy emisji. Wynik pomiaru emisji zawiera wówczas sygnał zewnętrzny, który jest trudny do interpretacji. Zewnętrzny sygnał maskuje i zniekształca wyniki emisji od EUT, przez co pomiar dla pewnych częstotliwości jest niemożliwy. Obecnie nie istnieje wiarygodna metoda, która pozwalałaby na oddzielenie sygnałów zewnętrznych od mierzonej emisji obiektu. Kolejnym problemem OATS mogą być niepożądane odbicia sygnału od obiektu, który co prawda leży poza określonymi granicami, ale ciągle może odbijać sygnał EUT z powrotem do anteny. Należy również wspomnieć, że obiekt, który normalnie nie odbija sygnału w pewnych okolicznościach może zacząć. Przykładowo drzewo normalnie nie odbija fali elektromagnetycznej, jednakże kiedy jest mokre po deszczu świetnie odbija falę elektromagnetyczną.

Aby pozbyć się problemów z OATS naukowcy próbują wymyślić alternatywną metodę pomiarów. Pierwszą zaakceptowaną przez normy EMC metodą była komora bezechowa. Zewnętrzny stalowy kadłub komory stanowi doskonały ekran dla sygnałów RF i umożliwia oddzielenie od sygnałów zewnętrznych. Pomiar jednak w takiej komorze byłby niemożliwy, ponieważ odbicia wewnątrz komory nie mogą być w żaden sposób kontrolowane i pomiary nie byłyby porównywalne z pomiarami OATS.



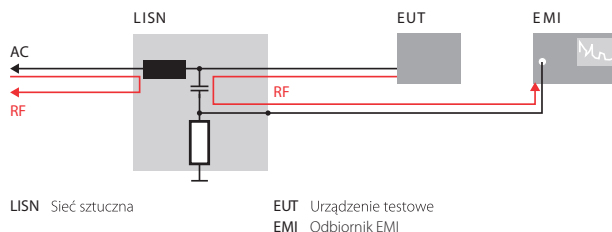
Pomiar emisji promieniowanej w komorze bezechowej.

Aby zapobiec odbiciu fali elektromagnetycznej od ścian komory są one wykładane materiałem pochłaniającym. Materiałem pochłaniającym są najczęściej płytki ferrytowe. Są to nieduże płytki ferrytów mocowane do ścian komory, na które mocowane są z kolei piankowe absorbery w kształcie stożka. Płytki ferrytowe doskonale pracują dla zakresu niskich częstotliwości (przy wyższych częstotliwościach ich osiągi maleją). Stożkowe absorbery doskonale pracują dla każdego zakresu częstotliwości. Wielkość stożków uzależniona jest od długości fali tzn. dla niskich częstotliwości stożki muszą być bardzo długie. Wynikiem wydłużenia stożków jest powiększanie gabarytów komory. Jednoczesne zestawienie w komorze stożków absorbujących oraz płytek ferrytowych jest bardzo efektywne i tanie.

3.1.2. Emisja przewodzona dla wysokich częstotliwości

Emisja przewodzona to emisja zaburzeń z urządzenia do otoczenia po przewodach. Główny nacisk w pomiarach emisji przewodzonej położony jest na emisję z EUT do sieci zasilającej. Aby zmierzyć emisję przewodzoną należy wstawić pomiędzy sieć zasilającą a EUT układ stabilizacji impedancji sieci (Line Impedance Stabilization Network, LISN). Aktualne normy nazywają ten układ siecią sztuczną (Artificial Mains Network, AMN). LISN wyprowadza sygnały RF od EUT do wejścia pomiarowego odbiornika zaburzeń. W tym samym czasie separuje napięcie wejściowe AC od odbiornika. Zgodnie z normami mierzona powinna być największa emisja na każdej z faz. W praktyce preferowany jest pomiar wartości szczytowej dla pojedynczej fazy.

Jeżeli zmierzona emisja znajduje się poza określonymi granicami przeprowadzany jest pomiar na wszystkich fazach detektorem wartości średniej (AV) i oraz detektorem wartości Quasi-Peak (QP).



Zasada pomiaru emisji przewodzonej.

Zgodnie z CISPR detektory wartości Quasi-Peak i średniej wyliczają wskazaną wartość według ich częstotliwości powtarzania impulsu (Pulse Repetition Frequency - PRF).

Zaburzenia o charakterze ciągłym nie mają wpływu na wartość; wskazany poziom zaburzeń o charakterze impulsowym jest pomniejszony o określony stopień bazujący na stałej czasowej i szerokości pasma zdefiniowanego w CISPR 16. Pomiarowy odbiornik zaburzeń (ang. receiver) skalibrowany jest za pomocą impulsów o ściśle zdefiniowanym obszarze, gęstości widma i częstotliwości powtórzeń.

Powszechną praktyką przy wykonywaniu wstępnych pomiarów emisji jest pomiar tylko detektorem wartości szczytowej (Peak).

Zakładając, że odbiornik „zatrzymuje” się przez dłuższy czas na każdej częstotliwości mierząc emisję w taki sposób, że zawsze zmierzy maksimum emisji. Zależy to w pewnym stopniu od EUT, ale detektor szczytowy zawsze zmierzy maksymalny poziom emisji. Tworzona jest lista częstotliwości, dla których występowała maksymalna emisja. Następnie częstotliwości te sprawdzane są indywidualnie za pomocą detektora Quasi-Peak (oraz dodatkowo detektorem wartości średniej dla emisji przewodzonej). Zmierzone wartości są porównywane z przyjętymi dopuszczalnymi poziomami.

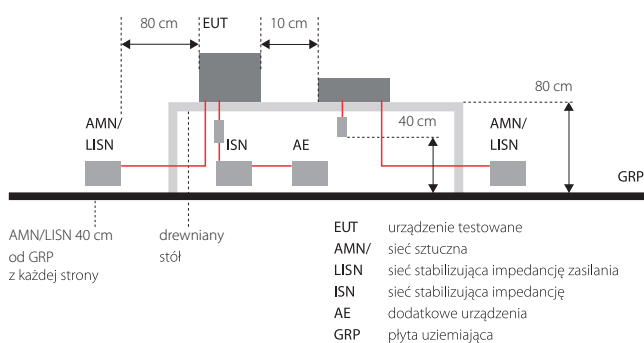
Płyta uziemiająca (GRP) jest ważną częścią badań emisji przewodzonej. Właściwy pomiar jest niemożliwy bez GRP. Dla badanych urządzeń drugiej klasy izolacji bez połączenia uziemiającego pomiar musi się odbywać na GRP.

Płyta uziemiająca powinna:

- posiadać wymiary przynajmniej 2 m x 2 m i przynajmniej o 0,5 m większe od EUT
- być zrobiona z aluminium, stali lub miedzi (grubość nie jest istotna)
- być podłączona do uziemienia (ważne ze względu na bezpieczeństwo, nie ma wpływu na pomiary)
- podłączona bardzo krótką taśmą o małej pojemności do zacisku w AMN / LISN; długie przewody nie są właściwe z punktu widzenia powtarzalności pomiaru dla wysokich częstotliwości
- AMN / LISN powinna być zamontowana bezpośrednio na GRP.

W niektórych normach można znaleźć, że GRP może być postawione poziomo lub pionowo. Natomiast we wszystkich normach można znaleźć, że EUT powinno być umieszczone w odległości 40 cm od GRP oraz minimum 80 cm od innych powierzchni przewodzących. W celu spełnienia tych wymagań stosuje się drewniany stół pomiarowy o wysokości 40 cm stojący na metalowej płaszczyźnie GRP. Drugą opcją może być zastosowanie stołu o wysokości 80 cm i ściany w odległości 40 cm jako GRP. Duże EUT stojące normalnie na podłodze powinny być ustawione bezpośrednio na przewodzącej powierzchni, aczkolwiek nie powinny mieć z nią styku elektrycznego. Odległość pomiędzy krawędzią EUT, a najbliższą powierzchnią AMN / LISN musi wynosić 80 cm. Główny przewód zasilania EUT podłączony do AMN / LISN powinien mieć długość 1 m i powinien być ułożony przynajmniej 10 cm od GRP. Dłuższe przewody mogą mieć wpływ na poprawność pomiarów.

Poniższy rysunek pokazuje przykładową konfigurację stanowiska pomiarowego.



Zasada pomiaru emisji przewodzonej.

Urządzenia peryferyjne podłączone do EUT, które są niezbędne do jego poprawnej pracy i nie są poddawane testom powinny być zasilane z oddzielnej sieci sztucznej AMN / LISN. Inne przewody łączące powinny być podłączone do konkretnych wejść w odległości nie mniejszej niż 40 cm od GRP. Pomiar powinien odbywać się bez zewnętrznych zakłóceń. AMN/LISN zmniejsza zaburzenia przychodzące z sieci zasilającej i stabilizuje impedancję sieci. Nie jest to jednak idealne rozwiązanie, dlatego należy dodatkowo zastosować filtr sieciowy RF.

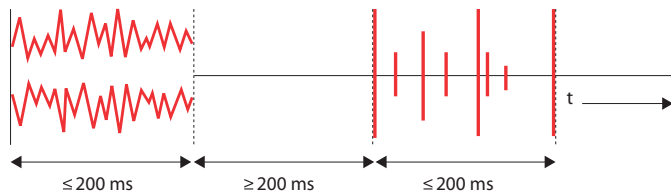
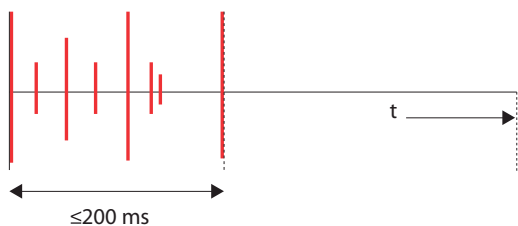
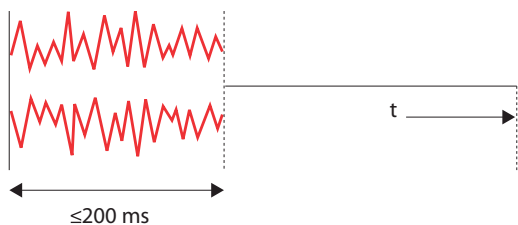
Zewnętrzne źródła promieniowania powinny zostać wytłumione, dlatego zaleca się przeprowadzanie pomiarów w pomieszczeniu ekranowanym. Warto jednak zaznaczyć, że w pełni ekranowane pomieszczenie nie jest koniecznością.

3.1.3. Zaburzenia nieciągłe (trzaski)

Urządzenia domowe, elektronarzędzia i kilka innych urządzeń muszą być badane na zaburzenia nieciągłe w paśmie częstotliwości od 150 kHz do 50 MHz. Ponieważ zaburzenia wytwarzane przez te urządzenia nie są cykliczne, dopuszczalne poziomy emisji zostały zmienione na mniej restrykcyjne w porównaniu z pomiarami zaburzeń ciągłych.

Stosowany standard został zaprojektowany tak, aby każdy poziom zakłóceń został stłumiony.

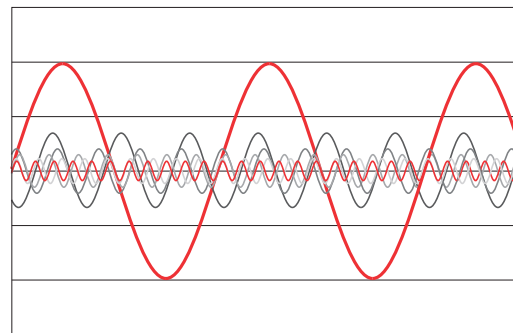
Poprawne dopuszczalne poziomy można określić tylko wtedy, gdy zostanie określona ilość zaburzeń przerywanych. Taki proces jest bardzo złożony, trudny i skłonny do błędów, gdy pomiary są zrobione ręcznie. Dla uzyskania powtarzalnego pomiaru, konieczna jest analiza zautomatyzowana. Norma określa rodzaj zaburzenia: nieciągłe (trzaski) lub ciągłe.



Definicja trzasków.

3.1.4. Harmoniczne sieci zasilającej

Napięcie zasilania ma kształt sinusoidy co oznacza, że zawiera tylko jedną częstotliwość podstawową (50 lub 60 Hz) bez jakichkolwiek harmonicznych będących wielokrotnością częstotliwości podstawowej. Czysto rezystancyjne odbiorniki (linowe), takie jak lampy żarowe albo grzejniki zasilane z sieci pobierają prąd proporcjonalny do napięcia i nie generują żadnych harmonicznych. Z drugiej strony odbiorniki nieliniowe nie pobierają z sieci prądu sinusoidalnego (pomimo iż są zasilane napięciem sinusoidalnym) i generują harmoniczne prądu, które są całkowitą wielokrotnością częstotliwości podstawowej.



Prąd sieci z harmonicznymi.

Do niedawna harmoniczne rozważane były tylko w układach dużych mocy, szczególnie w energetyce oraz w przemyśle ciężkim. Jednakże udoskonalenie i powszechność małych elektronicznych urządzeń o mocy od kilku do kilkuset watów, zasilanych głównie z jednej fazy (np. komputery) zmusiły gremia normatywne do przyjrzenia się harmonicznym również w aplikacjach domowych. Najwięcej problemów stwarza powszechność zasilaczy DC, które są elementem zasilającym dla różnych urządzeń elektronicznych takich jak TV i komputery oraz do napędów o regulowanej prędkości.

Problemy spowodowane przez zanieczyszczenie harmonicznymi mogą być podzielone na dwie grupy: problemy spowodowane przez same harmoniczne prądów oraz problemy związane z odkształceniem napięcia w wyniku przepływu prądów harmonicznych przez skończoną impedancję sieci.

Głównym problemem związanym z harmonicznymi prądów jest przegrzewanie się transformatorów rozdzielczych w lokalnych sieciach zasilających. Z tego samego powodu przegrzewają się również kondensatory do poprawy współczynnika mocy (mają mniejszą impedancję przy wyższych częstotliwościach). Harmoniczne prądu mogą również przegrzewać źle dobrane przewody neutralne w układach trójfazowych. W wielu nowoczesnych instalacjach używa się przewodów neutralnych o tym samym przekroju co przewody fazowe. Niestety w wielu starych instalacjach stosowane są przewody neutralne o znacznie mniejszym przekroju niż przewody fazowe. Emisja harmonicznych będących wielokrotnością 3 (3-cia, 6-ta, 9-ta, 12-ta, itd.) sumuje się w przewodzie neutralnym i może osiągnąć 1,7 wartości prądu fazowego. Efekt przegrzania przewodu neutralnego potęgowany jest zjawiskiem naskórkowości, które polega na tym, że prądy wyższej częstotliwości płyną bliżej powierzchni przewodnika. Oznacza to większą rezystancję dla harmonicznych i większy wzrost temperatury.

Kolejnym problemem związanym z prądami harmonicznymi, szczególnie tymi płynącymi do ziemi, jest zwiększenie zakłóceń magnetycznych wokół wrażliwych urządzeń pracujących w paśmie akustycznym.

Ponieważ indukcyjność linii zasilającej zwiększa impedancję sieci wraz ze wzrostem rzędu harmonicznymi, to niesinusoidalny prąd pobierany z sieci powoduje odkształcenia napięcia zasilania. Odkształcone napięcie może negatywne skutki na zasilane urządzenia np. na zasilane bezpośrednio silniki indukcyjne zaczynając od zwiększenia temperatury, poprzez głośną pracę i drgania, a kończąc na uszkodzeniu. Zasilacze impulsowe mogą mieć problemy z poprawną pracą (zwiększony prąd upływu przez kondensatory filtru EMI spowodowany ich niższą reaktancją przy wyższych częstotliwościach).

Przy częstotliwościach harmonicznymi istnieje ryzyko wystąpienia rezonansów w systemie, co może skutkować „obszarami” w sieci zasilającej, gdzie napięcie będzie znacznie odkształcone (za niskie lub za wysokie).

Normy regulujące emisję harmonicznymi to IEC/EN 61000-3-2, a w Stanach Zjednoczonych IEEE 519. Norma IEC/EN 61000-3-2 określa dopuszczalne poziomy emisji na poziomie urządzenia. Oznacza to, że norma określa dopuszczalne poziomy emisji, które muszą być spełnione przez każde urządzenie. Norma IEEE 519 przyjmuje za odniesienie nie pojedyncze urządzenie tylko miejsce w instalacji (miejsce, gdzie przykładowo jedna instalacja zaczyna oddziaływać na urządzenie z innej instalacji).

3.1.5. Wahania i migotanie napięcia

Kiedy obciążenie jest w sposób ciągły załączane i wyłączane, pojawiają się zmiany (wahania) napięcia, które nie mogą być wystarczająco szybko skompensowane.

Pomimo iż tego typu wahania nie wpływają na poprawną pracę urządzeń, powodują bardzo uciążliwe migotania źródeł światła podłączonych do tej samej sieci. Subiektywne odczucie takich migotań światła nazywane są z angielskiego „flicker”. Powyżej pewnego poziomu flickery stają się bardzo uciążliwe, a nawet szkodliwe dla zdrowia.

W celu uniknięcia tego typu problemów należy ograniczyć zmiany napięcia spowodowane pracą urządzeń lub wyposażyć urządzenia w elementy zapobiegające powstawaniu flickerów.

Flickery to skutek zmian napięcia. Naturalne zatem jest, że wszystkie urządzenia z zegarem lub termostatem, które często przełączają obciążenie będą również powodować wahania napięcia. Przykładowymi urządzeniami mogą być drukarki laserowe, ksera, grzejniki, klimatyzatory itp.

3.2. Odporność

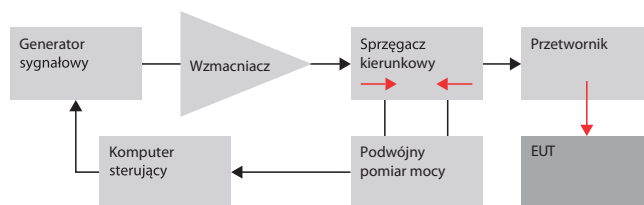
Producent urządzeń nie może przewidzieć i nie ma możliwości kontroli nad miejscem użycia ich produktu. Urządzenia powinny pracować poprawnie w każdym środowisku.

Każdy produkt wprowadzany na rynek powinien charakteryzować się odpowiednim poziomem odporności na zaburzenia, ponieważ jest to wymagane przez dyrektywy EMC i R&TTE. Każdy producent, który chce zachować wysoką jakość swojego produktu musi zatroszczyć się o zapewnienie odpowiedniego poziomu odporności swojego urządzenia

3.2.1 Odporność RF

Aby przetestować odporność urządzenia na sygnały RF, należy wygenerować określony sygnał i doprowadzić go do EUT. Z powodu natury sygnałów i sposobów ich przemieszczania odpowiednie normy definiują wiele przetworników dla różnych metod badania. Podstawowym sygnałem dla wszystkich testów RF jest sygnał sinusoidalny, który jest modulowany na kilka sposobów i doprowadzany do EUT. Zakres badań rozciąga się od 0,15 do 1 000 MHz

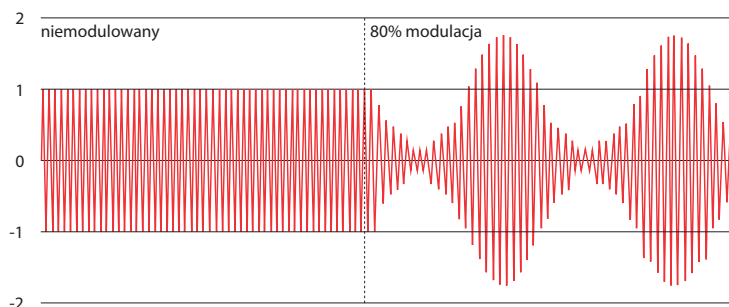
z tendencją do rozszerzenia górnej granicy. Generator sygnału musi zatem umożliwić generowanie sygnałów w tym zakresie częstotliwości. Ponieważ wyjście generatorów ma najczęściej znacznie ograniczoną moc i sygnał wyjściowy nie może pokryć wymagań stawianych przez normy, niezbędny jest dodatkowy wzmacniacz. Wzmacniacz musi również pokryć cały zakres częstotliwości, ale ponieważ wymagania odnośnie mocy zmieniają się wraz z częstotliwością, większość układów pomiarowych bazuje na dwóch wzmacniaczach - większej mocy dla niższych częstotliwości i mniejszej mocy dla wyższych częstotliwości.



Test odporności RF.

EUT może być podatny na modulowany sygnał RF, ale nie musi być podatny na sygnał niemodulowany. Obwody elektroniczne EUT będą narażone na sygnały RF, zatem będą odpowiadały na ich amplitudę. Niemodulowana fala może spowodować nieszkodliwe przesunięcie DC w sprzężonych z nią obwodach AC, podczas gdy fala modulowana może nałożyć się na sygnał AC. EUT może być odporny na wysoki poziom RF, co niekoniecznie oznacza odporność na niski poziom RF. Większość norm nakazuje użycie sygnałowych modulowanych amplitudowo (AM). Stosowanie sygnałów modulowanych częstotliwościowo (FM) tylko w nielicznych wypadkach wpływa na EUT.

Dla modulacji amplitudowej AM najczęściej stosuje się sygnał 1 kHz, chociaż istnieje kilka wyjątków w normach. Normy te nawiązują do określonego poziomu sygnału niemodulowanego, który jest następnie modulowany za głębokością 80%. Zwiększeniu ulegnie wartość szczytowa sygnału o ponad 5 dB. Z drugiej strony, niektóre normy odporności RF układów samochodowych odnoszą poziom narażeń do wartości szczytowej po modulacji. Alternatywną metodą modulowania sygnału jest modulacja impulsowa, w której sygnał jest w odpowiedni sposób załączany i wyłączany. Metoda ta służy do symulacji sygnałów GSM o częstotliwościach 900 MHz, gdzie występują 200-hercowe pakiety informacji modulowane impulsowo.



Modulacja 80% daje wartość szczytową 1,8 razy wartość szczytowa sygnału niemodulowanego
Modulacja AM sygnału RF.

Wysłanie do EUT sygnału zaburzeniowego jest bardzo ważną częścią przeprowadzonych testów, jednakże jest to tylko połowa całego testu. Równie ważną jest poprawna ocena reakcji EUT na zaburzenie. Badane urządzenie można uznać za odporne tylko wtedy, gdy podczas całego testu pracowało poprawnie. Istnieje kilka sposobów obserwowania zachowania EUT podczas testu. Pewne normy produktów podają bardzo szczegółowe metody monitorowania. Dla urządzeń posiadających funkcje audio, często stosuje się dodatkowe pomiary sprawdzające poprawność działania urządzenia. Urządzenia wyposażone w transmisję danych i przetwarzanie cyfrowe sygnałów często monitorowane są za pomocą analizatorów stanów logicznych lub innych podobnych urządzeń.

Najczęstszą metodą jest jednak prosta obserwacja EUT i jego funkcji kamerą video. Kamera musi być zamontowana wewnątrz komory w taki sposób, aby jej obecność nie wpływała na pomiary. Kamera przeważnie jest zamknięta w obudowie wyłożonej płytkami ferrytowych.

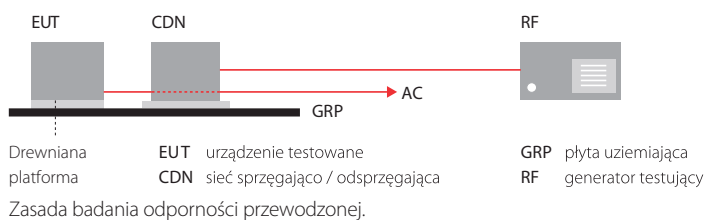
Jeżeli norma produktu wyraźnie nie określa kryterium poprawnej pracy EUT, producent może odwołać się do ogólnych kryteriów zawartych w wielu normach podstawowych, jak również normach ogólnych EN. Ta ostatnia mówi, że urządzenie powinno pracować zgodnie z przeznaczeniem bez ingerencji użytkownika. Przy użytkowaniu urządzenia zgodnie z przeznaczeniem nie dopuszcza się pogorszenia parametrów pracy poniżej poziomu określonego przez producenta.

Przed rozpoczęciem testów należy zawsze jasno określić wymagane kryteria parametrów pracy. Jeśli urządzenie nie przejdzie pozytywnie testów nie należy łagodzić założonych kryteriów tak, aby urządzenie przeszło testy, ponieważ oznaczać to będzie, że kryteria zostały źle określone za pierwszym razem.

3.2.2. Odporność przewodzona

Dla częstotliwości, przy których wymiary EUT zbliżają się do jednej czwartej długości fali, podstawową drogą sprzęgania EUT jest wprowadzenie zaburzeń asymetrycznych do przyłączonych przewodów. Metoda badania przewodów jest zatem ważnym punktem sprawdzania wrażliwości na RF. Metody badania określa norma IEC/EN 61000-4-6. Każda metoda wprowadzania RF do przewodów wymaga, aby impedancja asymetryczna (common mode) na końcach przewodów EUT była określona. Każdy rodzaj przewodu na jego końcu powinien mieć asymetryczną sieć odsprężającą gwarantującą tę impedancję w odniesieniu do płaszczyzny GRP oraz izolującą każde urządzenie pomocnicze od wpływu przepływu prądu RF w przewodzie. Urządzenie, które ma być używane i testowane w systemie, gdzie długości przewodów i zakończenia na każdym z końców są podłączone, zakończenia te zapewniają odpowiednią impedancję asymetryczną.

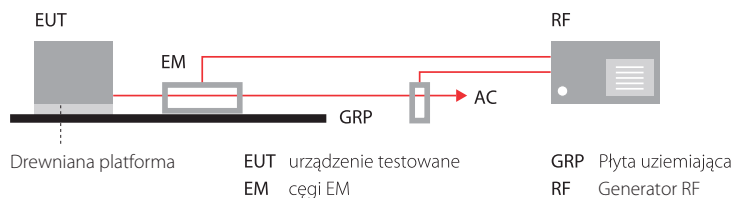
W przeciwnym przypadku, gdy zakończenie przewodu nie jest określone, stosuje się impedancję 150Ω jako średnią impedancję większości instalacji, która może się wahać w przedziale od kilku Ω do kilkuset Ω w zakresie częstotliwości testowych od 150 kHz do 80 MHz. Jeżeli urządzenia pomocnicze i dodatkowe nie są izolowane od sygnału za pomocą sieci odsprężającej lub filtru, to muszą wytrzymać narażenia RF bez pogorszenia ich parametrów pracy.



Najprostszą metodą sprzęgania jest połączenie pojemnościowe z testowanym przewodem. Sygnał zaburzeniowy jest podzielony poprzez sieć sprzęgającą pomiędzy wszystkie przewody, zatem zaburzenie pojawia się jako asymetryczne we wszystkich przewodach razem. Oprócz sieci sprzęgającej wymagana jest również sieć odsprężająca, która zapobiega przedostaniu się zaburzenia RF do urządzeń innych niż EUT lub sieci zasilającej. Połączenie szeregowo rezystancyjne 100Ω i wyjścia wzmacniacza o impedancji 50Ω daje asymetryczną impedancję 150Ω na przyłączy EUT. Sieć sprzęgająca i odsprężająca najczęściej jest zamknięta w jednej obudowie i nazywana jest siecią sprzęgająco - odsprężającą (ang. Coupling-Decoupling Network, CDN).

Alternatywą dla CDN umożliwiającą wprowadzenie sygnału RF są cęgi EM. Urządzenie to składa się z rurki zbudowanej z dzielonych pierścieni ferrytowych dwóch typów, które można zamknąć na badanym przewodzie. Jest to metoda

nieinwazyjna, nadająca się do każdego typu przewodu. Sygnał jest dostarczany za pomocą jednozwojowej pętli rozciągającej się na całą długość cęgów i zakończonej na każdym końcu impedancją. Powoduje to powstawanie zarówno napięcia, dającego sprzężenie pojemnościowe, jak i prądu, dającego sprzężenie indukcyjne. Kombinacja różnych ferrytów i sprzęgania pojemnościowego / indukcyjnego daje kłamrze znaczący zysk kierunkowy, szczególnie powyżej 10 MHz, zatem znacznie mniejszy sygnał jest przyłożony do końcówki przewodu AE i impedancja asymetryczna widziana przez EUT wynosi blisko 150Ω w szerokim paśmie częstotliwości sygnałów testowych.



Zasada badania odporności przewodzonej przy użyciu cęgów pojemnościowych.

Podobnie jak CDN, cęgi EM powinny być poprawnie przymocowane do uziemionej płaszczyzny po to, by zapewnić powtarzalną impedancję. Należy również, podobnie jak w przypadku CDN, minimalizować wahania spowodowane ułożeniem przewodów po stronie AE i samym AE.

3.2.3. Odporność promieniowana

Norma pomiarów emisji promieniowanej to IEC/EN 61000-4-3. Wymaga ona wytworzenia pola RF za pomocą anteny w ekranowanej bezchowej komorze za pomocą wcześniej skalibrowanego pola. Pasma przemiatania wynosi od 80 MHz do 1 000 MHz z krokiem nie przekraczającym 1% częstotliwości podstawowej i czasem trwania pozwalającym na reakcję EUT. Antena kierowana jest na każdą z czterech stron EUT w każdej polaryzacji (jak również od góry i od dołu jeśli może to wpływać na EUT), skutkiem czego mamy w sumie 8 (lub 12) testów. Poprawka 1:1998 dodaje również testy od 800 do 960 MHz oraz 1,4 do 2 GHz w celu zabezpieczenia przed transmisją cyfrową telefonów komórkowych.

EUT jest umieszczony na drewnianym stole o wysokości 0,8 m (dla urządzeń stołowych) frontem do wcześniej skalibrowanej płaszczyzny pola jednorodnego. Zarówno pozycja anteny jak i obszaru jednorodnego pola jest stała w odniesieniu do komory. Norma wymaga, aby przynajmniej 1 m długości przewodu był wystawiony na działanie pola. Ponadto zalecane jest stosowanie dławika ferrytowego w celu odsprężenia dłuższych przewodów. Układ przewodów nie może być ogólnie określony, ale przynajmniej fragment przewodu powinien być w tej samej polaryzacji co jedna z polaryzacji anteny.



Zasada badania odporności promieniowanej.

EUT obracany jest na stole tak, aby każdy z czterech boków (ewentualnie również góra i dół jeśli to możliwe) skierowany był frontem do anteny i był współpłaszczyznowy z polem jednorodnym. Dla każdego ustawienia wykonuje się dwa badania w pełnym zakresie częstotliwości: dla każdej polaryzacji anteny. Jeśli częstotliwość jest przemiatana w zakresie od 80 do 1 000 MHz z krokiem 1% z tradycyjnym minimalnym czasem narażenia 3 sekundy na krok, to jedno przemiatanie zajmie około 15 minut, a całość testu ponad dwie godziny.

3.2.4. Odporność na szybkie stany przejściowe

Dodatkowo, aby pokryć zakres zjawisk związanych z częstotliwościami radiowymi o charakterze ciągłym, należy badać odporność na zjawiska, których źródłem są różne stany przejściowe. Zjawiska te mogą mieć pochodzenie naturalne (jak wyładowania elektrostatyczne ESD lub udary wywołane wyładowaniami atmosferycznymi) lub pochodzić od innych urządzeń. Zjawiska te charakteryzują się krótkim czasem trwania (nanosekundy lub mikrosekundy), ale ich amplituda jest na tyle wysoka, że mogą spowodować niepoprawną pracę obwodów elektronicznych. W niektórych przypadkach zjawiska te niosą tak wysoką energię, że mogą zniszczyć element.

Za wyjątkiem ESD, źródło zaburzeń przejściowych jest zazwyczaj blisko zagrożonego urządzenia, a energia jest prawie w całości sprzęgana poprzez przewody.

Dlatego testy odporności polegają na przyłożeniu powtarzalnego impulsu o określonym kształcie i amplitudzie do odpowiednich złączy przewodów w określony i powtarzalny sposób. Oprócz rzadko stosowanych norm na impulsowe pole magnetyczne oraz falę oscylacyjną tłumioną IEC 61000-4-9 i -10, nie ma cywilnych testów na promieniowane stany przejściowe. ESD jest wyjątkiem od tej zasady: impuls przykłada się ze specjalnego symulatora, którego zadaniem jest naśladowanie zjawisk świata rzeczywistego i który wprowadza do EUT zarówno składowe przewodzone jak i promieniowane.

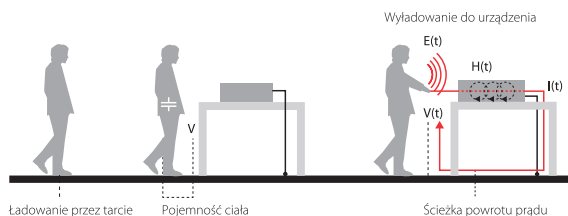
Wprowadzenie serii impulsów przejściowych do EUT powiązane jest z obserwacją jego funkcjonalności w celu określenia czy i w jakim stopniu jest odporny na dane zjawisko.

3.2.5. Wyładowania elektrostatyczne (ESD)

Wszystkie przewodzące elementy mają swoją pojemność w odniesieniu do uziemienia oraz pojemność wzajemną w odniesieniu do innych ciał. Pojemność ta może naładować się ładunkiem DC względem uziemienia. Przy założeniu idealnie izolujących materiałów, ładunek ten pozostałby nieusuwalnie na obiekcie. Jednak w rzeczywistości niektóre powierzchnie posiadają rezystywność skośną oraz dryft wolnych elektronów, który może stopniowo zneutralizować zgromadzony ładunek. Takie zjawisko nazywane jest wyładowaniem elektrostatycznym.

Na poruszającą się osobę oddziałują wszystkie te czynniki razem powodując ciągłą zmianę napięcia na tej osobie. W najgorszym przypadku (materiały wysoce izolujące, niska wilgotność powietrza, energiczny ruch) napięcie może osiągnąć wysoki poziom rzędu 25 kV. Wyższe potencjały są ograniczone przez wyładowania koronowe (ulot). W większości przypadków napięcie osiąga poziom pomiędzy 2 a 8 kV.

Jeżeli naładowany obiekt będzie miał kontakt z innym obiektem różniącym się potencjałem, wtedy ładunek wyrówna się między obiektami, co skutkuje pojawieniem się przejściowego napięcia $V(t)$ oraz prądu $I(t)$. Układy cyfrowe w szczególności są podatne na takie wyładowanie, co powoduje ich uszkodzenie.



Typowy schemat wyładowywania elektrostatycznego z udziałem człowieka.

Norma IEC 61000-4-2 oraz jej odpowiednik EN jest podstawową normą do badania odporności na wyładowania elektrostatyczne. Za pomocą ręcznego generatora podawany jest impuls o określonym kształcie prądu i amplitudzie. Impuls generowany jest na zasadzie rozładowania naładowanego wysokim napięciem kondensatora poprzez określoną impedancję szeregowo połączoną

z uziemieniem. Rozróżnia się dwie metody badań: wyładowanie dotykowe i wyładowanie powietrzne.

W metodzie z wyładowaniem dotykowym zaburzenie może być bezpośrednio podane na EUT lub płaszczyznę sprzęgającą położoną blisko EUT. Przed każdym impulsem testowym kondensator ładowany jest do zadanego poziomu napięcia. Po przyłożeniu próbника do danego miejsca na EUT lub płaszczyźnie sprzęgającej wyzwala się impuls. Procedura ta jest powtarzana dla różnych miejsc, przy różnych polaryzacjach i poziomach napięcia.

Ten sam generator używany jest do metody wyładowań powietrznych (zakłada się wówczas okrągłą końcówkę zamiast ostrej). Podobnie jak poprzednio kondensator ładowany jest do zadanego napięcia, ale napięcie od razu pojawia się na próbniku, który jest trzymany z dala od EUT. Dla każdego punktu testowego zbliża się stopniowo próbnik do EUT aż do dotknięcia. Tuż przed dotknięciem następuje przebiecie małej szczeliny powietrznej i płynie prąd wyładowczy ograniczony jedynie impedancją sieci rozładowczej generatora, szczeliny i EUT. Procedura ta jest powtarzana dla różnych miejsc, przy różnych polaryzacjach i poziomach napięcia.

Pośrednie wyładowanie polega na przyłożeniu impulsu do dwóch płaszczyzn innych niż GRP, nazywanych poziomą płaszczyzną sprzęgającą (HCP) i pionową płaszczyzną sprzęgającą (VCP). Wyładowanie do tych płaszczyzn symuluje pole wypromieniowane przez rzeczywiste obiekty do otaczających obiektów. Każda płaszczyzna sprzęgająca podłączona jest do GRP za pomocą rezystora w celu zapewnienia odpłynięcia ładunku ciągu kilku mikrosekund.

3.2.6. Szybkie stany przejściowe (Burst)

Kiedy obwód jest rozłączany, prąd płynący przez przełącznik jest bezwzględnie przerywany. Innymi słowy, w chwili przełączania mamy nieskończoną wartość di/dt . Wynikiem tego jest natychmiastowe pojawienie się impulsu napięcia, które dodaje się do napięcia roboczego występującego na rozwierających się zestykach przełącznika. Pojawia się mała, ale zwiększająca się szczelina powietrzna między stykami, która pod wpływem napięcia ulega przebicciu, co powoduje ponowny przepływ prądu powodujący zniwelowanie impulsu napięcia i ugaszenie powstałego łuku. Ugaszenie łuku oznacza ponowne przerwanie prądu, zatem znowu pojawi się impuls napięcia powodujący powstanie kolejnego łuku. Proces ten trwa dopóki przerwa powietrzna będzie na tyle duża by wytrzymała bez przebiccia przyłożone napięcie. Dopiero w tym momencie można powiedzieć, że obwód został odłączony. Widocznym efektem jest pojawienie się iskry między zestykami, co w rzeczywistości odpowiada całej serii małych iskier.

Nieskuteczne filtrowanie lub ekranowanie przewodów pozwala na przedostanie się wyżej opisanych stanów przejściowych do wrażliwych obwodów elektronicznych jako sygnału zaburzenia. Elektroniczne obwody cyfrowe są najbardziej podatne na zaburzenia typu Burst, ponieważ są one interpretowane jako sygnał cyfrowy lub jako sygnał zegarowy (taktujący). Elektroniczne obwody analogowe są również wrażliwe na tego typu zaburzenia prowadzące do nasycenia wzmacniaczy. Wszystkie układy liczące impulsy mogą zwiększać stan liczników pod wpływem zaburzeń Burst.

Norma IEC 61000-4-4 oraz jej odpowiednik EN jest podstawową normą do badania odporności na szybkie stany przejściowe (Burst). Badanie polega na przyłożeniu impulsu Burst o określonym kształcie poprzez określoną sieć sprzęgającą do zacisków zasilających lub poprzez określone cęgi do zacisków sygnałowych.

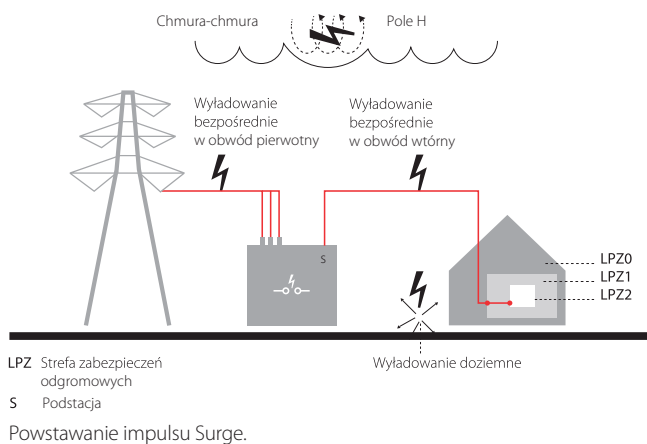
Stosuje się tylko badanie odporności na drodze przewodzenia - nie istnieje badanie odporności na szybkie stany przejściowe na drodze promieniowanej. Wybór złączy do przyłożenia impulsu Burst zależy od wytycznych w normie. Najczęściej są to złącza zasilania AC i DC oraz złącza sygnałowe i sterowania, które mogą być przyłączone do przewodów dłuższych niż 3 m.

Impulsy Burst składają się z impulsów o wysokiej częstotliwości. Zwykle filtry EMI będą zatem pozytywnie oddziaływać na problemy związane z Burst. Z drugiej jednak strony należy zaznaczyć, że filtry EMI nie są specjalnie projektowane do tłumienia Burst. Składowa HF impulsów sięga tak wysokich częstotliwości, że możliwe stają się oscylacje obwodu filtru.

3.2.7. Impulsy Surge

Wysoko energetyczne stany przejściowe pojawiające się na złączach urządzeń elektronicznych są najczęściej skutkiem pobliskich wyładowań atmosferycznych albo spowodowane przełączeniami w publicznej sieci zasilającej (zwarcia, załączenia kondensatorów). Wyładowania atmosferyczne mogą generować impulsy Surge o energii kilku dżuli w następujący sposób

- bezpośrednie wyładowanie w obwód pierwotny lub wtórny: drugi najczęściej uszkadza elementy zabezpieczające i podłączone urządzenia, pierwszy przechodzi przez transformator poprzez sprzężenie pojemnościowe i indukcyjne,
- pośrednie wyładowanie chmura-ziemia lub chmura-chmura powoduje powstanie pól, które indukują napięcia we wszystkich przewodach,
- prąd doziemny płynący na skutek wyładowania od najbliższej chmury do ziemi sprzęga się z siecią uziemiającą i powoduje różnice potencjałów w różnych punktach uziemienia,
- zadziałanie ochronników przepięciowych lub przeskok iskry powoduje stany przejściowe napięcia.



Impuls typu Surge uderzający w urządzenie elektroniczne może spowodować całkowite jego uszkodzenie, rzadziej zakłócenie w jego pracy. Poniżej pewnego poziomu zależnego od projektu urządzenia nie można zaobserwować żadnych skutków Surge. Powyżej tego poziomu zaobserwować można zmianę stanu pracy urządzenia, ale bez uszkodzeń. Przy wysokich poziomach Surge, energia impulsu może być na tyle duża, że doprowadzi do przebicia i uszkodzeń obwodów. Maksymalne napięcie jakie może się pojawić jest ograniczone przez zjawisko przeskoku iskry. Przykładowo w typowej domowej sieci zasilającej okablowanie wytrzymuje nie więcej niż 6 kV. Najczęściej obwody zabezpieczają się dołączając równolegle ograniczniki przepięć takie jak diody napięciowe, warystory lub iskrowniki. Celem stosowania tych elementów jest kontrolowanie przebicia i rozproszenie energii przy poziomach napięcia, które jest niższe niż chronione urządzenie może wytrzymać. Zatem elementy te muszą być odpowiednio zwymiarowane, aby wytrzymać maksymalną energię impulsu Surge.

Filtry Schaffner wykazują niską tłumienność dla impulsów Surge, chyba że zostaną doposażone w dodatkowy element przystosowany do tłumienia tego typu zaburzeń (wersje Z). Pomimo tego, filtry Schaffner badane są na przepięcia, zatem mogą być bezpiecznie stosowane bez ryzyka uszkodzenia przez impulsy Surge.

3.2.8. Pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej

Pole magnetyczne o częstotliwościach sieciowych to pole magnetyczne generowane przez przewody zasilające. Pole jest ciągłe i proporcjonalne do płynącego prądu w przewodzie. Częstotliwość pola związana jest z częstotliwością sieci, czyli 50 Hz w Europie. Pola magnetyczne są zawsze obecne wokół przewodników, przez które płynie prąd. Jeśli przewód tworzy pętlę, koliste pola magnetyczne dodają się i tworzy się pole ukierunkowane. W obu przypadkach utworzone pole jest wprost proporcjonalne do płynącego prądu. Innymi słowy, im wyższy prąd, tym większe pole magnetyczne.

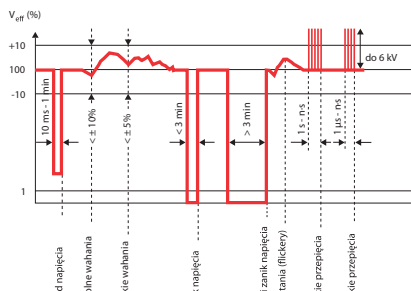
Pola magnetyczne o częstotliwościach sieciowych mogą osiągnąć, w zależności od warunków, natężenia rzędu 100 A/m. Logika wskazuje, że im wyższy prąd, tym większe zagrożenie ze strony pól magnetycznych dla urządzeń. Aplikacje przemysłowe i wysokonapięciowe systemy dystrybucji energii są bardziej narażone na pola magnetyczne niż aplikacje domowe. Pola magnetyczne o dużym natężeniu występują w otoczeniu silników, prądnic i innych urządzeń dużej mocy.

Pola magnetyczne oddziałują tylko na bardzo wąską grupę urządzeń elektrycznych, przykładowo urządzenia, których funkcjonalność bazuje na polu magnetycznym. Najlepszym przykładem tego typu urządzeń jest klasyczny kineskop CRT, chociaż w dzisiejszych czasach problemy z CRT zostały zminimalizowane z uwagi na technologię LCD. Wpływ pola magnetycznego na wyświetlacze jest łatwy do zauważenia, zatem pomyłka człowieka przy odczycie jest mało prawdopodobna. Jednakże wyświetlacz może być mało czytelny, co ma ogromne znaczenie w aplikacjach, gdzie odczytana informacja ma kluczowe znaczenie. Przykładem takiego sprzętu może być wyposażenie medyczne, gdzie wyświetlana jest informacja o pacjencie.

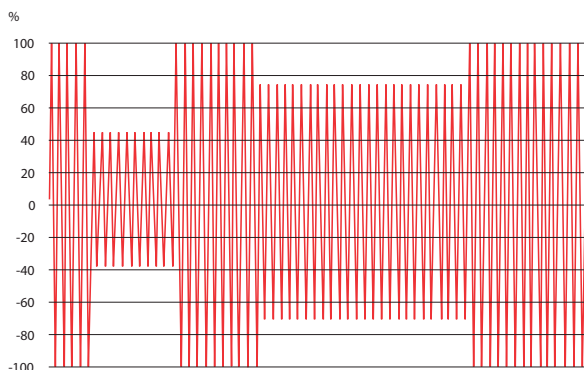
O wiele bardziej krytyczny jest wpływ pola magnetycznego na czujniki, które wykorzystują pole magnetyczne do pomiaru. Jeśli pomiar będzie posiadał składową przemienną lub wyniki będą nieproporcjonalne do zakładanego, użytkownik może z łatwością rozpoznać zaburzenie. Jednakże wpływ pól magnetycznych nie zawsze jest zauważony, co może powodować błędy w pomiarach. Z tego powodu odporność na pola magnetyczne jest bardzo ważna.

3.2.9. Sieć zasilająca

Gdy urządzenie jest podłączone do sieci zasilającej jego praca zależy od napięcia. Wyjaśniliśmy już jaki wpływ mają harmoniczne napięcia jako skutek nieliniowego prądu. Poniższy rysunek pokazuje typowe rodzaje zaburzeń w sieciach zasilających. Aktualnie obowiązujące normy opisują głównie zapady i zaniki napięcia. Zapad napięcia jest zaburzeniem w sieci zasilającej, polegającym na zmianach lub całkowitym zaniku napięcia zasilania. Takie zaburzenie może w poważny sposób wpłynąć na działanie urządzenia. Zapad napięcia może wpłynąć na procesory, które mogą zresetować urządzenie i uruchomić je ponownie w niedopuszczalnych ze względu na bezpieczeństwo warunkach. Zapad napięcia to krótkotrwałe obniżenie napięcia do pewnego poziomu, np. do 50% wartości znamionowej. Czas trwania zapadu wynosi od połowy okresu częstotliwości sieci do kilku sekund (najczęściej są one jednak krótkie).



Zmiany zasilania w typowych sieciach zasilania.



Zmiany zasilania w typowych sieciach zasilania.

Zaniki napięcia to zapady napięcia do 0%. Czas trwania tego typu zaburzeń może wynosić kilkanaście sekund, ale najczęściej nie przekracza jednej minuty.

Zapady napięcia nie tylko wpływają niekorzystnie na przemysłowe sieci zasilające, ale również bardzo często na środowiska domowe. Zapady napięcia pojawiają się bardzo często, ale nie zawsze stanowią problem. W wielu przypadkach wewnętrzne obwody mogą skompensować takie zjawiska. Zaniki napięcia najczęściej powodują pogorszenie parametrów pracy urządzenia. Należy wówczas zatroszczyć się, by po ustąpieniu zaburzenia urządzenie wyłączyło się i nie uruchomiło ponownie w niedopuszczalnych ze względu na bezpieczeństwo warunkach.

W celu przeprowadzenia badania odporności na zaniki i zapady napięcia, EUT należy podłączyć do wzorcowego źródła napięcia, następnie umożliwić bardzo dokładne przełączenie i synchronizację zapadu z kątem fazowym zasilania. Kluczowym urządzeniem do testów jest specjalny generator, co do którego normy mają bardzo restrykcyjne wymagania. Generatory muszą być w stanie przenosić prądy ciągłe przy poziomach napięcia 100%, 70% i 40% napięcia znamionowego. O wiele trudniejsze do spełnienia są wymagania odnośnie czasu narastania i prądu rozruchowego. Przy zasilaniu 230 V generator musi przełączyć (zrobić zapad) w czasie 1 do 5 μ s i w tym samym czasie przenieść prąd rozruchowy do 500 A. Te dwa wymagania są bardzo trudne do spełnienia, dlatego wiele generatorów do dziś dzień nie spełniają wymagań normy.



Przykład zaników napięcia.

4. Tłumienie zaburzeń

Wraz z gwałtownym wzrostem popularności urządzeń elektronicznych, utworzone zostały niezliczone standardy oraz procedury postępowania przeciw zaburzeniom. Standardy te są nie tylko potrzebne do testowania, lecz również do prawidłowego zaprojektowania urządzeń.

W tym rozdziale poruszymy pewne wspólne cechy projektowania urządzeń zgodnie ze standardami EMC oraz zagadnienia związane z tłumieniem zaburzeń.

4.1. Koncepcja EMC

Przed spojrzaniem na różne metody tłumienia zaburzeń, ważne jest aby właściwie określić koncepcję EMC. Zaczynamy od pierwszego projektu, kończąc na wyprodukowaniu urządzenia. Bardzo często EMC jest ostatnim krokiem podczas procesu projektowania. Kiedy wszystkie cechy urządzenia zostały wprowadzone w życie i funkcjonalność produktu jest już określona wtedy dopiero są rozwiązywane problemy EMC. Na tym etapie problemy EMC stają się bardzo kosztowne, czasochłonne oraz trudne do rozwiązania. Dlatego producenci powinni od początku procesu projektowania urządzenia myśleć o problemach EMC.

4.2. Ekranowanie

Z punktu widzenia legislacji oraz standardów problemy EMC znajdują się na zewnątrz urządzenia. Ekranowanie redukuje zaburzenia pola elektromagnetycznego na zewnątrz urządzenia zatrzymując je wewnątrz obudowy. Ekranowanie dotyczy także kabli oraz złączek.

4.2.1. Obudowy ekranowane

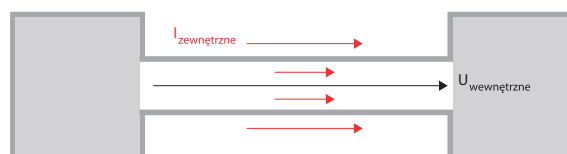
Dla wielu rodzajów urządzeń, ekranowane obudowy stały się doskonałym rozwiązaniem do redukcji zaburzeń. Obudowy te powinny być wykonane z metalu lub przewodzącego materiału (plastik przewodzący np. PREMIER). Obudowa powinna być dobrze uziemiona, ponieważ nieziemione obudowy posiadają minimalne właściwości tłumienia. Nałożenie nieodpowiedniej farby na powierzchni obudowy neutralizuje efekt ekranowania (do malowania powinno się używać farby przewodzącej). Dla niektórych aplikacji stosowane są uszczelnienia, które w większości wykonane są z gumy, które gwarantują odpowiednią klasę IP. Stosowanie przewodzących farb oraz uszczelnień jest kosztowne, ale zapewnia odpowiedni, konieczny poziom ochrony.

Każde szczeliny powodują, że obudowy zachowują się jak anteny. Poziome szczeliny mogą zachowywać się jak pionowa antena i odwrotnie. Szczeliny mogą być tworzone dla celów wentylacji ale również jako punkty kontaktu nie przewodzącego elementu obudowy (farba).

Jeżeli charakterystyka EMC jest już krytyczna, należy rozpatrywać relację pomiędzy rozmiarem otworu oraz długością fali zaburzenia. Zastosowanie, specjalnych szczelin EMC, farb przewodzących oraz uszczelnień powinno przynieść zamierzony efekt.

4.2.2. Ekranowanie przewodów

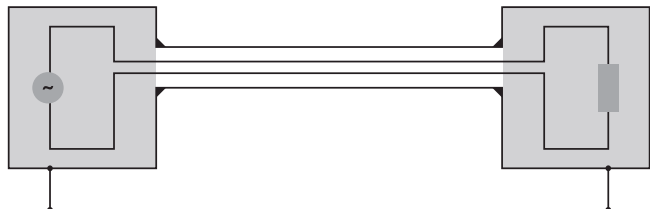
Aby zredukować emisję, ekranowanie przewodów powinno być bardzo skuteczne. Jednakże złe zainstalowanie może spowodować ograniczenie skuteczności, a nawet całkowity zanik wpływu ekranowania. Zewnętrzne napięcia i prądy nie oddziałują bezpośrednio na linie sygnałową, tylko na ekran dookoła przewodu. Skuteczność ekranowania może zostać opisana jako relacja między prądem na ekranie a napięciem indukowanym wewnątrz przewodu.



Idea skuteczności ekranowania.

Tłumienność ekranu zależy od materiału, z którego jest wykonany oraz metody jego instalacji. Metalowa otoczka lub splot drutów zapewnia dobre ekranowanie dla wielu popularnych aplikacji. Dla wielu z nich można użyć podwójne sploty drutów lub dwa oddzielne ekrany. Jeżeli używane są ekranowane przewody, końce ekranu powinny być podłączone do uziemienia. Skuteczność ekranowania jest niewielka jeżeli ekran nie jest podłączony do

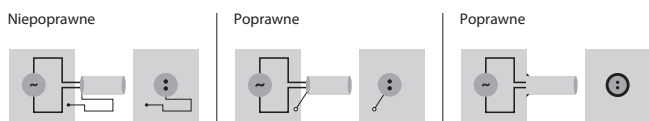
uziemia. Indukowane pole nie może być kierunkowe i prądy uziemia nie mogą być zmniejszone. Jeżeli ekran podłączony jest tylko z jednej strony wtedy jest skuteczny tylko przeciw polu elektrycznemu. Jeżeli jednak ekran osiągnie rezonans częstotliwości wtedy skuteczność ekranowania spada. Jeżeli oba końce ekranu podłączone są do uziemia wtedy mamy najlepszą skuteczność ekranowania. Pole magnetyczne i elektryczne jest skutecznie redukowane. Różnice potencjałów nie oddziałują na linie sygnałowe.



Poprawne połączenie końców ekranów.

Powyższy rysunek przedstawia poprawne podłączenie ekranu. W momencie kiedy zastosowanie jednego ekranu między urządzeniami nie dało zamierzonego efektu należy zastosować dodatkowy ekran.

Właściwe podłączenie do uziemia jest bardzo ważne dla skuteczności ekranowania. Najbardziej popularnym problemem połączenia ekranu jest występowaniem tzw. „warkoczy” jak pokazane jest na rysunku po lewej. Ekran jest przymocowany do jednej strony i następnie podłączony w jednym punkcie do uziemia. Powoduje to wzrost rezystancji sprzęgania ekranu oraz redukcję jego wydajności. Najlepszym podłączeniem ekranu jest jego podłączenie wokół przewodu (360°) na obu końcach jak pokazano na rysunku po prawej.



Niepoprawne i poprawne podłączenie ekranów.

4.3. Masa

Z punktu widzenia EMC podłączenie masy jest bardzo ważne. Typ połączenia oraz koncepcja ma zasadniczy wpływ na funkcjonowanie oraz wydajność systemu. Zasadniczo masa powinno spełniać następujące wymagania:

- sprzężenie pomiędzy podatnymi ścieżkami oraz ścieżką z wysoką emisją powinno być zredukowane,
- sprzężenie z zewnętrznego promieniującego pola powinno być zredukowane, wraz z emisją samego urządzenia.

Należy unikać różnic potencjałów między kilkoma jednostkami.

4.3.1. Projektowanie masy

Jak wspomniano wyżej masa nie jest miarą skuteczności ekranowania. Optymalny skutek może być osiągnięty razem z innymi projektowanymi elementami takimi jak ekranowanie oraz filtrowanie. Wśród wielu środków zaradczych EMC, powinno się wybrać najbardziej ekonomiczne rozwiązanie. Dla masy należy przestrzegać poszczególnych zasad:

- Każdy układ elektryczny powinien mieć niezależną masę, aby uniknąć różnic potencjałów.
- Metoda ekranowania zależy od częstotliwości sygnału
 - dla niskich częstotliwości wymiary obwodu powinny być porównywalne do długości fali, niepożądane jest występowanie rezonansów. Podłączenie masy od strony odbiornika jest wystarczające do prawidłowego funkcjonowania ekranu. Metoda zwana jest masą punktową.

- dla wysokich częstotliwości długość fali jest mała w porównaniu do wymiarów obwodu, więc uniknięcie rezonansu jest trudne. Aby mieć odpowiednie warunki, należy używać przewodów o dobrej charakterystyce impedancji i należy podłączyć do masy oba końce przewodów. W niektórych przypadkach przewody posiadają dodatkową masę w wielu punktach dla różnych ścieżek sygnału. Masa taka nazywana jest wielopunktową.

- Dla obwodów z sygnałami z niskimi jak i z wysokimi częstotliwościami należy do podłączenia zastosować kabel z podwójnym ekranem. Jednakże wysoka cena i waga wyklucza ich zastosowanie w wielu przypadkach. Stosuje się zatem mieszane koncepcje, łączące kombinacje masy ze skrętkami przewodów lub stosuje się inne metody.
- Masa jest konieczna nie tylko dla pojedynczego urządzenia, ale dla całego systemu. Wszystkie pojedyncze urządzenia powinny być podłączone do jednego punktu masy. Jeżeli więcej niż jeden system masy jest używany, istotna jest niska rezystancja połączenia ich punktów jest istotny.

4.3.2. Uziemienie

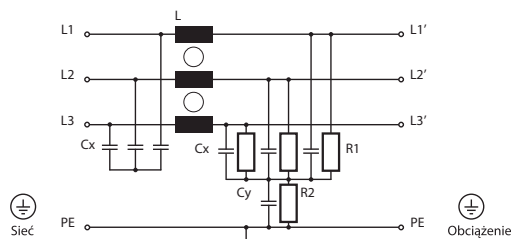
Uziemienie i masa mają oddzielne funkcje w urządzeniach i istnieją różne sposoby ich doboru.

Uziemienie jest wyłącznie dla bezpieczeństwa, więc rezystancja tego połączenia jest bardzo istotna. Większość standardów bezpieczeństwa wymaga testowania połączeń uziemia. Masa przeważnie jest używana z powodów EMC. Ważniejsza dla połączenia masy jest impedancja a nie rezystancja, szczególnie dla wysokich częstotliwości. Połączenie przez dużą powierzchnię ma większą skuteczność niż połączenie punktowe. Uziemienie nigdy nie powinno być mieszane z masą. Uziemienie jest podłączone do całego systemu z powodów bezpieczeństwa. Masa jest używana do poprawienia funkcjonalności oraz charakterystyki EMC.

4.4. Komponenty tłumiące

Aby zniwelować zaburzenia sieci zasilania należy włączyć elementy LC. Powstrzymuje to energię zaburzenia wychodzącą z urządzenia i wchodzącą do sieci zasilającej. Zastosowanie układu cewka - kondensator skutecznie zatrzymuje zaburzenia sieci zasilania - widać to na poniższym rysunku

- szeregowo indukcyjność w torze zasilania
- Cx - kondensatory pomiędzy fazą a przewodem neutralnym
- Cy - kondensatory pomiędzy fazą a masą



Typowy schemat filtru EMI.

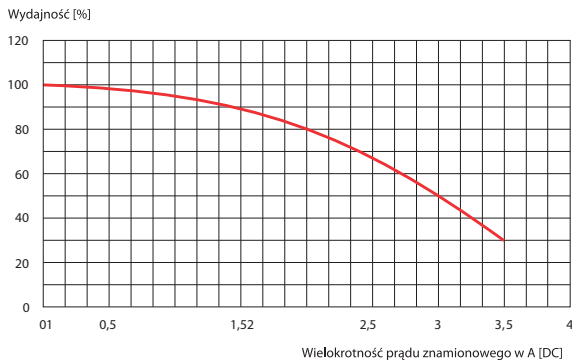
4.4.1. Dławiki

Dławik składa się z magnetycznego rdzenia, na którym nawinięte jest uzwojenie z materiału przewodzącego prąd. Istnieją różne kształty wykonania rdzenia: rdzeń pierścieniowy, rdzeń-D, rdzeń-E, rdzeń-I itp. Bez względu na kształt rdzenia, dławiki zawsze używają właściwości magnetycznych do przeciwstawiania się zaburzeniom RF.



Rdzenie typu pierścieniowego, D, E oraz I.

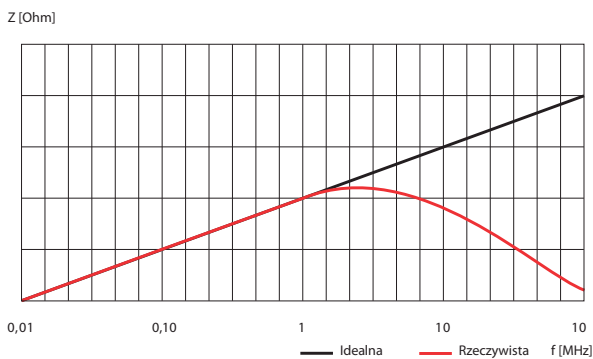
Materiał, z którego wykonany jest rdzeń, wpływa na wydajność dławika. Podnosi to właściwości magnetyczne dławików, lepsza właściwości tłumienia i powoduje, że komponenty są bardziej uniwersalne. Dobór materiału rdzenia zależy od warunków pracy (takich jak temperatura oraz prąd). Kiedy dławik zostanie użyty niezgodnie z jego przeznaczeniem może dojść do jego nasycenia, doprowadzając do utraty właściwości tłumiących (jego impedancja będzie za niska).



Nasycenie się dławików spowodowane przepływem prądu.

Zakres prądu jest jednym z głównych czynników powodujących nasycenie się dławika. Również wystąpienie wysokich asymetrycznych prądów zaburzeń może być tego przyczyną.

Można uniknąć nasycenia przez użycie dławika zgodnie z jego przeznaczeniem albo przez specjalną technikę nawinięcia zwaną kompensacją prądu. Zjawisko to będzie wyjaśnione nieco później. Charakterystyka impedancji dławika w relacji z częstotliwością tworzy bardzo interesujące zjawisko dla redukcji zaburzeń. Impedancja rośnie dla wysokich częstotliwości. Teoretycznie wraz ze wzrostem częstotliwości impedancja powinna również rosnąć. Kiedy zostanie osiągnięty punkt rezonansu, impedancja dławika odwraca się i powoli spada. Pokazane jest na poniższym rysunku.

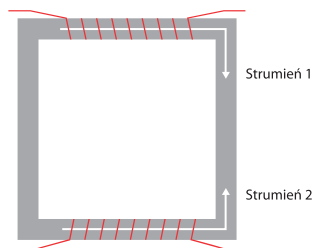


Typowa charakterystyka impedancji dławników.

- Do tłumienia zaburzeń mogą być używane trzy główne typy dławników:
 - dławiki skompensowane prądowo - z wielokrotnymi zwojami na rdzeniu, aby uniknąć nasycenia,
 - dławiki nasycające się - idealne do redukcji do szybkich zmian prądów
 - dławiki z wydrążonym rdzeniem walcowym - prezentują stałą indukcyjność nawet dla wysokich prądów

Dławiki skompensowane prądowo (RN, RD oraz EV/EH) są używane do łagodzenia asymetrycznych zaburzeń sygnałów. Podłączone są szeregowo między fazę a przewód neutralny sieci zasilającej AC. Wytworzone pola magnetyczne całkowicie się znoszą dzięki technice nawijania uzwojenia.

Pełna indukcyjność jest widoczna tylko dla sygnałów zaburzeniowych, które płyną asymetrycznie z fazy / przewodu neutralnego do masy.

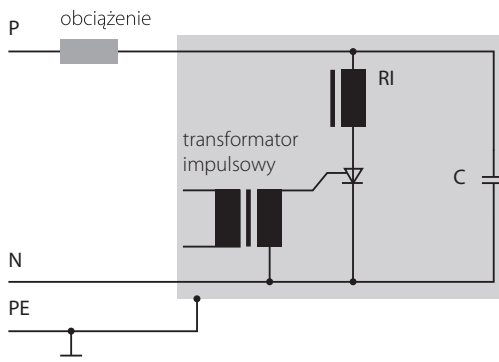


Zasada kompresji prądu

Składowe symetryczne są również tłumione, ponieważ występuje indukcyjność rozproszenia. Impedancja dławików dla częstotliwości linii zasilającej jest bez znaczenia, w praktyce sięga się praktycznie zerowy spadek napięcia. Dławiki te są połączone z kondensatorem i używane:

- w obwodach sterowanych fazowo, gdzie sam dławik nie zapewnia odpowiedniego poziomu zaburzeń
- do wygładzenia wysokich poziomów zakłóceń od ultradźwiękowych generatorów, szybkich prostowników, oraz urządzeń przełączających itp.
- do tłumienia urządzeń niepodłączonych do masy
- do filtrów wejściowych, do ochrony cyfrowych układów przeciwko zaburzeniom występującym w sieci zasilającej

Dławiki nasycające się (typ RI) zmieniają impedancję w momencie przełączenia i mogą zostać użyte do łagodzenia symetrycznych zaburzeń (P -> N), generowanych przez urządzenia sterowane fazowo takie jak tyrystor lub triak. Poziomy zaburzeń mogą być określone przez limity krajowe jak i międzynarodowe. Dla optymalnego tłumienia, dławiki powinny być podłączone jak najbliższej półprzewodnikowego urządzenia przełączającego. Prosty jednostopniowy układ jest przedstawiony na poniższym rysunku. Wykonany filtr może być dwustopniowy przez dodanie jednego dodatkowego kondensatora.

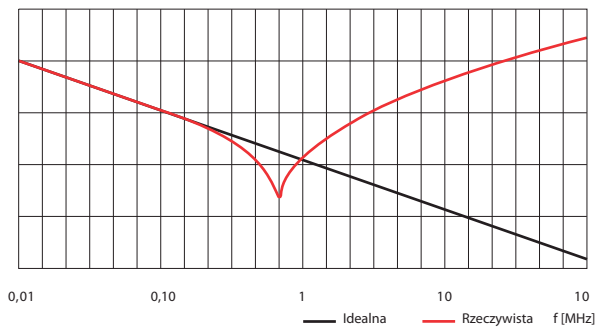


Nasycające się dławniki z tyrystorami.

4.4.2. Kondensator

Kondensatory są to dwie metalowe płytki oddzielone nieprzewodzącym materiałem najczęściej powietrzem, ale częściej są używane silniejsze materiały w celu zwiększenia pojemności. Większość rozwiązań opisanych w tym katalogu to samonaprawiająca się błona dielektryka. Wszystkie materiały dielektryczne występujące w kondensatorach zawierają otwory i inne niedoskonałości. W czasie produkcji, wysokie napięcie jest przyłożone do dielektryka aby metalizować obszar dookoła otworów, tworząc w ten sposób wysokiej klasy kondensatory. Impedancja kondensatorów spada dla wysokich częstotliwości. Z powodu indukcyjnego zachowania się przewodu, kondensatory osiągają punkt rezonansu, po którym następuje wzrost impedancji.

Z [Ohm]

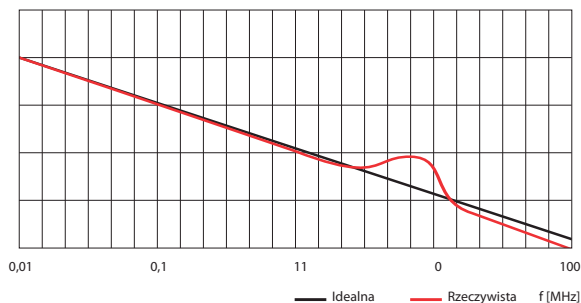


Typowa charakterystyka impedancyjna kondensatorów RFI.

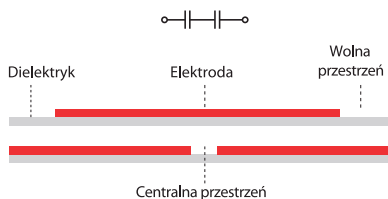
Rezonanse mogą zostać prawie całkowicie usunięte przez bezpośrednie podłączenie przepustowych kondensatorów. Zamiast podłączenia przewodu do zwojów kondensatora przewód jest skierowany do centrum zwojów cewki. Jedna strona kondensatora jest wtedy podłączona bezpośrednio do linii zasilania. Natomiast drugi koniec jest podłączony do ekranu. Rezultatem tego są kondensatory bez znaczącego wpływu wyprowadzeń. W ten sposób uniknąć można punkt rezonansu.

Kondensatory podłączone są pomiędzy fazami lub fazą a masą. Wszystkie kondensatory Schaffnera posiadają taką konstrukcję. Redukują one narażenia napięciowe na każdym elemencie kondensatora, co pozwala na doskonałą ochronę dla wysokich napięć stanów przejściowych oraz minimalizuje jonizację, co skutkuje zwiększeniem żywotności elementu.

Z [Ohm]



Typowa charakterystyka impedancyjna kondensatorów przepustowych.



Konstrukcja kondensatora przepustowego.

4.4.3. Filtry

Filtry podłączone do linii zasilającej są kluczowym elementem stosowanym do eliminacji zaburzeń sieciowych. Filtry te nie tylko muszą spełniać wymagania EMC, ale także aspekty bezpieczeństwa. Dla niektórych aplikacji filtry muszą zapobiegać promieniowaniu tajnych danych z linii sygnałowych (aplikacje TEMPEST). Inne aplikacje wymagają od filtrów ochrony urządzeń przed destrukcyjnymi skokami napięć występującymi w liniach zasilania.

Filtry dostarczane są z elektryczną i mechaniczną specyfikacją. Filtry PCB są zaprojektowane tak, aby zajmowały jak najmniej miejsca. W konsekwencji

standardowo oferowane są filtry jednostopniowe z ograniczeniem maksymalnej mocy. Filtry te stały się idealne dla przedsiębiorstw, które podczas projektowania urządzeń elektronicznych planują ochronę EMC. Kompletne urządzenie jest chronione za pomocą niedrogich komponentów. Podczas montażu tych elementów, należy zwrócić uwagę na to, aby połączenie do masy miało niską impedancję.



Filtr PCB FN 409 firmy Schaffner.

Filtr IEC jest używany do ograniczenia zaburzeń w komputerach, monitorach, w drukarkach oraz kserach i sprzęcie medycznym.

Filtr ten zbudowany jest z gniazda IEC oraz niewielkich rozmiarach filtra o doskonałych parametrach tłumiących. Jest on doskonałym wyborem do urządzeń z zasilaczem impulsowym (SMPS). W dodatku do klasycznej funkcji filtru IEC dodany jest przełącznik włączający zasilanie lub bezpiecznik.



Filtr IEC FN 9222 firmy Schaffner.

Filtry do montażu wewnętrznego są wydajne dzięki swojej konstrukcji. Zabudowane w metalowych obudowach dla lepszej optymalizacji połączenia z masą oraz dla większej wydajności dla wysokich częstotliwości. Posiadamy szeroką gamę filtrów, które pozwalają na rozwiązanie wielu skomplikowanych problemów EMC.



Filtr do montażu wewn. FN 2410 firmy Schaffner.

Zasilane urządzenia elektroniczne, takie jak przemysłowe konwertery częstotliwości (falowniki) i obrabiarki są doskonałymi aplikacjami do zastosowania filtrów trójfazowych. Dodatkowo takie filtry na rynku przemysłowym są używane do systemów komputerowych oraz w urządzeniach medycznych takich jak rentgeny. Filtry do montażu wewnętrznego posiadają metalową obudowę, dzięki temu występuje bardzo dobre połączenie z uziemieniem dla optymalizacji wydajności dla wysokich częstotliwości.

Dostępne są również wersje trójfazowe z przewodem neutralnym dla napięcia zasilania 690 V AC.



Trójfazowy filtr FN 3270 firmy Schaffner.

Filtry i kondensatory przepustowe oferują szczególnie wysoką skuteczność tłumienia przeciw zaburzeniom za niewielką cenę. Oferując również wysoką tłumienność wtrąceniową dla wysokich częstotliwości - od kilku kHz do kilku GHz. Komponenty te są montowane na pojedynczej fazie, dzięki czemu są łatwe do montażu. Dla układów o wielu wejściach oraz wyjściach zasilania doskonale spełniają swoje zadanie.



Filtr przepustowy FN 7611 firmy Schaffner.

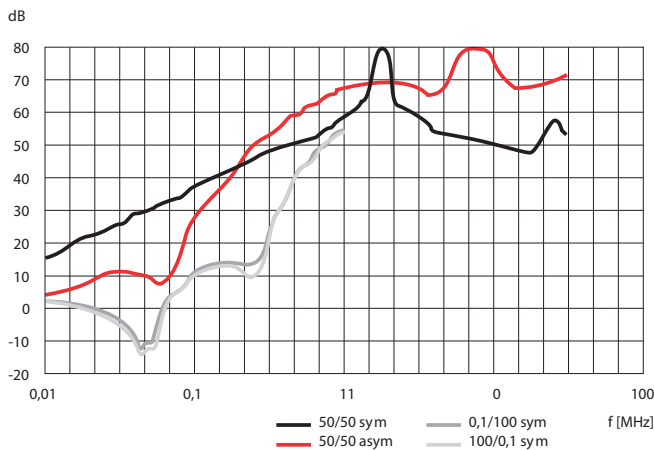
4.5. Tłumienność filtrów

Parametrem charakterystycznym opisującym filtr jest jego tłumienność. Aby zdefiniować tłumienność, należy określić źródło, podłączone obciążenie oraz należy dokonać pomiaru sygnału ze źródła. Następnie powinniśmy zamontować filtr, dokonać pomiaru ponownie. Tłumienność jest wyliczana z dwóch składowych zgodnie ze wzorem:

$$A \text{ [dB]} = 20 \cdot \log \frac{V_1}{V_2}$$

gdzie V_2 i V_1 są rezultatem pomiaru bez i z filtrem. Dokładny pomiar jest opisany w CISPR 17. Impedancja obciążenia i źródła musi wynosić po 50Ω.

Wyniki takiego pomiaru pokazane są na poniższej charakterystyce.



Charakterystyka tłumienia.

Charakterystyka tłumienia produktów firmy Schaffner posiada dodatkowo dwie linie. Tłumienie symetryczne dla obciążenia 0,1 / 100Ω oraz 100 / 0,1Ω. Wykres tłumienności danego filtru nie pokazuje realnych wyników, ponieważ pomiar jest przeprowadzany w warunkach laboratoryjnych.

Pomiary dla różnych impedancji pokazują, że wraz ze zmienną tłumienności zmienia się impedancja. Filtry Schaffner są dodatkowo testowane dla różnych obciążeń aby zagwarantować wysokie parametry (bez nasycenia) w aplikacjach końcowych.

5. Jakość energii

Jakość energii jest zagadnieniem o rosnącym znaczeniu i w wielu miejscach użyteczności publicznej zasilanych elektrycznie jest wymagane dostarczenie zasilania elektrycznego o odpowiednich parametrach (harmoniczne i granice napięcia). Aby to osiągnąć, muszą zostać wprowadzone ograniczenia w stosowaniu różnych typów obciążeń, szczególnie tych, które powodują zniekształcenia przebiegu prądowego.

5.1. Definicja współczynnika PF

W poprzednich rozdziałach dotyczących pomiarów kompatybilności elektromagnetycznej, prezentowaliśmy skutki harmonicznych i odchyłeń napięcia w urządzeniach podłączonych do sieci zasilających. Skutki te mogą być potęgowane przez fluktuacje częstotliwości oraz podobne im zaburzenia związane z sieciami zasilania i częstotliwością.

Sprawność w sieciach zasilających jest generalnie opisywana poprzez współczynnik mocy PF (Power Factor). Poniższa formuła prezentuje wzór, według którego obliczany jest współczynnik mocy:

$$PF = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} \cdot \cos \varphi$$

gdzie:

- $I_{1,rms}$ - wartość RMS składowej podstawowej prądu
- I_{rms} - wartość RMS wszystkich harmonicznych, wliczając podstawową i wyższe harmoniczne prądu.

Im współczynnik PF jest bliższy 1, tym sieć zasilająca jest wydajniejsza.

Kiedy nasze rozważania sprowadzimy na poziom urządzeń i spróbujemy rozpatrywać jakość energii, często napotykamy na inwertery (przetwornice, falowniki) częstotliwości. Układy te są najpowszechniej stosowanymi elementami sterowania silników prądu zmiennego. Obecnie są spotykane we wszystkich strefach przemysłu, np. w aplikacjach takich, jak: różnego rodzaju pompy, systemy wentylacji powietrza, windy i dźwigi, podnośniki, obrabiarki, w alternatywnych źródłach energii oraz w szerokim zakresie innych gałęzi gospodarki i automatyki domowej.

W poszukiwaniu ultra-małych, wydajnych elementów konwersji, producenci inwerterów zastosowali bardzo szybkie układy przełączające półprzewodnikowe (IGBT) oraz układy modulacji szerokości impulsu (PWM). Umożliwiło to wygenerowanie szybko narastających impulsów napięciowych o określonym czasie trwania i polaryzacji. Niestety stworzyło to dużą ilość problemów w urządzeniach (OEM) i układach integratorów, począwszy od czysto funkcjonalnych trudności, po bardziej znaczące kłopoty i zjawiska takie, jak:

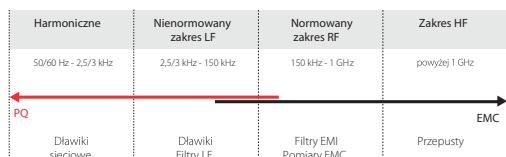
- na wejściu inwertera (falownika):
 - problemy EMC,
 - harmoniczne,
 - zapady komutacyjne,
 - udary i piki prądowe,
 - zakłócenia niskiej częstotliwości.
- na wyjściu inwertera (falownika):
 - nadmierny stosunek dv/dt ,
 - piki i przebiegi,
 - prądy pasożytnicze ziemi,
 - straty na prądy wirowe w silniku,
 - prądy przesunięcia w cewkach,
 - dodatkowe impulsy na obciążeniu inwertera (falownika),
 - szумы akustyczne silnika,
 - inne problemy EMC.
- obwód pośredniczący falownika (DC link):
 - narażenia kondensatora obwodu DC link,
 - harmoniczne,
 - różne inne problemy.
- w całym systemie:
 - niska sprawność / niski współczynnik mocy PF,
 - niska odporność układu
 - niedopuszczalne emisje zaburzeń,
 - niepewne bezpieczeństwo usług wykonywanych przez urządzenie.

5.1.1. Zakresy częstotliwości

Według definicji w normach, kompatybilność elektromagnetyczna związana jest z zakresem częstotliwości od 0 Hz do 400 GHz. Jednakże, obecnie zdefiniowane pozostaje tylko jej wąskie pasmo. Poniżej przedstawiono zakresy określone w normach:

- 50 / 60 Hz - 2,5 / 3 kHz - dla głównych harmonicznych w zależności od częstotliwości sieciowej,
- 150 kHz - 30 MHz - dla emisji przewodzonej,
- 30 MHz - 1 GHz - dla emisji promieniowanej,
- 9 - 150 kHz - dla pewnych urządzeń (emisja przewodzona),
- 1 GHz - 18 GHz - dla niektórych urządzeń przemysłowych (emisja promieniowana),
- 1 GHz - 40 GHz - dla niektórych urządzeń telekomunikacyjnych (emisja promieniowana).

W powyższych punktach opuszczono niezdefiniowaną strefę od 2,5 / 3 kHz do 150 kHz. Nie mniej jednak, zakres ten nie jest wolny od zaburzeń; nie jest po prostu regulowany w normach. W chwili, gdy nadmierne zaburzenia będą doprowadzane do nieodpornego urządzenia - będą one, z pewnością, prowadzić do problemów z jego funkcjonowaniem.



Pasmo niższych częstotliwości zazwyczaj jest rozumiane jako zakres jakości energii (PQ - Power Quality). Jednakże, warto zauważyć, że na powyższym rysunku oba zakresy: PQ i EMC nachodzą na siebie. Jest to powodem tego, że zakres EMC jest tylko pewną częścią całkowitego pasma PQ.

Ta sama sytuacja jest dla różnych rozwiązań. Filtr dla zakresu emisji przewodzonej od 150 kHz do 30 MHz nie będzie wprost pokrywał tylko tego pasma; będzie natomiast także łagodził skutki zakłóceń dla częstotliwości niższej i nieco wyższej. Powoduje to, że rozwiązania proponowane przez Schaffner mogą służyć producentom do pokrycia tego pasma PQ i EMC, który jest w danej aplikacji wymagany, pokrywając również małe zakresy poniżej i powyżej tych zakresów. Zwiększa to pewność bezawaryjnego funkcjonowania urządzeń zabezpieczonych rozwiązaniami firmy Schaffner.

5.2. Dławiki w układach napędowych

5.2.1. Potrzeba ochrony

Obecnie producenci napędów bezstopniowych (VSD - Variable-Speed Drives) operują na wyjątkowo konkurencyjnych rynkach. Panuje tendencja do oferowania produktów napędowych bez dławików wejściowych, chyba że klient końcowy zażyczy sobie, aby element ten został zastosowany. Użytkownicy często nie są świadomi korzyści, jakie niesie zastosowanie dławika, zarówno dla elektroniki napędowej, jak i zasilacza układu.

Wprowadzenie dławika wejściowego do układu może zaowocować następującymi korzyściami:

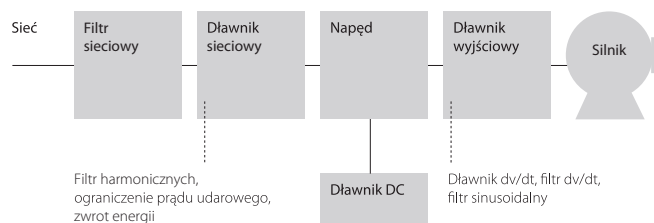
- zabezpieczeniem elektroniki przed nieokreślonymi impulsami wejściowymi powodowanymi przez ładunki generowane w innych miejscach zasilania,
- zapobiegania skutkom wysokich prądów udarowych i redukuje nieokreślone ładunki pochodzące od komponentów wejściowych,
- zwiększa współczynnik szczytu VSD, zmniejsza straty linii zasilającej,
- kontroluje emisję harmonicznych prądu wejściowego,
- kontroluje wpływ zapadów komutacyjnych w zasilaczach,

- chroni i wydłuża życie kondensatorów obwodu pośredniczącego falownika VSD,
- redukuje zakłócenia różnicowe zjawisk niskoczęstotliwościowych do kilkuset kHz.

5.2.2. Przegląd zastosowań

Dławiki i filtry mogą być stosowane w wielu różnych aplikacjach układów napędowych: w linii z wejściem zasilania (dławiki sieciowe), w obwodach DC link pomiędzy prostownikiem, a kondensatorem (dławik obwodu pośredniczącego falownika) oraz na wyjściu napędu silnika (dławiki silnikowe).

Dławik w każdym z tych układów powoduje określone skutki, które wzajemnie się wykluczają. Ogólnie rzecz biorąc, nie jest niezbędnym zastosowanie dławika, zarówno na wejściu zasilania, jak i po stronie obwodu DC link, dlatego warto pamiętać, że funkcje wejściowego dławika sieciowego są zupełnie różne, niż filtra na wyjściu napędu i pozostaje bardzo sensownym zastosowanie obu w powyższym układzie napędowym.



Możliwe umiejscowienie dławików w układzie napędowym.

5.2.3. Wejście

Zastosowanie dławika na wejściu zasilacza będzie miało dwie zasadnicze korzyści: ochroni elektronikę napędu przed zaburzeniami mocy oraz ochroni zasilacz od zaburzeń generowanych przez sam napęd.

Tłumienie harmonicznych

Trójfazowe wejście prostownika z kondensatorem powoduje nieciągłości prądu. Kiedy napięcie wejściowe na którejkolwiek parze diod jest większe, niż napięcie w obwodzie pośredniczącym falownika utrzymywane na kondensatorze przez element ten przepływa prąd i powoduje jego ładowanie. Kiedy napięcie wejściowe jest mniejsze, diody blokują prąd wejściowy i kondensator dostarcza prąd z linii DC link. Powoduje to charakterystyczny „podwójny puls” prądu wejściowego od każdej z trzech faz, które z kolei akumulują się w obwodzie pośredniczącym i dają serię unipolarnych pulsów prądu na sześć cykli częstotliwości wejścia (300 Hz w aplikacjach EU).

Nieciągły prąd fazowy jest pełen zakłóceń, w tym harmonicznych 50 Hz. Współczynnik zawartości harmonicznych THD jest zazwyczaj w zakresie od 90% do 150%. Dominujący wpływ na współczynnik THD mają harmoniczne: 5-ta, 7-ma, 11-sta i 17-sta.

Skutki tych harmonicznych w zasilaczach i ostatecznie w innych aplikacjach użytkowników są różnorodne:

- przeciążenia transformatorów i przewodów neutralnych spowodowane przez nadmierne prądy pomiędzy przewodem zerowym i fazowym,
- przegrzewanie kondensatorów korekcji współczynnika mocy powodowane przez prądy wysokiej częstotliwości,
- straty przewodzone będące skutkiem efektu naskórkowości przy wyższych częstotliwościach,
- zniekształcenia napięcia, wzmocnione w odległych punktach sieci w wyniku rezonansów,
- problemy bezpośredniego rozruchu silników indukcyjnych w częstotliwościach harmonicznych,
- zakłócenia akustyczne i elektryczne w częstotliwościach audio,
- zwiększenie prądów upływu do uziemienia spowodowane przez pojemności filtrów EMI.

Relacje pomiędzy U_k i redukcją harmoniczných.

Numer harmoniczej	Impedancja wejściowa U_k w % vs pozostałe harmoniczne										
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	80	60	46	40	34	32	30	28	26	24	23
7	60	37	22	16	13	12	11	10	9	8,3	7,5
11	18	12	9	7,4	6,3	5,8	5,2	5	4,3	4,2	4
13	10	7,5	5,8	4,9	4,2	3,9	3,6	3,3	3,15	3	2,8
17	7,3	5,2	3,6	3	2,4	2,2	2,1	0,9	0,7	0,5	0,4
19	6	4,2	2,8	2,2	2	0,8	0,7	0,4	0,3	0,25	0,2
THID	102,5	72,2	52,3	44,13	37,31	34,96	32,65	30,35	28,04	25,92	24,68

W energii dostarczanej w przemyśle powyższe skutki są oczywiście mocno zredukowane. Obecnie w wielu krajach wymaga się od dostawców energii elektrycznej zapewnienia energii o gwarantowanej jakości. Możliwe jest to tylko w przypadku kontroli emisji zakłóceń użytkownika.

Wyjątkowo ważnym aspektem pozostaje poznanie międzynarodowych norm dla urządzeń działających na różnych prądach fazowych, m.in. normy IEC 61000-3-2 (<16 A na fazę), normy IEC 61000-3-12 (prąd fazy w przedziale 16 - 75 A). W Stanach Zjednoczonych zakres harmoniczných pokryty jest przez normę IEEE 519. Wymagania te dla układów wejściowych obwodów trójfazowych są interesujące z punktu widzenia działania dławików sieciowych. Indukcyjność dławika zmniejsza tempo narastania każdego indywidualnie prostokątnego pulsu oraz kontynuuje dostarczanie prądu (kilka ms), gdy poziom napięcia wejściowego spadnie poniżej poziomu napięcia linii DC link. Sześć-pulsowy przebieg prądu jest zatem „wygładzany” i staje się ciągły nawet, jeśli indukcyjność jest zbyt duża.

W tym samym czasie redukowany jest szczyt amplitudy prądu. Oznacza to, że współczynnik szczytu fali jest również redukowany, a co za tym idzie, stosunek wartości szczytowej do wartości RMS jest niższy. Ma to wiele korzyści, wliczając mniejsze narażenia kondensatora pojemnościowego oraz większą niezawodność. Tłumienie harmoniczných jest wprost związane z wartością indukcyjności w obwodzie. Odkąd dławiki Schaffnera określane są jako procentowy spadek napięcia, możemy powiązać tenże spadek z tłumieniem harmoniczných, co przedstawiono w powyższej tabeli. Jak możemy zobaczyć, czteroprocentowa indukcyjność daje znacznie lepszą tłumienność harmoniczných, niż dwuprocentowa, ale uzyskane jest to kosztem większego spadku napięcia i większych gabarytów elementów. Dla uzupełnienia standardowych dławików sieciowych i filtrów harmoniczných, Schaffner oferuje także różne mieszane rozwiązania dla redukcji harmoniczných.

5.3. Rozwiązania wyjściowe dla napędów

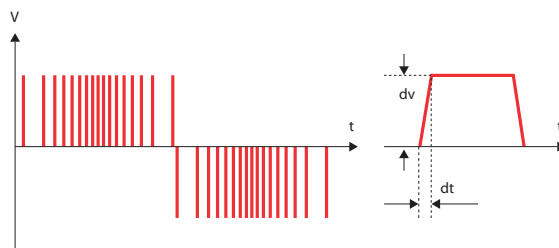
Poniżej przedstawione trendy na rynku napędów mogą mieć olbrzymie skutki na niezawodność całych systemów napędowych oraz sposobów jej zapewnienia. Są to m.in.

- miniaturyzacja silników i ich napędów, często kosztem oszczędności izolacji w uzwojeniach silnika,
- modernizacja napędów silników w istniejących układach złożonych ze starszych silników i nieekranowanych przewodów,
- dążenie w kierunku wysokoobrotowych prędkości maszyn o małej masie,
- innowacyjna technologia silników niskoprędkościowych z dużą ilością biegunów.

Napędy są znanym źródłem zaburzeń, dlatego też zostają zazwyczaj wyposażane w filtr wejściowy. Niemniej jednak, większość projektantów nie jest świadomych problemów po stronie wyjścia, na które to falownik dostarcza sygnał zmodulowany. Niektóre z typowych problemów na wyjściu zostały opisane poniżej

5.3.1. dv/dt - stromość narastania impulsu

Aby utrzymać straty w przetwornicy częstotliwości na odpowiednim poziomie konieczne jest utrzymanie czasów przełączania układów półprzewodników mocy na tak niskim poziomie, jak jest to możliwe. W rezultacie w najnowszych układach IGBT czasy narastania są czasami większe niż 12 kV/μs, podczas gdy - w zależności od silnika - stosunek dv/dt jest dozwolony na poziomie do 1 000 V/μs (VDE 0530: 500 do 1 000 V/μs).



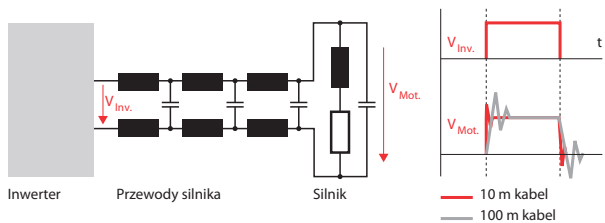
Definicja dv/dt .

W przypadku krótkich przewodów silnika do około 20 m, czasy narastania - z powodu małej indukcyjności przewodów - zależą w pełni od izolacji uzwojeń silnika. W zależności od struktury cewek silnika przewody, które są przewodnikiem, są usytuowane równolegle i kolejno, jeden za drugim.

Ponieważ nawet bardzo krótkie, równoległe położone przewody wykazują cechy pojemnościowe, stałe skoki potencjału powodują w przebiegu napięcia (pole reversal) straty poprzez izolację uzwojenia. Jeśli izolacja emaliowana jest zanieczyszczona nawet w niewielkim stopniu, powoduje to powstanie tak zwanych „hot-spot” (gorących punktów), które wcześniej lub później zniszczą izolację uzwojenia. W każdym razie, nieprawidłowy stosunek dv/dt prowadzi do przedwczesnego starzenia się i dalej do skrócenia żywotności silnika.

5.3.2. Przepięcia i piki napięciowe

Przepięcia i piki napięciowe mogą pochodzić od wysokich wartości dv/dt , ale są także problemem dla samego stosunku dv/dt . Struktury uzwojeń powodują, że silnik działa w układzie ekwiwalentnym jak kondensator, narażony na szybkie impulsy napięciowe o częstotliwości przełączania. Z każdym dodatkowym metrem przewodu silnika zwiększa się indukcyjność przewodu, działając jak dławik (według zasady zachowania energii). Jeśli dławiki są wystawione na działanie impulsów napięciowych, wartości szczytowe wypadają zawsze podczas załączania i wyłączania. Większa pojemność energetyczna (indukcyjność) dławika powoduje zwiększenie wartości szczytowych napięcia. Innymi słowy, dłuższe przewody silnika zwiększają maksimum amplitudy napięcia, a co za tym idzie - amplituda może sięgnąć w pewnym momencie wartości, które spowodują zagrożenie dla izolacji uzwojenia podłączonego silnika. Z powodu indukcyjności przewodów, zbyt duży stosunek dv/dt - w przypadku dłuższych kabli - jest redukowany do mniejszych wartości. Na podstawie teorii linii długiej, wartości szczytowe rzędu 1 600 V lub większe (w zależności od napięcia obwodu DC link) mogą być powodowane przez odbicia w przewodach. Mogą one mieć bardzo strome zbocza dv/dt . Według VDE 0530 zalecane są wartości szczytowe mniejsze od 1 000 V.



Uproszczony równoważny obwód przewodów ekranowanych.

Proszę zauważyć, że rysunek powyżej prezentuje obwód równoważny tylko dla jednej fazy.

5.3.3. Dodatkowe straty w silniku

Oprócz problemów z izolacją uzwojeń, duże stromości przełączania tworzą inne zjawisko: harmoniczne sygnały wyjściowe. Stosując analizę Fouriera można matematycznie udowodnić, że spektrum harmonicznych prądów silnika ogólnie zależy od stromości pulsów, a dokładniej - zawartość harmonicznych wzrasta. Tętnienia prądu (PWM i harmoniczne) powodują dodatkowe straty magnetyczne w silniku. Żywotność silnika jest systematycznie skracana poprzez stały wzrost temperatury działania.

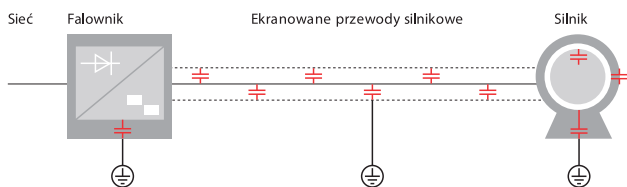
5.3.4. Ekran kablowe oraz prądy pasożytnicze ziemi

Z punktu widzenia tłumienia EMI, aby uniknąć ponownego sprzężenia zaburzeń promieniowanych do przewodu zasilającego w zakresie częstotliwości od 1 do 30 MHz, wymagane są ekranowane przewody silnikowe. Ten sposób poprawy EMC może być uważany za skuteczny wyłącznie, jeśli końce przewodu ekranu silnika są uziemione, co sprawia, że prądy zaburzeniowe mogą płynąć z powrotem do źródła najkrótszą drogą.

Konwertery częstotliwości zazwyczaj pracują w sieciach uziemionych i nie mają żadnej separacji potencjałowej. Geometryczne rozmieszczenie falownika oraz tych ekranowanych przewodów silnika tworzą pojemności pasożytnicze pomiędzy elektrycznie przewodzącymi komponentami, a potencjałem ziemi. Jeśli napięcie DC jest „pocięte” w falowniku, wówczas podczas skoków napięcia, znaczne impulsy prądowe płyną poprzez pojemności pasożytnicze do ziemi. Poziom zaburzeń prądowych w przewodach ekranowanych zależy wprost proporcjonalnie od stosunku dv/dt , podobnie jak wartość pojemności pasożytniczych ($I = C \cdot dv/dt$).

Widmo harmonicznych tych prądów może sięgnąć zakresu wielu MHz. Ekran przewodu silnikowego, który jest w formie splotu oferuje bardzo dużą powierzchnię i wystarczający przekrój, aby umożliwić przenoszenie tych prądów. W rezultacie impedancja ekranu dla szerokiego zakresu częstotliwości ma naturę niskoimpedancyjną. Straty powodowane przez efekt naskórkowości dzięki dużej powierzchni są ograniczone do minimum. Niedostateczne (niepełne) połączenia uziemiające przewodu ekranu (tzw. „warkocz”) posiadają dużą rezystancję dla rozpatrywanego zakresu częstotliwości i często likwidują zakładany efekt ekranowania. Jeśli równolegle położone przewody sterujące lub elektroniczne komponenty są umiejscowione w sąsiedztwie przewodów silnikowych, przepływ wysokoczęstotliwościowego prądu poprzez te przewody, może skutkować powstawaniem pojemności pasożytniczych, które z kolei mogą mieć niekorzystny wpływ na to sąsiadujące urządzenie (droga sprzężenia pojemnościowego).

Jeśli sąsiadujące komponenty są umiejscowione w bezpośrednim otoczeniu przewodów silnikowych, pętle przewodników oraz wysokie wartości di/dt prądów ekranowanych skutkują także w sprzężeniach magnetycznych, które dalej mogą wpływać niekorzystnie na inne elementy obwodu.



Pojemności pasożytnicze w układach napędowych.

Prądy płynące poprzez ekran muszą przechodzić również przez falownik częstotliwości. Nie zależą od mocy napędu lecz tylko od geometrycznej struktury rozmieszczenia elementów napędu.

Działanie wielu silników połączonych równolegle do jednego konwertera może być problematyczne. Równoległe połączenie wielu ekranowanych przewodów skutkuje stosunkowo wysoką pojemnością całkowitą oraz w takim samym stopniu dużymi prądami ekranu. Zatem połączenie równoległe wielu napędów jest związane z jeszcze większą ilością problemów. Prądy pasożytnicze płyną poprzez silnik i mogą znacznie wpłynąć na niezawodność pracy całego układu (prądy te muszą być pokryte przez falownik, zatem musi on być przewymiarowany).

5.3.5. Uszkodzenia łożysk

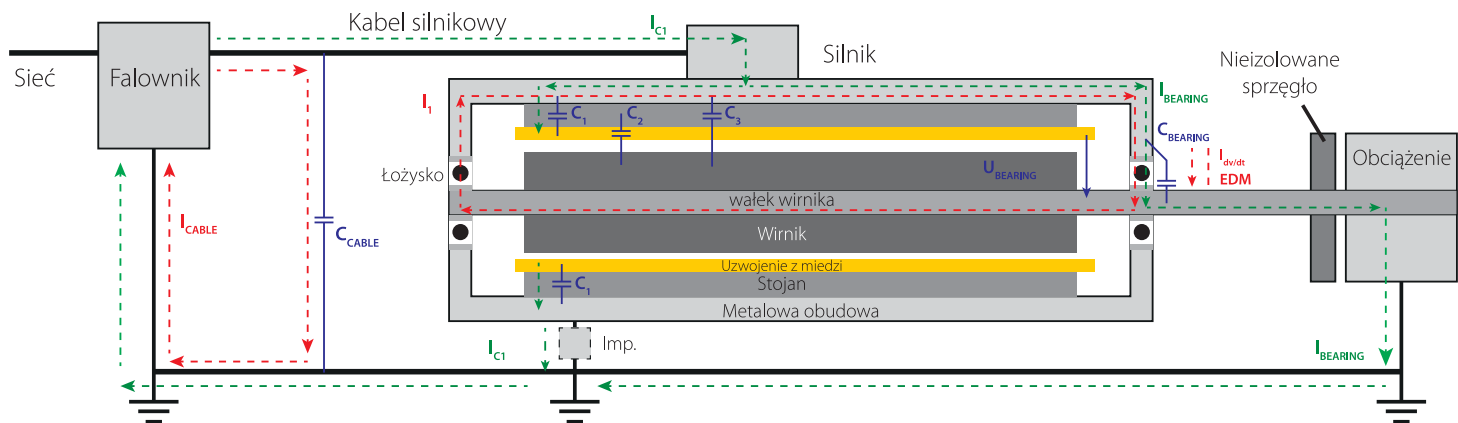
Na uszkodzenia łożysk wpływają dwa różne zjawiska fizyczne:

- napięcie wirnika jest napięciem indukowanym, które tworzy się na wirniku silnika w wyniku różnic w gęstości strumienia stojana i wirnika. Głównym parametrem, który wpływa na jego poziom jest długość silnika. Tak długo, jak smar w łożyskach pozostaje nienaruszony, napięcie rośnie i ostatecznie, kompensuje prądy płynące do ziemi. W tym przypadku, ścieżka najmniejszej rezystancji wypada przez łożyska silnika. Prąd łożyskowy płynący przez dłuższy okres czasu przez łożyska wysusza smar, powodując w następstwie uszkodzenie silnika. Istnieje sposób na przeciwdziałanie temu zjawisku. Stosuje się wtedy łożyska ceramiczne (nieprzewodzące).
- Napięcie łożyskowe jest napięciem asymetrycznym (common-mode), które pojawia się w wyniku sprzężeń pojemnościowych pomiędzy obudową, stojanem i wirnikiem silnika (C1, C2 i C3). W rezultacie powoduje powstanie dv/dt i elektrostatycznych prądów rozładowczych ($I_{dv/dt}$ oraz I_{edm}), które płyną przez łożyska ($C_{bearings}$, $U_{bearings}$). Patrząc na problem dokładniej, napięcie łożyskowe tworzy dwa różne prądy: w pierwszych minutach działania, tak długo jak smar jest zimny, prąd w zakresie 5 - 200 mA ($I_{dv/dt}$), indukowane przez dv/dt płyną przez $C_{bearing}$. Są to raczej nieistotne prądy, które nie powodują żadnych uszkodzeń w łożyskach silnika. Po pewnym krótkim czasie, gdy smar zostaje podgrzany, prądy sięgają poziomów szczytowych rzędu 5 - 10 A (I_{edm}). Przeskoki prądu pozostawiają po sobie małe dziurki w powierzchni łożyska. Pracujące kulki łożyska stają się coraz bardziej szorstkie, zmniejszając tym samym żywotność samego łożyska. Typowe napięcie łożyskowe jest w zakresie od 10 do 30 V. Niestety wartość tego parametru zależy od napięcia sieciowego, zatem również uszkodzenia łożysk będą zależeć wprost proporcjonalnie do napięcia w sieci.

W przypadku przewodów silnikowych nieekranowanych, pojemność kablowa (C_{cable}) oraz związany z nią prąd (I_{cable}) są relatywnie małe. Znacznie większe są od nich pojemności pasożytnicze wewnątrz silnika. W idealnym przypadku prądy pasożytnicze płyną przez obudowę silnika do ziemi (I_{c1}). Jednakże, gdy uziemienie silnika jest nieodpowiednie, wprowadza to dodatkową impedancję, która ogranicza prąd (I_{c1}). Innym skutkiem dodatkowej impedancji jest gwałtowny wzrost potencjałów na kondensatorach C2, C3 i $C_{bearing}$. Wartości prądów łożyskowych również znacznie wzrastają, płynąc całą swoją wartością poprzez łożyska do ziemi, zmniejszając czas życia łożysk kulkowych oraz całego silnika do kilku godzin.

5.3.6. Poziomy zakłóceń akustycznych

W porównaniu z poprzednio opisywanymi problemami, zakłócenia akustyczne w postaci świstów w silniku - powodowane przez częstotliwość przełączającą, będą wydawać się mało istotne. Jednakże, w aplikacjach związanych z grzaniem, podgrzewaniem, wentylacją i technologią klimatyzacyjną (air-conditioning technology HVAC), w których hałas jest rozpraszany intensywniej po całym budynku poprzez kanały powietrzne i rury grzejne, ten punkt nie może zostać pominięty i musi być wzięty pod szczególną uwagę w trakcie projektowania układu.



5.3.7. Rozwiązania dla problemów na wyjściu

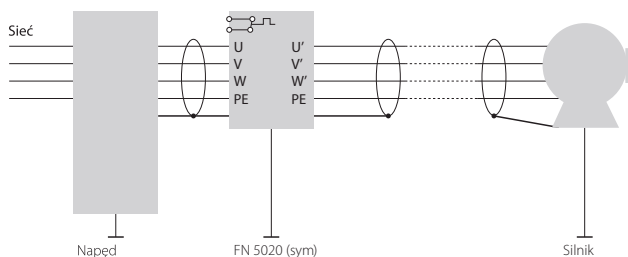
Z powodu kosztów, czasu i przestrzeni pierwszym sposobem rozwiązania problemów jest próba bez dodatkowych komponentów. Jednakże, późniejsze koszty spowodowane uszkodzeniami silnika i układu są często całkowicie nieproporcjonalne do dużo niższych, początkowych kosztów prewencyjnych pomiarów zaburzeń.

Aby zwiększyć niezawodność i bezpieczeństwo działania urządzeń, Schaffner proponuje na rynku poniższe typy komponentów:

- dławiki dv/dt oraz filtry (niższa indukcyjność),
- dławiki silnikowe (zwiększona indukcyjność, lepsze wygładzanie sygnału, ale brak możliwości stosowania w dowolnych układach kontroli napędów),
- sinusoidalne filtry wyjściowe (duża indukcyjność i pojemność, optymalizujące sygnał wyjściowy, ale również brak uniwersalności zastosowań).

Tradycyjne symetryczne sinusoidalne filtry wyjściowe - FN 520, FN 5010 i FN 5020.

Wyżej wymienione tradycyjne filtry wyjściowe są dolnoprzepustowymi filtrami LC, które przekształcają sygnał PWM przetwornicy częstotliwości między fazami w wygładzony przebieg sinusoidalny. Tętnienia szczytowe sygnału mogą zostać dostrojone manewrując wartościami L i C. Optymalny stosunek koszty - korzyści jest często osiągnięty dla tętnień napięcia od 3 - 5%.



Napęd z symetrycznym filtrem wyjściowym.

Symetryczne sinusoidalne filtry wyjściowe połączone bezpośrednio do wyjściowego konwertera mają, przede wszystkim, poniższe zalety:

- kompletna ochrona silnika od dv/dt i przepięć,
- redukcja dodatkowych strat magnetycznych oraz strat prądów wirowych w silniku,
- redukcja zakłóceń akustycznych,
- redukcja zniekształceń potencjału pochodzących od ekranowanych przewodów silnikowych,
- zwiększenie niezawodności i bezpieczeństwa działania całego układu.

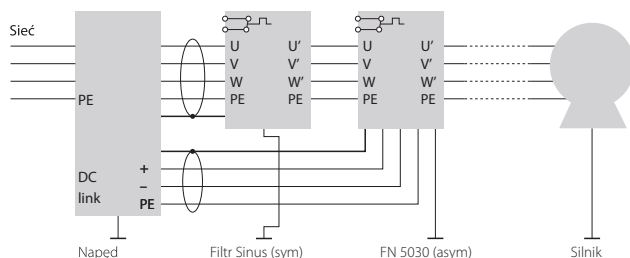
Dla większości aplikacji, zastosowanie sinusoidalnego filtra wyjściowego będzie idealnym sposobem skutecznie rozwiązującym większość problemów oraz kształtującym sygnał sinusoidalny przy wykorzystaniu proporcjonalnie niedużych nakładów pieniężnych.

W niektórych przypadkach konieczne są dodatkowe pomiary. Symetryczne filtry wyjściowe, pomimo wszystkich swoich zalet, nie są zdolne rozwiązać niektórych problemów, które pomimo zastosowania filtra, nadal będą występować. Są to przede wszystkim:

- uszkodzenia spowodowane przez prądy łożyskowe,
- pasożytnicze prądy ziemi,
- konieczność stosowania kabli ekranowanych,
- ograniczenie maksymalnej długości przewodów silnikowych.

Sinusoidalne filtry wyjściowe - asymetryczne i symetryczne Sinus Plus - FN 530, FN 5020 z dodatkowym modułem FN 5030.

Sinus Plus to wysoko rozwinięty modułowy filtr sinusoidalny produkcji Schaffner, który na obecną chwilę jest unikatowy na rynku filtrów przeciwzakłóceńowych. Składając się z tradycyjnego filtra symetrycznego oraz z dodatkowego asymetrycznego modułu sinusoidalnego, może zostać dokładnie przystosowany do różnych wymagań. Dzięki nowatorskim obwodom oraz dodatkowemu połączeniu do sieci pośredniczącej DC link, dodatkowy moduł jest zdolny do wysyłania asymetrycznych zaburzeń dokładnie do miejsc, w których zostały one zapoczątkowane.



Napęd z modułami filtra symetrycznego i asymetrycznego.

Filtr Sinus Plus powinien być rozpatrywany zawsze jako system modułowy, w którym część filtra symetrycznego (FN 5020) może być podłączona autonomicznie, a część asymetryczna może być podłączona tylko razem z modułem symetrycznym. Filtr FN 530 łączy oba rozwiązania w jednej obudowie. Rozwiązanie to daje następujące korzyści:

- całkowitą eliminację wpływu prądów łożyskowych,
- możliwość użycia nieekranowanych przewodów bez jakichkolwiek uszczerbków w odporności,
- praktycznie brak ograniczeń w maksymalnej długości przewodów,
- prawie zupełną eliminację impulsów prądowych do ziemi,
- brak jakiegokolwiek wpływu zakłóceń na sąsiadujące kable i urządzenia,
- eliminację dodatkowych strat w przetwornicy częstotliwości,
- redukcję skutków zakłóceń na stronie wejścia.

Odkąd przetwornice częstotliwości zaczęły pracować w sieciach uziemionych, każdy pomiar po stronie wyjścia wpływa także na stronę wejściową (i odwrotnie).

II. ADNOTACJE DO SPECYFIKACJI FILTRÓW

1. Parametry filtrów

1.1. Parametry Elektryczne

Wszystkie wartości elementów podane przez katalog są wartościami znamionowymi. Rzeczywiste wartości mogą się różnić od podanych w katalogu zgodnie z tolerancją podaną przez producenta elementu. Tolerancje i warunki testu elementów podane są w tabeli poniżej.

Parametr	- tolerancja	+ tolerancja	Warunki testu
Indukcyjność	30%	50%	1 kHz
Pojemność	20%	20%	1 kHz
Rezystancja	10%	10%	DC

1.1.1. Prąd

Parametry prądowe filtrów EMI wynikają z elementów filtra. Ponieważ płynący prąd powoduje wzrost temperatury elementów biernych, temperatura otoczenia w miejscu docelowego zainstalowania filtra ma bezpośredni wpływ na parametry prądowe

Prądy znamionowe podane w katalogu i na obudowie filtra odnoszą się do temperatury otoczenia $\Theta_N = 40^\circ\text{C}$ lub $\Theta_N = 50^\circ\text{C}$. Maksymalny prąd roboczy filtra dla dowolnej temperatury otoczenia można wyliczyć z poniższego wzoru:

$$I = I_N * \sqrt{\frac{\Theta_{\max} - \Theta_{\text{act}}}{\Theta_{\max} - \Theta_N}}$$

Gdzie I_N Prąd znamionowy przy Θ_N
 Θ_{act} Aktualna temperatura otoczenia
 Θ_N Temperatura, do której odnosi się prąd znamionowy
 Θ_{\max} Maksymalna dopuszczalna temperatura pracy filtra

Jeśli filtr o prądzie $I_N = 7 \text{ A}$ w $\Theta_N = 50^\circ\text{C}$ i maksymalnej dopuszczalnej temperaturze pracy $\Theta_{\max} = 100^\circ\text{C}$ ma zostać zainstalowany w miejscu, gdzie temperatura otoczenia $\Theta_{\text{act}} = 65^\circ\text{C}$, to jego prąd znamionowy należy zredukować do wartości $I_{N,65^\circ\text{C}} = 5,9 \text{ A}$.

Rzeczywisty prąd może również przekroczyć wartość prądu znamionowego w pewnym okresie czasu. Dokładną specyfikację można znaleźć w kartach katalogowych każdego z filtrów.

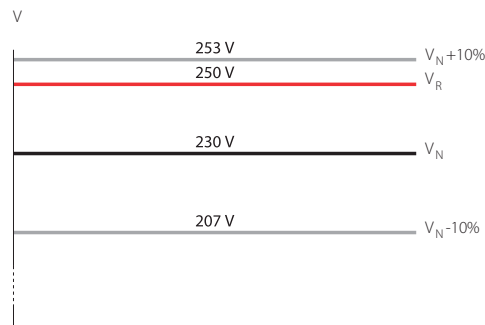
1.1.2. Napięcie

Analizując parametry napięciowe należy zwrócić szczególną uwagę aby nie pomylić parametrów napięciowych filtrów z napięciem znamionowym sieci zasilającej.

Najbardziej popularne poziomy napięć znamionowych opisane są w normie IEC 60038. Przykładowo w Europie sieć zasilająca ma określone napięcie znamionowe na poziomie $230 \text{ V} \pm 10\%$. Zatem maksymalne napięcie na zaciskach będzie wynosiło $230 \text{ V} + 10\% = 253 \text{ V}$.

Napięcie znamionowe filtra określa maksymalne ciągłe napięcie zasilania (czyli maksymalne napięcie, przy którym filtr może pracować w sposób ciągły). Krótkie przepięcia są dozwolone zgodnie z normą IEC 60939, ale aby uniknąć uszkodzenia kondensatorów filtra napięcie ciągłe w długim okresie czasu nie powinno przekroczyć napięcia znamionowego.

Napięcie znamionowe sieci (+10%) może przekroczyć napięcie znamionowe filtra, jak pokazano na wykresie powyżej. Warto jednak zaznaczyć, że napięcie znamionowe sieci określa się na odpowiednim poziomie w granicach $\pm 10\%$, a nie na poziomie granicznym. Można zatem stwierdzić, że sieć zasilająca nie będzie pracować przy napięciu 253 V w sposób ciągły.



V_N znamionowe napięcie sieci V_R znamionowe napięcie filtra
 Zależności między napięciem znamionowym sieci zasilającej i filtra

Parametry napięciowe zazwyczaj podawane są dla częstotliwości sieciowych 50 / 60 Hz. Jeśli filtr pracuje przy wyższych częstotliwościach (np. 400 Hz) należy ograniczyć napięcie. Szczegółowy opis znajduje się w kolejnym rozdziale.

Napięcie znamionowe filtrów trójfazowych, które można odczytać z tabliczki znamionowej filtra lub z katalogu, czasem prowadzi do nieporozumień w przypadku, gdy podane jest tylko jedno napięcie (np. 480 V AC). Wartość tą należy zawsze rozumieć jako napięcie międzyfazowe (napięcie faza - faza). Odpowiadające mu napięcie fazowe jest $\sqrt{3}$ razy mniejsze, np. $480 \text{ V AC} / \sqrt{3} = 277 \text{ V AC}$.

Napięcia znamionowe najnowszych produktów są oznaczone zarówno napięciem międzyfazowym, jak i przewodowym np. 480 / 277 V.

1.1.3. Częstotliwość

W zależności od rodzaju filtra możemy wyróżnić trzy różne zakresy częstotliwości:

Częstotliwości sieciowe. Częstotliwości sieci zasilającej AC, zazwyczaj 50 lub 60 Hz. Częstotliwość robocza filtra określona jest przez odpowiednio dobrane kondensatory. W zależności od charakterystyki napięciowo-częstotliwościowej kondensatora, istnieje możliwość pracy filtra przy wyższych częstotliwościach, ale przy zmniejszonym napięciu.

Częstotliwości przełączania (kluczowania). Częstotliwości używane do przełączania tranzystorów IGBT w stopniu wyjściowym przemienników częstotliwości (falowników) lub zasilaczy impulsowych (SMPS). Częstotliwość ta jest bezpośrednio powiązana ze stratami mocy w przemienniku i w elementach na jego wyjściu. Ogólnie rzecz ujmując, niższa częstotliwość przełączania oznacza mniejsze straty. Dla filtrów wyjściowych należy również wziąć pod uwagę związek między częstotliwością przełączania, a częstotliwością rezonansową filtra. Nasze filtry są zawsze tak projektowane, aby częstotliwość rezonansowa była przynajmniej 2,5 razy niższa, niż najniższa częstotliwość przełączania.

Częstotliwości silnikowe. Symulowana przez przemiennik częstotliwości zasilająca napęd elektryczny. Częstotliwość ta określa prędkość obrotową silnika. Większość aplikacji pracuje przy częstotliwościach silnikowych 50 / 60 Hz (częstotliwość wirowania pola), ale istnieją również napędy o większej częstotliwości silnikowej (np. wysokoobrotowe napędy wrzecion pracują do 200 Hz).

1.1.4. Rezystancja DC

Rezystancja DC filtra jest rezystancją zmierzoną przy odpowiedniej częstotliwości sieci zasilającej (50 Hz w Europie) w danej temperaturze (najczęściej 25°C).

1.1.5. Rezystory rozładowcze

Rezystory rozładowcze są podłączone równolegle z kondensatorami filtra w celu ich rozładowania po odłączeniu od sieci zasilającej i usunięcia zgromadzonego ładunku na zaciskach filtra. Zgromadzony ładunek może powodować

śmiertelne zagrożenie życia, dlatego rezystory rozładownicze są wymagane przez normy bezpieczeństwa. Ogólnie mówiąc, rezystory o wysokiej rezystancji powoli rozładują kondensatory po odłączeniu filtra od sieci.

Jeżeli filtr docelowo ma być używany w sieciach typu IT, rezystory rozładownicze nie są zalecane. W sieciach IT stan izolacji jest zazwyczaj monitorowany w celu wykrycia uszkodzenia. Rezystory rozładownicze mogą zakłócić pracę układu pomiarowego powodując mylne zadziałanie zabezpieczeń.

1.1.6. MTBF

Współczynnik MTBF (Mean Time Between Failures) oznacza średni czas między awariami. Wskazuje nam jak często dany element ulega uszkodzeniu. Współczynnik określa statystyczny udział procentowy urządzeń, które uległy uszkodzeniu w pewnym okresie czasu. Zatem współczynnik MTBF zmienia się w czasie, ponieważ niezawodność elementu maleje wraz ze starzeniem się elementu. Podane w tym katalogu współczynniki MTBF obliczone są zgodnie z normą MIL-HB-517F.

Współczynnik MTBF nie powinien być mylony z czasem życia produktu. Współczynnik MTBF określa prawdopodobieństwo uszkodzenia w działającym układzie. Obrazowym przykładem może być poduszka powietrzna w samochodzie. Współczynnik MTBF musi być bardzo wysoki, ponieważ w razie konieczności poduszka musi zadziałać nawet w 20 letnim samochodzie. Czas życia poduszki jest jednak znacznie krótszy: rozwinięcie trwa milisekundy i czas życia się kończy.

1.2. Parametry mechaniczne

1.2.1. Tolerancje mechaniczne

Tolerancje mechaniczne na rysunkach z tego katalogu są zgodne z EN 22768-2 (ISO 2768-2). Wszystkie wymiary na rysunkach powinny mieć podane tolerancje. Zamiast określać dla każdego wymiaru tolerancję, wystarczy podać odniesienie do kategorii tolerancji w wyżej wymienionej normie. Ogólne tolerancje podzielone są na kategorie: „dokładna”, „średnia”, „zgrubna” i „bardzo zgrubna”. Tabela poniżej pokazuje tolerancje zgodnie z tymi kategoriami.

Tolerancje mechaniczne

	Pomiar w mm							
	≥0,5	>3	>6	>30	>120	>400	>1 000	>2 000
	... 3	... 6	... 30	... 120	... 400	... 1 000	... 2 000	... 4 000
Kategoria	Tolerancja mierzona w mm							
dokładna f (fine)	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	–
średnia m (medium)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
zgrubna c (coarse)	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
bardzo zgrubna v (very coarse)	–	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

1.2.2 Złącza filtrów i przekroje przewodów

Filtry firmy Schaffner mogą być wyposażone w szereg różnych złącz. Poniżej znajduje się przegląd dostępnych standardowych typów złącz. Na żądanie filtry można wyposażyć w inne rodzaje złącz.

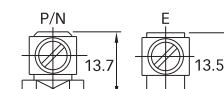
Typ -01 Uszko do lutowania z otworem umożliwiającym przełożenie kilku cienkich przewodów



Typ -02 Pin przystosowany do bezpośredniego montażu przewlekanego na płytce drukowanej.



Typ -03 Złączka śrubowa na śrubę M4, Maksymalny moment: 1,3 Nm



Typ -05 Przemysłowa płaska wsuwka 6,3 x 0,8 mm



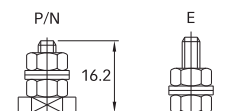
Typ -06 Przemysłowa płaska wsuwka 6,3 x 0,8 mm która może służyć również jako uszko do lutowania



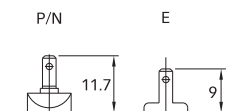
Typ -07 Izolowany przewód, z odizolowanym końcem gotowy do lutowania, różna grubość przewodu dobrana do mocy filtru



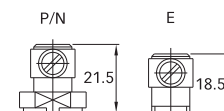
Typ -08, -09, -10
08: śruba M4 (1,3 Nm)
09: śruba M5 (2,2 Nm)
10: śruba UNC 8 - 32 (1,3 Nm)



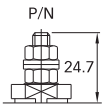
Typ -13 Wsuwka 2,8 x 0,5 mm



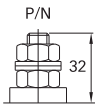
Typ -23 Złączka śrubowa ze śrubą M5
Maksymalny moment: 2,2 Nm



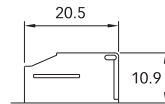
Typ -24 Śruba M6
Maksymalny moment: 4 Nm



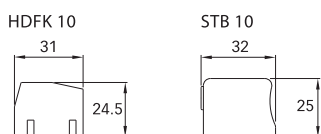
Typ -28 Śruba M10
Maksymalny moment: 18 Nm



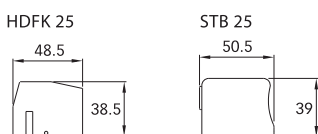
Typ -29 Bezpieczna złączka śrubowa na przewód lity 6 mm², linka 4 mm² lub 10 AWG
Maksymalny moment: 0,8 Nm



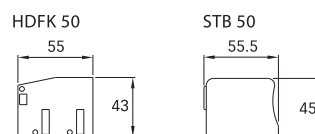
Typ -33 Bezpieczna złączka śrubowa na przewód lity 16 mm², linka 10 mm² lub 6 AWG
Maksymalny moment: 1,8 Nm



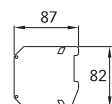
Typ -34 Bezpieczna złączka śrubowa na przewód lity 35 mm², linka 25 mm² lub 2 AWG
Maksymalny moment: 4,5 Nm



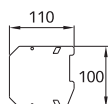
Typ -35 Bezpieczna złączka śrubowa na przewód lity i linkę 50 mm² lub 1/0 AWG
Maksymalny moment: 8 Nm



Typ -36 Bezpieczna złączka śrubowa na przewody 50 mm² lub 4/0 AWG
Maksymalny moment: 20 Nm



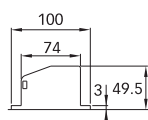
Typ -37 Bezpieczna złączka śrubowa na przewody 150 mm² lub 6/0 AWG
Maksymalny moment: 30 Nm



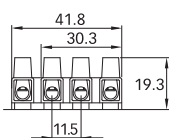
Typ -16, -38 16: wsuwka do lutowania 2,8 x 0,5 mm
38: wsuwka 2,8 x 0,5 mm



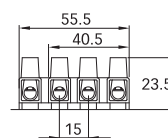
Typ -40 Bezpieczna złączka śrubowa na przewód lity i linkę 95 mm² lub 4/0 AWG
Maksymalny moment: 20 Nm



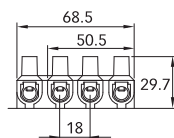
Typ -45, -46 Zestaw złączek śrubowych na przewód lity 6 mm², linka 6 mm² lub 12 AWG
Maksymalny moment: 0,8 Nm



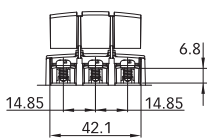
Typ -47 Zestaw złączek śrubowych na przewód lity 16 mm², linka 10 mm² lub 8 AWG
Maksymalny moment: 2,2 Nm



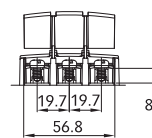
Typ -52 Zestaw złączek śrubowych na przewód lity 25 mm², linka 16 mm² lub 4 AWG
Maksymalny moment: 2,2 Nm



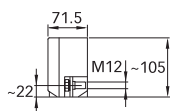
Typ -71 Złączka śrubowa M4 na oczko lub widelczyk do lutowania, z dźwignią podnoszącą
Maksymalny moment: 1,2 Nm



Typ -72 Złączka śrubowa M5 na oczko lub widelczyk do lutowania, z dźwignią podnoszącą
Maksymalny moment: 2,2 Nm



Typ -99 Złączka wysoko prądowa na przewody linkowe 150 mm² lub 6/0 AWG
Maksymalny moment: 30 Nm



Poniższa tabela pokazuje pole przekroju poprzecznego przewodu w systemie metrycznym i AWG.

Charakterystyka przewodów w systemie metrycznym i AWG

Liczba AWG	Cu mm ²
22	0,33
20	0,54
18	0,83
16	1,34
14	2,15
12	3,44
11	4,17
10	5,26
9	6,63
8	8,37
7	10,5
6	13,3

1.2.3. Charakterystyka momentu

Charakterystyka momentu w tabeli powyżej pozwala na uzyskanie gwarancji poprawnego połączenia przy jednoczesnej ochronie złącza przed uszkodzeniem. Odpowiedni moment na złączu powinien być utrzymywany przez cały czas.

1.3. Wymagania środowiskowe

1.3.1. RoHS

Przyjęcie dyrektywy unijnej 2002/95/EC zabrania używania pewnych niebezpiecznych związków chemicznych. Dyrektywa weszła w życie 1 lipca 2006 i od tego dnia żaden nowy element elektryczny lub elektroniczny nie może zawierać zabronionych substancji:

- Ołów (Pb)
- Sześciowartościowy chrom (Cr(VI))
- Rtęć (Hg)
- PBB (polibromowane bifenyle) i PBDE (polibromowane etery bifenylu)
- Kadm (Cd)

Ponieważ całkowite wyeliminowanie tych związków jest praktycznie niemożliwe, decyzją Komisji Europejskiej z dnia 18 sierpnia 2005 (2005/618/EC) dopuszcza się następujące wagowe zawartości w jednorodnym materiale:

- 0,1 % wagi dla a, b, c, d
- 0,01 % wagi dla e

Aneks do dyrektywy 2002/95/EC definiuje następujące wyjątki:

- Ołów jako materiał do produkcji stopów
 - w stali może się zawierać do 0,35% wagi
 - w aluminium może się zawierać do 0,4% wagi
 - w miedzi może się zawierać do 0,4% wagi
- Ołów w szkle używanym w elementach elektronicznych

Schaffner jako uznana światowa firma projektuje i produkuje wszystkie elementy zgodnie z powyższymi wymogami. Wprowadzenie dyrektywy i zgodność z nią jest kluczowym warunkiem i wszędzie tam, gdzie jest to możliwe Schaffner osiągnął dużo niższe poziomy niż wymagane.

Firma Schaffner markuje swoje wyroby znakiem „zgodny z RoHS” oraz „Bezołowiowy” w kartach technicznych, na stronach internetowych i na opakowaniach filtrów.



Znaki „Zgodny z RoHS” oraz „Bezołowiowy”.

1.3.2. Test na wibracje i uderzenia

Filtry firmy Schaffner zachowują swoje parametry mechaniczne pod warunkiem, że będzie prawidłowo zamontowany. Procedura testowa polega na poddaniu filtrów badaniom na wibracje składającego się z sinusoidalnego przemieszczenia od 10 Hz do 55 Hz i z powrotem do 10 Hz przez czas 120 minut. Test przeprowadzony jest w trzech głównych osiach z odchyłką $\pm 0,75$ mm lub 10 stopni. Test na wibracje przeprowadzony jest zgodnie z normą IEC 60068-2-6.

Filtry Schaffner zachowują również swoje wszystkie właściwości po poddaniu testom na uderzenia. 1 000 uderzeń po 10 g każde, trwające przez 16 ms w trzech osiach odpowiednio do instrukcji montażu. Badanie na uderzenia zgodnie z normą IEC 60068-2-29.

1.3.3. Klasyfikacja klimatyczna

Wszystkie elementy muszą pracować w ściśle określonych warunkach klimatycznych. Norma IEC 60068-1 definiuje kategorie klimatyczne i odpowiadające im metody badań. Zazwyczaj kategoria klimatyczna jest oznaczana za pomocą trzech cyfr przedzielonych ukośnikiem, jak pokazano poniżej.

25/100/21

25	Test A: zimno (niższa kategoria temperaturowa) -25°C (zgodnie z IEC 60068-2-1)
100	Test B: suche ciepło (wyższa kategoria temperaturowa) -100°C (zgodnie z IEC 60068-2-2)
21	Test B: wilgotne ciepło (czas trwania testu) 21 dni (zgodnie z IEC 60068-2-78)

Dla środowisk, gdzie standardowe wymagania nie są spełnione (np. woj- skowe), Schaffner może zaoferować rozwiązania specjalne przystosowane do bardziej wymagających środowisk.

2. Wymagania bezpieczeństwa

Większość filtrów podłączana jest do linii zasilającej w powszechnej sieci dystrybucji energii, co pociąga za sobą konieczność spełnienia odpowiednich wymagań bezpieczeństwa. Podczas projektowania filtru należy rozważyć następujące problemy.

2.1. Test typu

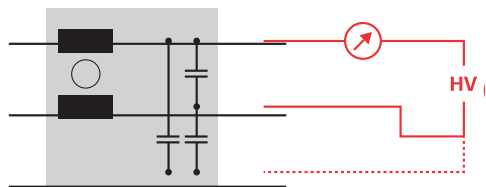
Test typu przeprowadzany jest na próbkę filtru w celu weryfikacji wszystkich wymagań bezpieczeństwa założonych na etapie projektu. Wszystkie testy typu przeprowadzane są zgodnie z odpowiednimi normami. Przy niektórych testach zostały usunięte rezystory rozładowcze. Gdy filtr zabudowany jest już w urządzeniu i przeprowadzany jest test typu należy zwrócić uwagę na poniższe punkty:

- Niektóre z testów mogą przeciążyć rezystory narażając je na uszkodzenia.
- W niektórych przypadkach urządzenie wymaga badania rezystancji izolacji, np EN 60204. Ten rodzaj testu nie może być przeprowadzony z rezystorami rozładowczymi.

W niektórych wyjątkowych przypadkach Schaffner dostarcza próbny filtr bez rezystorów rozładowczych.

2.2. Test wysokonapięciowy (Hipot)

Do budowy filtrów wykorzystuje się elementy, które są włączone między fazy sieci zasilającej lub między fazę a uziemienie. Z tego powodu ważne jest sprawdzenie w jakim stopniu filtr odporny jest na wysokie napięcia. Dlatego przeprowadzany jest test wysoko napięciowy (Hipot test) polegający na włączeniu między obudowę a zacisk lub między zaciski napięcia przez określony czas. Mierzy się prąd płynący między tymi samymi punktami. Jeśli prąd płynie, oznacza to uszkodzenie izolacji - filtr nie przeszedł testu pozytywnie.



Idea testów wysoko napięciowych (hipot).

Podczas certyfikowania filtru test jest zazwyczaj przeprowadzany przez dłuższy czas (zazwyczaj jedna minuta) z określonym poziomem napięcia. Wiele norm bezpieczeństwa wymaga przeprowadzania badania na 100% wszystkich produktów, ale w celu zaoszczędzenia czasu dopuszcza się przeprowadzenie testu wyższym napięciem w krótszym czasie. Należy zaznaczyć, że wielokrotne powtarzanie badania wysokim napięciem może doprowadzić do uszkodzenia izolacji.

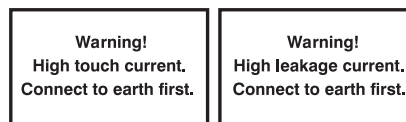
Poziomy napięcia testowego dla 100% produktów zaznaczone są w kartach katalogowych każdego z filtrów. Należy pamiętać, że test wysokim napięciem jest testem znacznie narażającym kondensatory wewnątrz filtru i skracającym ich żywotność. Firma Schaffner wychodzi z założenia, że liczba testów wysokim napięciem powinna być ograniczona do minimum, a poziomy napięć testowych nigdy nie powinny przekraczać wartości podanych w katalogu.

2.3. Prąd upływu

Podczas normalnej pracy urządzeń elektrycznych, pewien prąd płynie przez przewód ochronny do ziemi. Taki prąd, zwany prądem upływu, stwarza potencjalne zagrożenie dla użytkownika i dlatego jest ograniczany do minimum przez aktualne normy bezpieczeństwa. Przykładową normą bezpieczeństwa w urządzeniach techniki informatycznej jest EN 60950-1 lub norma UL 1286 dla pasywnych filtrów EMI. Normy zawierają maksymalny dopuszczalny prąd upływu.

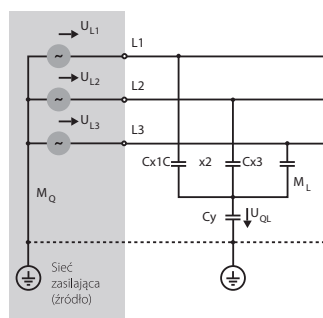
W większości obecnych instalacji znajdują się wyłączniki różnicowoprądowe zabezpieczające obwód przed skutkami nadmiernego prądu upływu. Typowe wartości wyzwalania wyłączników to 30 mA (ochrona człowieka przed porażeniem bezpośrednim) do 500 mA (zabezpieczenia przeciwpożarowe).

Urządzenia, które z zasady działania posiadają stosunkowo duży prąd upływu muszą być wyposażone w specjalną etykietę „Uwaga! Wysoki prąd dotykowy. Najpierw podłączyć do uziemienia.”



Etykieta ostrzegawcza dla urządzeń o dużym prądzie upływu.

Dla pasywnych filtrów EMI bardzo często wylicza się prąd upływu na podstawie wartości kondensatorów połączonych z ziemią i innych elementów pasozytniczych. Poniższy rysunek pokazuje standardową konfigurację kondensatorów. W przypadku symetrycznej struktury kondensatorów prąd upływu będzie pomijalnie mały. Z drugiej strony prąd upływu osiągnie maksymalną wartość przy możliwie największej asymetrii między fazami. Przyczyny asymetrii leżą zarówno w tolerancji wartości kondensatorów jak również asymetrii faz w sieci zasilającej.



Standardowa konfiguracja kondensatorów w filtrze trójfazowym.

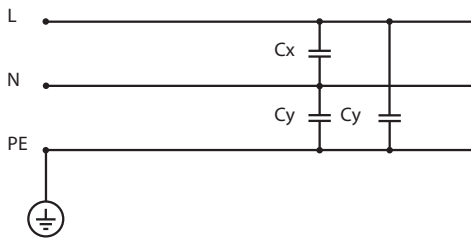
Większość kondensatorów w pasywnym filtrze jest produkowana z tolerancją $\pm 20\%$. Największy spadek napięcia na C_y pojawi się, gdy dwa z kondensatorów C_x będą miały najmniejszą, wynikającą z tolerancji wartość, a pozostałe największą. Dodatkowo zakładamy, że C_y ma największą, wynikającą z tolerancji wartość. Aby zobrazować teorię posłużymy się przykładem obliczeniowym na bazie trójfazowego filtru 480 V. Pojemności kondensatorów wynoszą $C_x = 4,4 \mu\text{F}$ i $C_y = 1,8 \mu\text{F}$, tolerancje wszystkich kondensatorów wynoszą $\pm 20\%$. Pomijając w rozważaniach asymetrię sieci zasilającej wyliczony prąd upływu wyniesie około 23 mA.

Praktyczne doświadczenie pokazuje jednak, że tolerancje kondensatorów nigdy nie są tak skrajne. Bardziej realne jest założenie tolerancji -20% do 0. Przy takim założeniu w analogicznym jak powyżej przypadku prąd upływu wyniesie zaledwie 10 mA. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że do dziś nie ma zgody i ujednoczenia metody obliczeń prądu upływu filtrów. Można zatem znaleźć różne prądy upływu dla pozornie takich samych filtrów, o takim samym schemacie i wartościach elementów.

W powyższych rozważaniach niebrano pod uwagę asymetrii sieci zasilającej. W praktyce każda sieć zasilająca ma pewną asymetrię. Aby uwzględnić asymetrię w obliczeniach posłużymy się normą EN 50160, która określa parametry publicznej sieci zasilającej. Zgodnie z tą normą asymetria sieci zasilającej nie może być większa niż 3%. Uwzględniając ten fakt w powyższych obliczeniach otrzymujemy zwiększony prąd upływu do 26 mA dla kondensatorów o tolerancji $\pm 20\%$ oraz 13 mA dla $+0 / -20\%$.

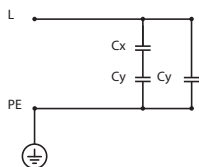
Obliczenia prądu upływu w układach jednofazowych są znacznie prostsze niż w układach trójfazowych. Przy danym napięciu zasilania i częstotliwości, prąd upływu zależy wyłącznie od całkowitej pojemności.

Poniższy rysunek obrazuje typowy układ kondensatorów w układzie jednofazowym.



Standardowy układ kondensatorów w układzie jednofazowym.

Dla danych pojemności $C_x = 100 \text{ nF}$ i $C_y = 2,2 \text{ nF}$, o tolerancji 20%, prąd upływu zbliża się do $190 \mu\text{A}$. Najgorszy przypadek wystąpi wówczas, gdy przerwany zostanie przewód neutralny. Całkowita pojemność będzie się składała z dwóch równoległych kondensatorów: z jednej strony C_{yL} , z drugiej strony szeregowo połączonych C_x i C_{yN} . Przypadek ten ilustruje poniższy schemat zastępczy.



Schemat zastępczy całkowitej pojemności w układzie z przerwanym przewodem neutralnym.

Wspomniano wcześniej, że prąd upływu jest niższy w przypadku symetrycznej sieci zasilającej. Każda asymetria zwiększa prąd upływu. Mając to na uwadze, oczywistym jest że topologia sieci zasilającej ma znaczący wpływ na wartość prądu upływu urządzenia. Topologie sieci zasilającej opisane są w rozdziale „Rodzaje sieci zasilających”. Innym potencjalnym źródłem asymetrii jest moment włączenia urządzenia.

2.4. Klasa palności

Amerykańska agencja certyfikująca UL wymaga testów palności dla wszystkich plastikowych materiałów użytych w urządzeniu po to, by zapewnić, że materiał nie zapłonie w przypadku awarii urządzenia. Dokładne wytyczne opisane są w normie UL 94. Podczas testów próbka plastiku wystawiona jest dwukrotnie na działanie otwartego płomienia. Dokładny opis procedury testowej znajduje się w wyżej wymienionej normie. Podczas trwania testu obserwuje się następujące rzeczy:

- Czas płonienia próbki po pierwszym przyłożeniu otartego płomienia, t_1
- Czas płonienia próbki po drugim przyłożeniu otartego płomienia, t_2
- Czas żarzenia próbki po drugim przyłożeniu otartego płomienia, t_3
- Czy próbka upaliła się aż do klamry mocującej?
- Czy z próbki spadały płonące fragmenty, które rozpały bawełniany wskaźnik?

Bazując na wynikach testu materiał jest klasyfikowany jak pokazano w tabeli poniżej.

Kryteria przypisania materiału do klasy palności według UL

Kryterium	V-0	V-1	V-2
Czas płonienia próbki dla pojedynczej próbki t_1 lub t_2	10 s	30 s	30 s
Całkowity czas płonienia próbki w dowolnych warunkach ($t_1 + t_2$ dla 5 próbek)	50 s	250 s	250 s
Czas płonienia plus czas żarzenia próbki dla pojedynczej próbki po drugim przyłożeniu otartego płomienia ($t_2 + t_3$)	30 s	60 s	60 s
Czas płonienia lub czas żarzenia próbki dowolnej próbki aż do klamry mocującej	Nie	Nie	Nie
Bawełniany wskaźnik zapalony przez spadające płonące fragmenty	Nie	Nie	Tak

2.5. Bezpieczniki

Wszystkie filtry zawierające oprawki na bezpieczniki dostarczane są bez bezpieczników z powodu szeregu różnych rodzajów bezpieczników w różnych krajach. Poniżej opisanych zostało kilka zaleceń dotyczących bezpieczników.

Maksymalny prąd znamionowy w specyfikacji nie zawsze jest wymagającą wartością bezpiecznika. Użytkownik powinien wziąć pod uwagę parametry prądowe w powiązaniu z temperaturą otoczenia. Bezpiecznik musi być dobrany przez użytkownika w zależności od temperatury otoczenia, parametrów wyzwalania, czasu zadziałania (szybki, średni, wolny) i innych parametrów elektrycznych. Oprawki bezpieczników przystosowane są do montażu bezpieczników rurkowych $5 \times 20 \text{ mm}$ w Europie i $6,3 \times 32 \text{ mm}$ w USA. Należy sprawdzić w kartach katalogowych jaki typ bezpiecznika pasuje do danego filtru. Po uzgodnieniu z klientem możemy dostarczyć filtr razem z bezpiecznikiem.

3. Rodzaje sieci zasilających

3.1. Przeznaczenie sieci zasilających

Na świecie spotkać można szereg różnych sieci zasilających. Najbardziej popularne opisane są w normie IEC 60364-1. Rodzaj sieci zasilającej bardzo często ma wpływ na parametry filtru, a niektóre filtry są nawet specjalnie zaprojektowane dla konkretnych rodzajów sieci zasilających po to, aby zapewnić maksimum wydajności i niezawodności. Rodzaje sieci opisane są za pomocą poniższych kodów:

AB (-C -D)	
A	Uziemienie źródła zasilania I: izolowany T: uziemiony
B	Podłączenie instalacji N: podłączony do PE T: bezpośrednio uziemiony
C	Połączenie N i PE C: połączone S: osobne
D	Oznacza, że część systemu ma osobne przewody N i PE

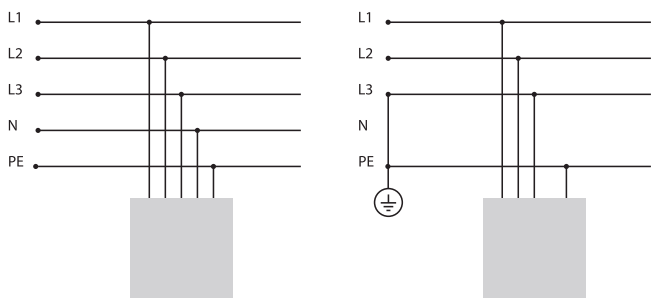
Przykład: Sieć TN-C-S to uziemiona sieć zasilająca, w której instalacja podłączona jest do PE. Przewód PE i N są połączone w PEN, ale w niektórych częściach sieci istnieją osobne przewody PE i N.

3.2. Sieci TN

W sieciach TN jeden punkt sieci jest bezpośrednio połączony z ziemią. Każda instalacja jest podłączona do tego wspólnego punktu uziemienia za pomocą przewodów PE. Istnieją trzy różne odmiany sieci TN.

3.2.1. Instalacje TN-S

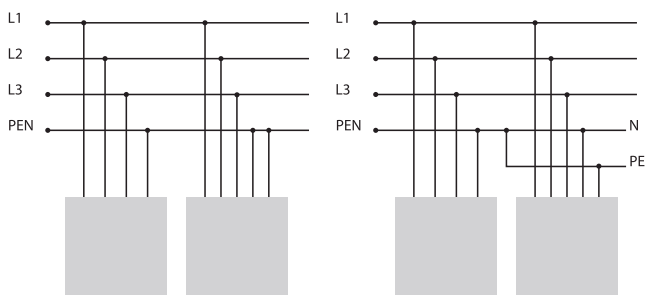
Litera S oznacza, że w całej instalacji musi być osobny przewód PE. Rysunki poniżej pokazują możliwe konfiguracje.



Sieci rozdzielcze typu TN-S.

3.2.2. Instalacje TN-C-S i TN-C

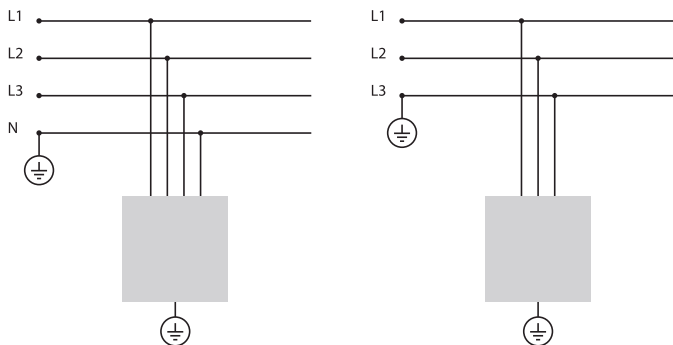
W instalacjach TN-C przewód ochronny i neutralny prowadzone są jednym przewodem w całej instalacji. Instalacje gdzie PE i N są częściowo prowadzone osobnymi przewodami nazywamy TN-C-S.



Sieci rozdzielcze typu TN-C (po lewej) i TN-C-S (po prawej).

3.3. Sieci TT

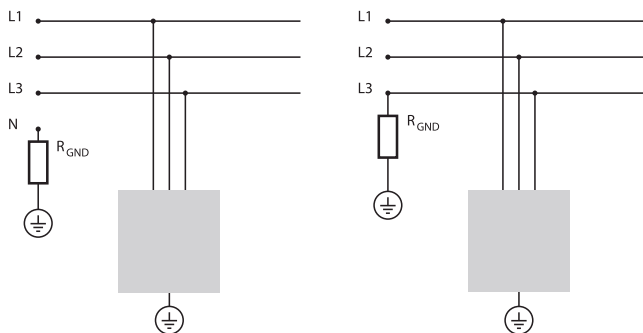
W sieciach TT punkty uziemienia systemu i instalacji są galwanicznie odseparowane. Obie części są bezpośrednio uziemione i niezależne.



Sieć rozdzielcza typu TT.

3.4. Sieci IT

W sieciach IT istnieją dwie możliwości: albo wszystkie aktywne elementy są odseparowane od ziemi, albo tylko jeden punkt jest uziemiony przez ściśle określoną wysoką impedancję (R_{GND}).



Sieć rozdzielcza typu IT.

Różne rodzaje sieci zasilających posiadają różne właściwości dotyczące filtrów. Dla sieci zasilających najczęściej rozważa się awarię, w której jedna z faz jest zwarta do uziemienia. Zaletą sieci IT jest fakt, że w przypadku takiej awarii ryzyko wystąpienia wysokich prądów dotykowych jest niewielkie. Jednakże wewnątrz filtru napięcie na kondensatorach znacznie wzrośnie. Jeśli filtr nie jest specjalnie przystosowany do pracy w sieciach IT, istnieje bardzo duże ryzyko uszkodzenia filtru już przy pierwszej awarii sieci.

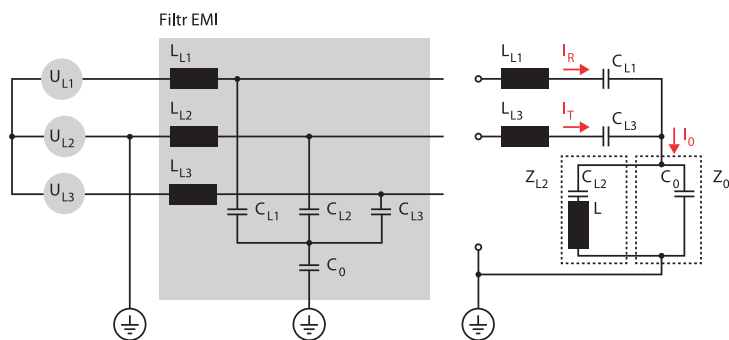
Sieć IT z pojedynczym zwarcie staje się siecią TN, ale o zwiększonym napięciu fazowym. Sieć w dalszym ciągu działa, ale wymaga jak najszybszej naprawy ze względów bezpieczeństwa. Dlatego też w sieciach IT izolacja przewodów fazowych w stosunku do ziemi jest monitorowana w sposób ciągły. Jeśli zostanie podłączona między fazę, a uziemienie dodatkowa rezystancja znajdująca się wewnątrz jakiegoś urządzenia, system monitorujący może wykryć fałszywą awarię. W konsekwencji tego kondensatory rozładowcze nie są dozwolone w sieciach IT.

Schaffner oferuje szeroką gamę filtrów przeznaczonych specjalnie do pracy w sieciach IT, przykładowo FN258HVIT lub FN 3359HV.

3.5. Sieci zasilające z uziemioną jedną fazą

W niektórych rejonach świata jak np. w Japonii sieć zasilająca posiada bezpośrednio uziemioną jedną fazę.

W takim układzie impedancja w kierunku ziemi jest zupełnie inna, co skutkuje różnymi spadkami napięcia i prądami upływu. W przypadku sieci z uziemioną fazą standardowe podawane przez katalogi parametry prądu upływu nie mogą być bezpośrednio zastosowane. Dla takich aplikacji Schaffner oferuje specjalne rozwiązania filtrów.



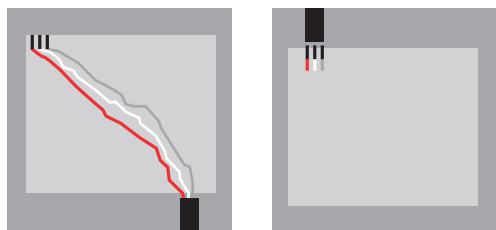
Sieć zasilająca z uziemioną jedną fazą i filtrem (po lewej) oraz schemat zastępczy (po prawej).

4. Instrukcje montażowe

Wszystkie filtry EMI są zaprojektowane tak, by zapewnić zgodność produktu końcowego z wymaganiami EMC. Jednak to czy będą naprawdę skuteczne w dużej mierze zależy od właściwego ich montażu. Instalacja filtru, oprócz odpowiedniego ich doboru, jest jedną z najważniejszych czynności. Ponadto na skuteczność filtru ma wpływ ogólne rozplanowanie i wdrażanie projektu urządzenia zgodnie z wymogami EMC.

4.1. Instalacja filtru

Zadaniem filtru jest zablokowanie niepożądanych sygnałów przed dostaniem się do pewnego elektrycznego obszaru. Aby tak się stało filtr powinien być zamontowany tak blisko tego obszaru, jak to możliwe. Połączenie filtru z obwodem źródła powinno być również możliwie krótkie.

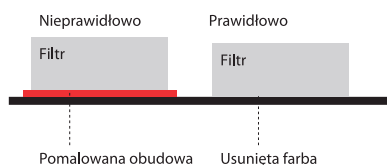


Niewłaściwe (po lewej) i właściwe (po prawej) umiejscowienie filtru.

Instalacji pokazanej na rysunku po lewej powinno się unikać za wszelką cenę. Choć połączenie między filtrem a obwodem ochronnym jest możliwie najkrótsze, co wynika z projektu filtru, to przewody od filtru do płytki drukowanej znajdują się na możliwie najdłuższej drodze wewnątrz obudowy. Mogą one „zbierać” wszystkie sygnały z płytki i promieniować jak antena, czyli będą się zachowywać jak niepożądane źródło emisji zaburzeń. Jeśli połączenie byłoby możliwie krótkie, wszystkie zaburzenia z płytki będą wyeliminowane już u źródła. W takich warunkach filtr może osiągnąć swoje maksymalne osiągi.

Ważniejsze niż miejsce instalacji filtru jest jego podłączenie do uziemienia. Właściwe uziemienie jest kluczowe dla pracy filtru. Bez połączenia z uziemieniem filtr traci możliwość tłumienia zaburzeń asymetrycznych (wspólnych) za pomocą kondensatorów Y. Jeden z najczęstszych problemów polega na zamocowaniu filtru do obudowy, która jest pomalowana lub w inny sposób obrobiona. W ten sposób obwód uziemienia jest przerwany i filtr staje się bezużyteczny. Aby zapobiec takim zdarzeniom część powierzchni przeznaczona na montaż filtru powinna być zeszlifowana.

Zeszlifowanie obudowy bardzo często nie jest możliwe.



Właściwe uziemienie filtrów.

W zależności od warunków środowiskowych niezbędna może być obróbka powierzchni zabezpieczająca przed korozją, a zatem powierzchnia będzie nieprzewodząca.

Podczas uziemiania filtru należy zwrócić uwagę, aby połączenie miało możliwie dużą powierzchnię zestyku. Panuje błędna opinia, że standardowy przewód PE będzie wystarczający do celów uziemienia RF. Zamiast okrągłych należy stosować przewody płaskie, ponadto lepsze są plecionki niż przewody lite. W celu uzyskania optymalnej filtracji płaski przewód powinien być prowadzony prosto od zacisku filtru do zacisku uziemienia.

4.2. Połączenia i prowadzenie przewodów

Mówi się, że odpowiedni filtr to jedynie 50% całkowitej ochrony EMC. Pozostałe 50% można osiągnąć poprzez prawidłowy projekt urządzenia. Dwie sprawy są szczególnie istotne: podłączenia przewodów ekranowanych oraz prowadzenie przewodów.

4.2.1. Podłączenia ekranów

4.2.2. Prowadzenie przewodów

Podłączenia ekranów zostały już omówione w poprzednich rozdziałach. Podsumowując, ekrany przewodów należy podłączyć na obu końcach, najlepiej za pomocą dławnicy lub obejmy na obwodzie 360°.

Za każdym razem, gdy przewody są pozostawione dłuższe niż to konieczne lub gdy prowadzone są blisko siebie, tworzą się dodatkowe anteny i obszary sprzężeń. Skutkuje to zwarciami RF elementu tłumiącego. Za niepowodzenie w skuteczności tłumienia zaburzeń winę ponosi błędne prowadzenie przewodów, a nie niewłaściwy filtr.

Aby polepszyć sytuację, przewody powinny być docięte dokładnie na wymaganą długość i prowadzone według ściśle określonych reguł. Jeśli nie da się uniknąć skrzyżowania przewodów należy to zrobić pod kątem 90°. Aby zapobiec zwarceniu sygnału RF filtra nie należy nigdy prowadzić i krzyżować przewodów wejściowych i wyjściowych filtru.

4.3. Planowanie EMC

Problematyka EMC musi zawsze iść w parze z projektowaniem urządzenia. Na samym początku etapu projektowania możemy wyszczególnić potencjalne źródła zaburzeń i najbardziej wrażliwe obwody w urządzeniu. Stwarza to możliwość ich fizycznego odseparowania i uniknięcia problemów już na początku, zamiast borykać się z nimi przy końcowych testach urządzenia.

Następnie należy zastanowić się nad rozprowadzeniem przewodów, mając na uwadze wskazówki z poprzedniego rozdziału. O wiele łatwiej projektować okablowanie od początku, niż modyfikować w razie problemów już istniejące. Ostatecznie należy się zastanowić nad doбором elementów filtrujących. Filtry nie są elementem dodawanym na samym końcu, aby pozbyć się problemów związanych z EMI - są integralną częścią projektu uwzględniającego problematykę EMC.

Filtr powinien być umieszczony najbliżej jak to możliwe źródła zaburzeń. Stosując filtry w układach napędowych, filtr powinien być jak najbliżej falownika, a w niektórych rozwiązaniach nawet bezpośrednio pod falownikiem (tzw. footprint). Filtry sieciowe powinny być umieszczone możliwie najbliżej gniazda zasilającego urządzenie.

Stosując filtry lub dławiki należy zawsze mieć na uwadze rozproszenie ciepła z elementów filtrujących. Aby zapobiec przegrzaniu należy zostawić odpowiednią ilość miejsca wokół elementu i zapewnić cyrkulację powietrza.

Schaffner pomaga producentom już na wczesnym etapie projektowania nowych produktów.



Zastosowania

Sprzęt biurowy

- Komputery
- Drukarki
- Peryferia PC
- Faksy
- Kopiarki
- Monitory
- Plotery
- Komputery mainframe

Napędy i sterowanie

- Napędy silnikowe AC i DC
- Dyski SCR
- Serwonapędy
- Napędy regeneracyjne
- Prostowniki (AC-DC)
- Konwertery (AC-AC, DC-DC)
- Falowniki (DC-AC)
- Ładowarki

Automatyzacja procesów

- Robotyka
- Przenośniki
- Linie montażowe
- Urządzenia sterujące
- Przemysł wydobywczy
- Przemysł chemiczny
- Produkcja ropy
- Obróbka metali

Windy i dźwigi

- Windy osobowe i towarowe
- Schody ruchome
- Dźwigi
- Windy
- Podnośniki

Filtry harmonicznych



FN 3410/11
FN 3412/13
FN 3416/18
FN 3416 LV
FN 3418 LV
RWK 212

FN 3410/11
FN 3412/13
FN 3416/18
FN 3416 LV
FN 3418 LV
FN 3420

FN 3410/11
FN 3412/13
FN 3416/18
FN 3420
RWK 212

Filtry PCB



FN 402
FN 405
FN 406
FN 410

Filtry z gniazdem IEC



FN 280
FN 390
FN 9222(E)
FN 9233(E)
FN 9244(E)
FN 9263
FN 9264
FN 9280(E)
FN 9290
IL 13
IL 19

Filtry 1-fazowe i DC



FN 343
FN 20x0

FN 350
FN 2070
FN 2080
FN 2090
FN 241x
FN 2200
FN 2210
FN 2211

FN 350)
FN 2070
FN 2080
FN 2090
FN 241x

FN 685
FN 2070
FN 2080
FN 241x

Filtry 3-fazowe



FN 3025/26
FN 3258
FN 3268

FN 258
FN 3025/26
FN 3100
FN 3258
FN 3268
FN 3270
FN 3310
FN 3311
FN 3359

FN 258
FN 3025/26
FN 31xx
FN 3258
FN 3268
FN 3270
FN 3310
FN 3311
FN 3359

FN 258
FN 3100
FN 3258
FN 3268

Filtry 3-fazowe z przewodem neutralnym



FN 354
FN 355
FN 3256

FN 356
FN 3256
FN 3280

FN 356
FN 3256
FN 3280

Filtry i dławiki wyjściowe



FN 5x0
FN 5020
FN 5030
FN 5040
FN 5040 HV
FN 5045
RWK 305
FN 5060/FN 5060 HV

FN 510
FN 5020
FN 5030
FN 5040
FN 5040 HV
FN 5045
RWK 305
FN 5060/FN 5060 HV

FN 510
FN 5040
FN 5040 HV
FN 5045
RWK 305
FN 5060
FN 5060 HV

Komponenty przepustowe



FN 756x
FN 766x

FN 756x
FN 766x

FN 751x
FN 761x

Dławiki EMC / EMI



EV/EH
RD
RN
RB

RD
RI
RB

RD

RD







Transformatory impulsowe



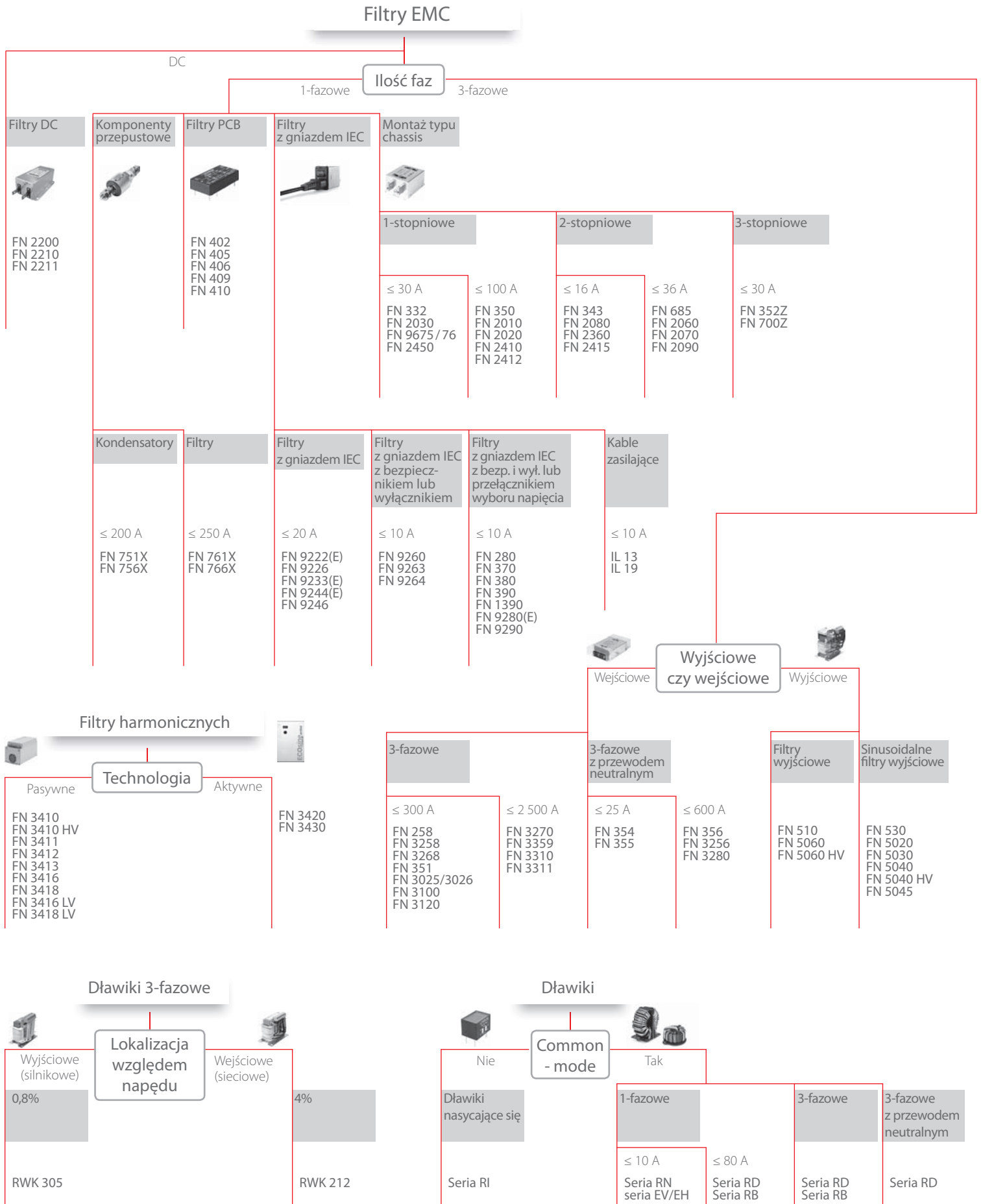
IT

IT

IT

					
Urządzenia domowe <ul style="list-style-type: none"> Wzmacniacze, audio, wideo, telewizor, ekrany Odbiorniki, dekodery Maszyny do prania Wirówki Sprzęt kuchenny Nagrzewnice indukcyjne Urządzenia do ćwiczeń Ekspresy do kawy 	Medyczne <ul style="list-style-type: none"> Sprzęt RTG Sprzęt radiologiczny Defibrylatory Sprzęt laboratoryjny Analizatory Urządzenia pomiarowe MRI, MSI, EEG, EKG Szpitale 	Automatyka budynków <ul style="list-style-type: none"> Ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, klimatyzacja Systemy zabezpieczeń Urządzenia sterujące Pompy Oświetlenie Automatyczne żaluzje Uzdatnianie wody Budynki biurowe 	Zasilanie i energia <ul style="list-style-type: none"> Zasilacze, UPS Przetwornice DC / DC Agregaty prądowców Turbiny wiatrowe Ogniwa paliwowe Turbiny gazowe Systemy fotowoltaiczne 	Telefonia i przesyłanie danych <ul style="list-style-type: none"> Stacje bazowe GSM, UMTS, GPRS Linie komunikacyjne Technologie sieciowe Serwery Instalacje telefoniczne Instalacje nadawcze Centra przetwarzania danych 	Maszyny <ul style="list-style-type: none"> Narzędzia maszynowe Maszyny poligraficzne Maszyny pakujące Wytłaczarki Maszyny do obróbki drewna Frezarki / Wiertarki Maszyny do cięcia laserowego Maszyny spawalnicze Szlifierki
	FN 3420 FN 3430	FN 3410/11 FN 3412/13 FN 3416/18 FN 3416 LV FN 3418 LV FN 3420 FN 3430	FN 3420 FN 3430 Niestandardowe rozwiązania przy użyciu filtrów i dławików dla (odnawialnych) źródeł energii	FN 3420 FN 3430	FN 3410/11 FN 3412/13 FN 3416/18 FN 3420 RWK 212
FN 402 FN 405 FN 406 FN 410	FN 402B FN 406B	FN 406 FN 410	FN 402 FN 405 FN 406 FN 409 FN 410	FN 409	
FN 280 FN 3x0 FN 9222(E) FN 9233(E) FN 9260 FN 9263 FN 9280(E) FN 9290 IL 13 IL 19	FN 280B FN 9222(E)B FN 9233(E)B FN 9244(E)B FN 9246B FN 9260B FN 9264 FN 9280B FN 9290B IL 13 IL 19	FN 9246	FN 280 FN 3x0 FN 9222(E) FN 9233(E) FN 9244(E) FN 926x FN 9280(E) FN 9290	FN 9246	
FN 332 FN 20x0	FN 332 FN 20x0B FN 2360 FN 700Z	FN 350 FN 2060 FN 2070 FN 2090	FN 2030 FN 2060 FN 2070 FN 2090 FN 2200 FN 2210 FN 2211	FN 700Z Niestandardowe filtry 1-fazowe	FN 350 FN 2070 FN 2080 FN 2410 FN 2412 FN 2415
FN 3258 FN 3268 FN 3025 FN 3026	FN 258P FN 258L FN 3025/26 FN 3268	FN 258 FN 351 FN 3025/26 FN 3258 FN 3268	FN 258 FN 3025/26 FN 3100 FN 3120 FN 3258 FN 3268 FN 3310 FN 3311 FN 3359	Niestandardowe filtry 3-fazowe	FN 258 FN 3100 FN 3120 FN 3258 FN 3268 FN 3270 FN 3310 FN 3311 FN 3359
FN 354 FN 355	FN 354 FN 355	FN 3256	FN 356 FN 3256 FN 3280	FN 354	FN 356 FN 3256 FN 3280
		FN 510 FN 5040 FN 5040 HV FN 5045 RWK 305 FN 5060 FN 5060 HV	Niestandardowe rozwiązania przy użyciu filtrów i dławików dla (odnawialnych) źródeł energii		FN 510 FN 5040 FN 5040 HV FN 5045 RWK 305 FN 5060 FN 5060 HV
	FN 751x FN 756x FN 761x FN 766x		FN 751x FN 756x FN 761x FN 766x	FN 751x FN 756x FN 761x FN 766x	FN 751x FN 761x
EV/EH RD RN	EV/EH RD RN RB	EV/EH RD RI RN RB	EV/EH RD RN RB	EV/EH RN RB	RD RB
	IT series	IT series	IT series	IT series	

Schemat doboru filtrów



Aktywne i pasywne filtry harmonicznych

Filtry harmonicznych pomagają w uzyskaniu zgodności z międzynarodowymi standardami, takimi jak np. IEEE 519-1992 lub EN 61000-3-12 oraz z lokalnymi wymogami względem użytkownika. Zmniejszają elektryczne i termiczne naprężenia w infrastrukturze elektrycznej, eliminują ryzyko wystąpienia problemów z niezawodnością spowodowanych harmonicznymi oraz pomagają zapewnić długoterminową efektywność energetyczną i oszczędności.

Zaawansowane filtry pasywne ECOsine® są standardem na rynku prostowników i nieregenerowanych napędów silnikowych w celu osiągnięcia poziomu THID <5% (FN 3410/12).

Aktywne filtry harmonicznych ECOsine® wykonane są wg najnowszej technologii cyfrowej. Z czasem reakcji poniżej 300 μs skuteczne łagodzenie harmonicznych, Kompensacja mocy biernej oraz symetryzacja prądu obciążenia osiągane się w czasie rzeczywistym.

Dopuszczenia		Moc znamionowa [kW/KM]		Prąd korekcyjny [A]		Cechy							Typowe zastosowania									
 						Do sieci 50Hz	Do sieci 60Hz	THID < 5%	Kompensacja mocy biernej	Symetryzacja prądu obciążenia	3-fazowy / 3-przewodowy	3-fazowy / 4-przewodowy	Diodowe 6-pulsowe mostki prostownicze	Tyristorowe (SCR) 6-pulsowe mostki prostownicze	Napędy silników AC	Napędy silników DC	Spawarki	Ogrzewanie, wentylacja, chłodzenie, klimatyzacja	Rozdzielnice budynkowe	Produkcja półprzewodników	Przepompownie wody i ścieków	
Rodzina filtrów	Napięcie znamionowe	0	100	200	300	400	500															
FN 3410	380 - 500 V AC	4 400 kW																				
FN 3410 HV	690 V AC	7.5 250 kW																				
FN 3411	380 - 500 V AC	4 400 kW																				
FN 3412	380 - 480 V AC	5 500 HP																				
FN 3413	380 - 480 V AC	5 500 HP																				
FN 3416	200 - 500 V AC	2.5 200 kW																				
FN 3418	200 - 480 V AC	2.5 250 HP																				
FN 3420 (aktywny)	200 - 480 V AC	30 300																				
FN 3420 (aktywny)	500 - 690 V AC	200																				
FN 3430 (aktywny)	200 - 415 V AC	30 300																				

//////////////////// - zakres mocy w przygotowaniu.

Filtry PCB

Elementy przeciwzakłóceniami o bardzo kompaktowej obudowie, dzięki której można je instalować w urządzeniach z ograniczoną przestrzenią jak sprzęt biurowy małej mocy, sprzęt medyczny, telekomunikacyjny, IT, przetwornice DC / DC oraz zasilacze impulsowe. Idealne i tanie rozwiązanie dla producentów sprzętu, którzy chcą produkować urządzenia zgodne z EMC szybko i małym kosztem.

Dopuszczenia		Tłumienność					Prąd znamionowy [A]					Cechy								Typowe zastosowania							
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	standard			wysoka		bardzo wysoka			1-stopniowy filtr	2-stopniowy filtr	Tylko dla aplikacji DC	Montaż na PCB	W metalowej obudowie	Niski profil	Małe rozmiary	Automotive	Przetwornice DC / DC	Aplikacje informatyczne i telekomunikacyjne	Automatyka budynków	Zasilacze	Urządzenia medyczne	Urządzenia biurowe	Zastosowanie ogólne	Elektronika użytkowa		
		0	3	6	9	12	15																				
FN 402	250 V AC	0,5		6,5																							
FN 405	250 V AC	0,5																									
FN 406	250 V AC	0,5																									
FN 409	75 V DC			3																							
FN 410	250 V AC	0,5		6																							

Kable zasilające z systemem blokowania do filtrów z wtykiem IEC

Ochrona przed przypadkowym odłączeniem od wszystkich urządzeń z wtykiem IEC, bez konieczności wymiany lub modyfikacji wtyku IEC lub filtrów z wtykiem IEC. Umożliwiają łatwą modernizację, doposażenie sprzętu i urządzeń elektronicznych.

Dopuszczenia		Dostępne typy złączy								Typowe zastosowania												
Rodzina kabli	Napięcie maksymalne	6 ft	2 m	3 m	9 ft	12 ft	5 m	10 m	C14 złącze zasilania IEC C14 męskie, proste	C20 złącze zasilania IEC C20, męskie, proste	EU1 złącze zasilania CEE7 / VII, prawokątowe	U51 złącze zasilania NEMA5-15, proste	U52 złącze zasilania NEMA5-15, proste, do użytku szpitalnego	UK1 złącze zasilania BS1363, prawokątowe, bezpiecznik 5A	CH1 złącze zasilania SEV1011, proste	JP1 złącze zasilania JIS8303, proste	Centra przetwarzania danych	Sprzęt przemysłowy	Sprzęt medyczny i do diagnostyki in-vitro	Stacje nadawcze	Zastosowania mobilne	
		● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa	● Długość standardowa
IL 13	250 V AC	●	●	×	●	●	×	×	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
IL 19	250 V AC		●							●	●	●		●								

Filtry z wtykiem IEC / moduły zasilania

Wszystkie zalety uniwersalnego wtyku IEC, filtra EMC / EMI, gniazda bezpieczników, wyłącznika oraz przełącznika wyboru napięcia w jednym kompaktowym urządzeniu. Idealne rozwiązanie do komputerów, monitorów, urządzeń medycznych i sprzętu biurowego jak drukarki czy kserokopiarki.

Dopuszczenia		Cechy					Typowe zastosowania														
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	Tłumienność			Prąd znamionowy [A]	Z dławikiem w przewodzie uziemiającym	Do bezpieczników	Wyłącznik 1-polowy	Wyłącznik 2-polowy	Z przełącznikiem wyboru napięcia	Do montażu na PCB	Montaż na zatrzaski	Szeroki moduł montażowy	Sprzęt IT	Sprzęt medyczny	Zasilacze z wyłącznikiem	Sprzęt biurowy	Audio, TV, VCR	Telekomunikacja	Oświetlenie przemysłowe	Ogólne zastosowanie
		standard	wysoka	bardzo wysoka																	
FN 9222 FN 9222E	250 V AC	1	20		20	■					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9226	250 V AC	1	10		10					■			■	■		■	■	■	■		■
FN 9233 FN 9233E	250 V AC	1	15		15	■					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9244 FN 9244E	250 V AC	1	15		15	■					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9246	250 V AC	1	20		20									■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9260	250 V AC	1	10		10		■				■			■		■	■	■	■		■
FN 9263	250 V AC	1	10		10			■			■				■	■	■	■	■	■	■
FN 9264	250 V AC	1	10		10			■			■		■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9280	250 V AC	1	10		10		■	■			■		■	■		■	■	■	■	■	■
FN 9280 E	250 V AC	1	10		10	■	■	■			■		■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 9290	250 V AC	1	10		10		■	■			■		■	■	■	■	■	■	■	■	■
FN 280	250 V AC	1	10		10		■	■			■		■	■		■	■	■	■	■	■
FN 370	250 V AC	2	6		6		■		■		■		■	■		■	■	■	■		■
FN 380	250 V AC	2	6		6		■		■		■		■	■		■	■	■	■		■
FN 390 FN 1390	250 V AC	1	10		10	■	■	■	■				■	■		■	■	■	■	■	■

Filtry 1-fazowe oraz filtry DC

Filtry 1-fazowe do montażu typu chassis lub na szynę DIN są kluczem do osiągnięcia zgodności w akresie EMC w przypadku urządzeń biurowych większych mocy i aplikacji przemysłowych niskich i średnich mocy. Szeroki wybór parametrów elektrycznych i mechanicznych pozwala na użycie tych filtrów w niezliczonych zastosowaniach. Filtry DC są szczególnie zoptymalizowane do zastosowań z zasilaniem DC, takich jak np. falowniki fotowoltaiczne.

Dopuszczenia		Cechy					Typowe zastosowania															
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	Tłumienność					1-stopniowy filtr	2-stopniowy filtr	3-stopniowy filtr	Aplikacje zasilane DC	Zochroną przeciwprzepięciową	Tłumienie niskich częstotliwości	Tłumienie wysokich częstotliwości	Możliwość wyboru złącz	Montaż na szynie DIN	Zasilacze SMPS	Sprzęt medyczny	Napędy 1-fazowe	Moduł sterowania w obrabiarkach	Falowniki fotowoltaiczne	Sprzęt biurowy, testujący i pomiarowy	Ogólne zastosowanie
		standard	wysoka	bardzo wysoka	Prąd znamionowy [A]	standard																
FN 332	250 V AC	1-10					■			■												■
FN 350	250 V AC	8	55				■								■		■					■
FN 2010	250 V AC	1	60				■							■		■						■
FN 2020	250 V AC	1	60				■							■		■						■
FN 2030	250 V AC	1	30				■			■	■	■	■			■						■
FN 2200	1 200 V DC	25	2 300				■		■		■	■			■							■
FN 2210	1 000 V DC		250 - 2 300				■		■		■	■			■							■
FN 2410	250 V AC 520 V AC (H)	8	100				■				■				■		■					
FN 2412	250 V AC 520 V AC (H)	8	45				■				■			■	■	■	■					
FN 2450	250 V AC	1	20				■				■	■			■	■						■
FN 9675/76	250 V AC	3	16				■								■		■					■

Dopuszczenia



Tłumienność
 Prąd znamionowy [A]

standard
 wysoka
 bardzo wysoka

Cechy

Typowe zastosowania

Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	0 20 40 60 80 100					1-stopniowy filtr	2-stopniowy filtr	3-stopniowy filtr	Z dławikiem uziemiającym	Z ochroną przeciwprzepięciową	Tłumienie niskich częstotliwości	Tłumienie wysokich częstotliwości	Możliwość wyboru złącz	Ochrona TEMPEST	Zasilacze SMPS	Sprzęt medyczny	Napędy 1-fazowe	Moduł sterowania w obrabiarkach	Ochrona danych	Sprzęt biurowy, testujący i pomiarowy	Ogólne zastosowanie
FN 343	250 V AC	1 - 10						■	■												■	■
FN 685	250 V AC	10 36					■				■		■		■		■					
FN 2060	250 V AC	1 30					■						■		■	■					■	■
FN 2070	250 V AC	1 36					■					■	■		■	■	■				■	
FN 2080	250 V AC	1 16					■				■		■		■	■	■					
FN 2090	250 V AC	1 30					■			■	■	■	■		■	■	■					
FN 2360	250 V AC	3 - 6					■								■	■					■	■
FN 2415	250 V AC	6 - 16					■										■	■				
FN 352Z	250 V AC	6 30						■		■		■			■						■	■
FN 700Z	250 V AC	6 20						■		■	■	■		■	■	■					■	■

Filtry i dławiki trójfazowe

Filtry EMC / EMI do zastosowań przemysłowych jak napędy i różnego rodzaju obrabiarki. Ponadto nadają się także do systemów komputerowych typu mainframe, dużych zasilaczy do pracy ciągłej, sprzętu medycznego, turbin wiatrowych oraz wielu innych 3-fazowych aplikacji w energoelektronice. Dławiki sieciowe (dławiki wejściowe) pracują po stronie sieci układów napędowych, skutecznie zabezpieczając elektronikę falowników oraz kondensatory w układzie pośredniczącym DC (tzw. DC-link) przed prądem rozruchowym, szczytowym i zwarciovym. Dodatkowo znacząco redukują zaburzenia niskiej częstotliwości oraz harmoniczne.

Dopuszczenia		Cechy						Typowe zastosowania															
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	Prąd znamionowy [A]						Filtr wielostopniowy	Zabezpieczenia na złącza	Złącze szynowe	Opcjonalne osłony ochronne	Osłony ochronne w standardzie	Spełnia wymogi EMC	Niski prąd upływu	Redukcja zapadów komutacyjnych	Ograniczenie prądów rozruchowych	Redukcja harmonicznnych	Impedancja 4%	Falowniki, serwonapędy	Napędy ze zwrotem energii	Maszyny, obrabiarki	Automatyka przemysłowa	Ogólne zastosowanie
		standard	wysoka	bardzo wysoka																			
FN 258	480 V AC 690 V AC (HV)	7	250					■	■				■	■					■	■	■	■	
FN 351	440 V AC 520 V AC (H)	8	280						■				■						■			■	■
FN 3025	520 V AC	10 - 50							■			■	■	■					■			■	■
FN 3026	520 V AC	10 - 50							■			■	■	■					■			■	■
FN 3100	520 V AC	35	300						■				■						■	■	■	■	
FN 3120	520 V AC (H)	25	230						■				■						■	■	■	■	
FN 3258	480 V AC 520 V AC (H)	7	180						■				■						■			■	■
FN 3268	520 V AC	7	180						■				■	■					■			■	■
FN 3270	520 V AC	10				1 000			■	■	■		■						■			■	■
FN 3310 FN 3311	520 V AC		250			2 300				■			■						■			■	■
FN 3359	520 V AC 690 V AC (HV)	150				2 500		■		■	■		■						■	■	■	■	
RWK 212	500 V AC	4				1 100			■	■				■	■	■	■	■	■			■	■

Filtry 3-fazowe z przewodem neutralnym

Filtry 3-fazowe z przewodem neutralnym stanowią kompaktowe rozwiązanie tłumienia zakłóceń na zasilaniu szaf sterowniczych i całych urządzeń. Mogą być stosowane w szerokim zakresie aplikacji zaczynając od aplikacji przemysłowych, a kończąc na wrażliwych aplikacjach medycznych. Zazwyczaj dotyczy to również osobnych i często nie wystarczająco filtrowanych falowników i zasilaczy impulsowych (SMPS), które powodują niesymetryczne obciążenie i znaczące problemy z zakłóceniami. Nierzadko jako osobne elementy są już filtrowane, ale nie wystarczająco. Praca kilku urządzeń energoelektronicznych w tej samej szafie sterowniczej oraz brak właściwego projektu zgodnego z regułami EMC sprawia, że wymagania filtru EMC / EMI na zasilaniu urządzenia jest koniecznością. Jest to jedyna droga do uzyskania zgodności z dyrektywą EMC oraz znaku CE.

Dopuszczenia				Cechy										Typowe zastosowania					
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	Tłumienność		1-stopniowy filtr	2-stopniowy filtr	Zabezpieczenia na złącza	Złącza typu faston (wsuwki)	Spełnia wymogi EMC	Do obciążeń asymetrycznych	Tłumienie szerokopasmowe	Bardzo niski prąd upływu	Dla wszelkich systemów i instalacji	Maszyny, obrabiarki	Automatyka przemysłowa	Zasilacze	Sprzęt medyczny	Wysokie częstotliwości	Sprzęt biurowy o dużej mocy	Ogólne zastosowanie
		Prąd znamionowy [A]																	
		standard	wysoka																
		0	120	240	360	480	600												
FN 354	440 V AC	4 - 25																	
FN 355	440 V AC	3 - 20																	
FN 356	440 V AC	16 - 150																	
FN 3256	520 V AC (H)	8 - 160																	
FN 3280	520 V AC (H)	8 - 600																	

Filtry i dławiki wyjściowe

Elementy wyjściowe chroniące silnik, poprawiające niezawodność systemu i jego funkcjonalność. Umieszczone na wyjściu falowników, filtry te zapewniają niezawodność poprzez unikanie kosztownych przestoju spowodowanych uszkodzeniem silnika w działaniu instalacji, zakładów produkcyjnych, maszyn oraz wielu innych zastosowań przemysłowych i domowych wykorzystujących napędy silnikowe.











Odpowiednie rozwiązania umożliwiają zasilanie silników nieekranowanymi przewodami, równoległą pracę wielu silników na jednym falowniku, czy integrację starych napędów z nowoczesnymi falownikami.





Dopuszczenia		Moc silnika [kW]							Cechy											Typowe zastosowania					
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	Prąd znamionowy [A]							Redukcja dv / dt	Ograniczenie przepięć	Redukcja temperatury silnika	Redukcja poziomu hałasu silnika	Sym. sinusoidalny sygnał wyjściowy	Asym. sinusoidalny sygnał wyjściowy	Eliminacja uszkodzeń łożysk	Zastępuje ekranowanie kabli	Wymagane podłączenie do DC	Poprawia ogólne parametry EMC	Redukuje przestoje urządzeń	Napędy silnikowe	Serwonapędy, silniki momentowe	Aplikacje z silnikami wysokobrotowymi	Aplikacje z długimi, nieekranowanymi kablami	Modernizacja napędów	
		0	60	120	180	240	300	> 1 000																	
FN 510	520 V AC	1,5 - 30	4 - 66						■	■	■							■	■	■	■				
FN 530	520 V AC	1,5 - 7,5	4 - 16						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			■	■	
FN 5020	500 V AC	11 - 55	25 - 120						■	■	■	■						■	■	■		■			
FN 5030**	500 V AC	11 - 55	25 - 120							■	■		■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	
FN 5040	500 V AC	1,1	4,5				630	1 200	■	■	■	■	■					■	■	■				■	
FN 5040 HV	690 V AC	7,5	13				1 200	1 320	■	■	■	■	■					■	■	■				■	
FN 5045	500 V AC	1,1	4,5				630	1 200	■	■	■	■	■					■	■	■				■	
FN 5060	≤500 V AC	5	12				630	1 100	■	■	■							■	■	■	■				
FN 5060 HV	≤690 V AC	7,5	16				1 000	1 200	■	■	■							■	■	■	■				
RWK 305	500 V AC	1,5	4				630	1 100	■		■							■	■	■	■				

** Dodatkowy wyjściowy moduł filtrujący do pracy w połączeniu z FN 5040/45 lub FN 5020.

Elementy przepustowe

Filtry przepustowe i kondensatory przepustowe oferują tłumienie zakłóceń EMI w zakresie częstotliwości sięgającym GHz. Znajdują zastosowanie w aplikacjach IT, telekomunikacji, serwerach i w urządzeniach sieciowych.

Dopuszczenia							Cechy						Typowe zastosowania								
 		— Pojemność [nF] — Prąd znamionowy [A] — Tłumienność					Kondensatory AC	Kondensatory DC	Filtry AC	Filtry DC	Bardzo wysoka wydajność	Kondensatory klasy Y2	Kondensatory klasy Y4	Sprzęt medyczny	Profesjonalne zasilacze	Urządzenia w energoelektronice	Telekomunikacja	Sprzęt do badań naukowych	Urządzenia pomiarowe i testujące	Systemy zabezpieczeń	IT, serwery i sieci
Kondensatory przepustowe	Napięcie maksymalne	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	0	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000	200 000	500 000	1 000 000
FN 7510 	300 V AC	2,2 - 47	10	100																	
FN 7511 	300 V AC	4,7 - 220	10				200														
FN 7512 	300 V AC	47 - 100	16	63																	
FN 7513 	300 V AC	100	16																		
FN 7560 	130 V DC	10 - 100	10				200														
FN 7561 	130 V DC	47 - 470		63			200														
FN 7562 	130 V DC	100 - 1 000	16				200														
FN 7563 	130 V DC	470	16				200			4 700											

Filtry przepustowe		standard					duże					bardzo duże										
FN	Napięcie	10	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000	200 000	500 000	1 000 000	2 000 000	5 000 000	10 000 000	20 000 000	50 000 000	100 000 000	
FN 7611 	300 V AC	10																				
FN 7612 	300 V AC	10	100																			
FN 7660 	130 V DC	10																				
FN 7661 	130 V DC	10																				

Dławiki EMC / EMI

Szeroki wybór dławików EMC / EMI o różnych indukcyjnościach i wartościach prądowych pozwala na optymalizację urządzenia pod kątem zgodności z EMC w sposób prosty i ekonomiczny.

Dopuszczenia		Indukcyjność [mH]						Cechy						Typowe zastosowania									
Rodzina filtrów	Napięcie maksymalne	0	20	40	60	80	100	Zaburzenia asymetryczne	Dławiki nasycające się	Konfiguracja 1-torowa	Konfiguracja 2-torowa	Konfiguracja 3-torowa	Konfiguracja 4-torowa	Montaż na PCB	Wyprowadzone przewody	Przeмиenniki częstotliwości, UPS	Sprzęt medyczny	Systemy trakcyjne	Przetworniki DC / DC lub AC / DC	Zasilacze SMPS	RTV, TV	Ładowarki do akumulatorów	Grzejniki, klimatyzatory
RD 5000	600 V AC 850 V DC	1 - 10	6 - 16					■		■	■		■		■		■						
RD 6000	600 V AC 850 V DC	1,5 - 15	6 - 16					■		■	■				■	■		■					
RD 7000	600 V AC 850 V DC	0,2 - 25	6 - 36					■		■	■	■			■	■		■					
RD 8000	600 V AC 850 V DC	0,2 - 12	16 - 64					■		■	■	■			■	■		■					
RN	250 V AC	0,7 - 100	0,3 - 10					■		■				■		■	■			■	■	■	■
EV/EH	250 V AC	0,5 - 90	0,3 - 5					■		■				■		■	■			■	■	■	■
RI	500 V DC	1,5 - 25							■	■	■			■	■	■		■	■	■			
RB	600 V AC 1 000 V DC	0,2 - 3	16 - 50 (80)**					■		■	■			■		■	■	■	■	■		■	■

** Wymuszone chłodzenie

Pozostałe komponenty EMC



EKRANOWANIE I USZCZELNIANIE EMC

ASTAT jako dystrybutor materiałów ekranujących sukcesywnie poszerza swoją ofertę, aby sprostać coraz to większym wymaganiom. Wybór odpowiednich materiałów ekranujących zawsze powinien być uzasadniony technicznie jak i ekonomicznie. W naszej ofercie znajdują Państwo m.in. elementy takie jak: uszczelki piankowe, uszczelki sprężyste BeCu, sploty druczane, przewodzące elastomery, panele wentylacyjne, okienka ekranowane, okienka grzejne, taśmy i tapety ekranujące, absorbery. W każdej chwili przygotowujemy dla Państwa próbki do zastosowania w prototypie.

Wybierz właściwie - skorzystaj z naszej wiedzy i doświadczenia!

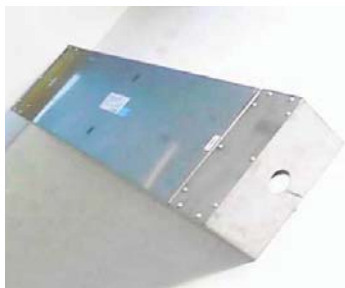


RDZENIE FERRYTOWE

Oferujemy szeroką gamę ferrytów pod względem wykonania. Mogą Państwo wybrać spośród różnych kształtów, rozmiarów, czy składu materiałowego.

Ze względu na mnogość zastosowań ferryty mają postać rdzeni zamykanych na przewody okrągłe, koralików, rdzeni na przewody płaskie i taśmy wieloprzewodowe.

Proponujemy także gotowe zestawy inżynierskie wybranych rdzeni ferrytowych, skompletowanych w poręcznym pudełku. Niezastąpione narzędzie dla inżynierów EMC, działów R&D, laboratoriów EMC i wszystkich, którzy szukają szybkich i prostych narzędzi do walki z EMI.



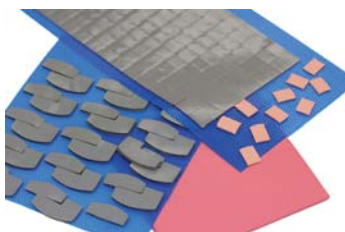
FILTRY EMISJI UJAWNIAJĄCEJ

Filtry klasy NEMP / TEMPEST oferowane przez firmę ASTAT to pięciostopniowe, w pełni konfigurowalne filtry specjalne. Filtry te posiadają znacznie szerszy zakres tłumienności niż najczęściej wymagane min. 60 dB w paśmie 100 kHz do 1 GHz. Co więcej, mogą być wyposażone w ogranicznik przepięć, który dodatkowo zabezpiecza przed zdarzeniem typu NEMP.

Z powodu różnych zaleceń dotyczących parametrów stosowanych filtrów najczęściej są one wykonywane jako filtry specjalne dla danej aplikacji.

Wykonania specjalne "pod Klienta" dają ogromną elastyczność nie tylko jeśli chodzi o parametry elektryczne filtrów, ale także ich wymiar, sposób montażu, rodzaj złącza, itd.

Pracownicy firmy ASTAT dobierają odpowiednie filtry oraz ich parametry tak, aby w aplikacji zawsze były spełnione postawione wymagania.



MATERIAŁY TERMOPRZEWODZĄCE

Staranne zarządzanie ciepłem ma kluczowe znaczenie dla zachowania niezawodności i wydłużenia żywotności urządzeń i sprzętu elektronicznego. Ponieważ każda nowa generacja urządzeń elektronicznych wymaga większej mocy w mniejszych „opakowaniach”, wyzwania związane z zarządzaniem ciepłem stają się coraz większe. ASTAT oferuje najbardziej zaawansowane w Polsce materiały termoprzewodzące takie jak: wypełniacze szczelin, materiały zmieniające fazę, taśmy, pasty, termoprzewodzące podkładki izolacyjne i wiele innych. Chętnie przygotowujemy dla Państwa próbki do zastosowania w prototypie, również o nietypowych i specyficznych wymiarach.

Dział kompatybilności elektromagnetycznej firmy ASTAT oferuje Państwu produkty oraz usługi z zakresu:

Kompatybilności elektromagnetycznej EMC

- Filtry i dławiki RFI
- Filtry harmonicznych
- Rdzenie ferrytowe
- Uszczelki elektromagnetyczne
- Materiały termoprzewodzące

Energetyki i miernictwa przemysłowego

- Analizatory jakości energii
- Pomiary ochronne
- Analizatory parametrów sieci
- Przetworniki i separatory
- Mierniki pól elektromagnetycznych

Kompletnych stanowisk testowych

- Testy urządzeń telekomunikacyjnych
- Testy mierników energii elektrycznej (smart meter)
- Systemy do testów izolacji paneli fotowoltaicznych (PV), kondensatorów i elementów przeciwprzepięciowych
- Testery aparatury medycznej i elektronarzędzi
- Kompletnie stanowiska laboratoryjne i dydaktyczne
- Systemy do badania wyrobów zgodnie z dyrektywą niskonapięciową
- Testery silników elektrycznych
- Stanowiska do testów HV wiązek elektrycznych i testów funkcjonalnych pojazdów / szaf sterowniczych

Profesjonalnych urządzeń pomiarowych

- Multimetry i mierniki cęgowo
- Zasilacze laboratoryjne
- Elektroniczne obciążenia
- Akcesoria pomiarowe
- Termowizja, pirometry i luksomierze
- Sondy pola bliskiego / analizatory widma
- Rejestratory cyfrowe

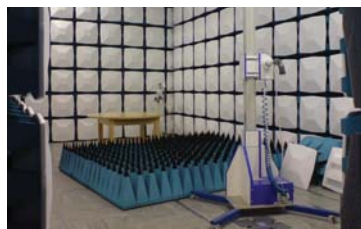
Ochrony informacji niejawnych

Serwisu i kalibracji

Wypożyczalni sprzętu

ASTAT Power Quality Test Center

Efektywności energetycznej



Panele wentylacyjne

Modułowa konstrukcja



Filtrowane instalacje elektryczne

Panele przepustowe



Filtry specjalne

Precyzyjne drzwi szczelne elektromagnetycznie



Bądź widoczny dla specjalistów

Zaprezentuj lokalizację swojego laboratorium EMC
Sprawdź mapę laboratoriów EMC w Polsce na
www.ostat-emc.pl/laboratoria



Sprawdź inne nasze wydawnictwa o tematyce kompatybilności elektromagnetycznej

Specjalistyczna aparatura i systemy pomiarowe

ASTAT - IDEALNE OGNIWŁO ŁĄCZĄCE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Technika ekranowania

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

EMC TECHNIKA EKRALOWANIA I USZCZELNIANIA

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Pomiary i testy EMC sprzętu oświetleniowego zgodnie z aktualnymi normami

Pomiary i testy EMC sprzętu oświetleniowego zgodnie z aktualnymi normami

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Ochrona elektromagnetyczna informacji niejawnych

Ochrona elektromagnetyczna informacji niejawnych

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Komponenty EMC / EMI oraz filtry jakości energii

Komponenty EMC / EMI oraz filtry jakości energii

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Rozwiązania e-mobility adaptery i stoły wysokonapięciowe

Doswiadczenie w testowaniu

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Multymetry i aparatura pomiarowa

Profitest MxTRA

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

Komory pomiarowe i obiekty ekranowane

Gigahertz TEM Typ 500
Komora do badań emisji i odporności

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE

ASTAT
EMC I SYSTEMY POMIAROWE