

# KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA

## EMC

### WSTĘP

Kompatybilność oznacza współistnienie w sposób harmonijny. Elektromagnetyczna dotyczy obszaru do którego odnosi się współistnienie.

Urządzenie jest kompatybilne elektromagnetycznie (EMC - Electro Magnetic Compatibility) jeżeli działa w danym środowisku elektromagnetycznym w sposób zadawalający oraz jeżeli nie wprowadza do tego środowiska zaburzeń nie tolerowanych przez wszystko co się w tym środowisku znajduje.

W Unii Europejskiej zagadnienia Kompatybilności Elektromagnetycznej regulowane są Dyrektywą EMC 89/336/EEC. Dyrektywa zawiera zharmonizowane normy kompatybilności elektromagnetycznej dla całej Wspólnoty Europejskiej

Dyrektywa dotyczy wszystkich urządzeń elektrycznych i elektronicznych wraz z wyposażeniem i instalacjami zawierającymi elektryczne i/lub elektroniczne komponenty, które mogą wywołać zakłócenia lub mogą podlegać takim zakłóceniom.

Celem Dyrektywy to swobodne przemieszczanie się (handel) towarów (wyrobów) we Wspólnocie Europejskiej.

Perspektywa wejścia w niedalekiej przyszłości Polski do Unii Europejskiej nakłada na producentów, dystrybutorów i użytkowników wyrobów stanowiących źródło zaburzeń elektromagnetycznych lub podlegających skutkom zakłóceń elektromagnetycznych obowiązek spełnienia podstawowych wymagań Dyrektywy EMC.

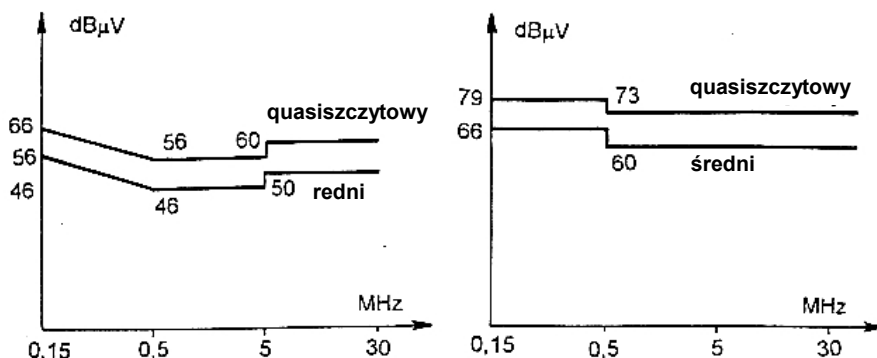
Koszty instalowanie układów zapewniających kompatybilność elektromagnetyczną wyrobów w ostatnim etapie inwestycji lub po jej zakończeniu są większe w kwadracie od kosztów gdy decyzje zapadają na etapie projektowania.

### FILTRY SIECIOWE RFI

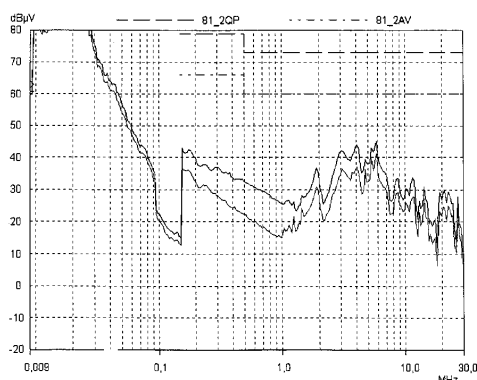
*„Każde urządzenie elektroniczne powinno być konieczne wyposażone w filtr sieciowy. Iluzją było oczekiwanie, że bez filtru poprawnie zainstalowanego na zasilaniu, urządzenie spełni wymagania norm kompatybilności elektromagnetycznej czy to w zakresie odporności czy też emisji zakłóceń.”*

*- Alain Charoy „Kompatybilność elektromagnetyczna”*

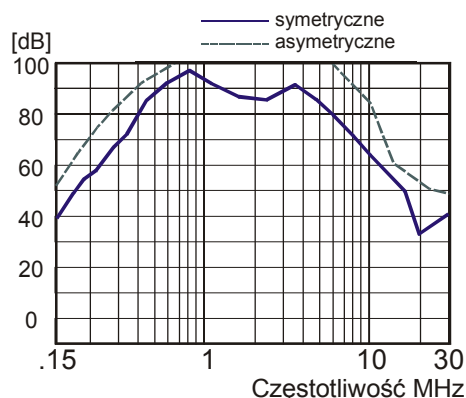
Źródłem zakłóceń elektromagnetycznych są między innymi urządzenia przekształtnikowe w których duża częstotliwość zmian prądu i duże stromości impulsów prądowych wywołanych komutacją bardzo szybkich przyrządów półprzewodnikowych mocy powodują zakłócenia elektromagnetyczne emitowane do otoczenia oraz przez sieć energetyczną. Przyjmuje się, że zakłócenia o częstotliwości poniżej 10 MHz rozprzestrzeniają się głównie przez przewodnictwo, zwane też emisją przewodową, powyżej 30 MHz przez promieniowanie. Pośrednie częstotliwości mają swój udział w obu rodzajach emisji. Przy zakłóceniach sieciowych w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz stosuje się filtry RFI o takim poziomie tłumienia, aby poziom emisji wywołanej tymi zakłóceniami był niższy od przewidzianej w normach.



(1) Klasa B – środowisko mieszkalne      (2) Klasa A- środowisko przemysłowe  
Dopuszczalne poziomy zakłóceń wg normy PN-EN 50081-1 i PN-EN 50081-2 dla środowiska mieszkalnego i przemysłowego



(3) Oscylogram prądów zakłóceńowych przewodowych emitowanych z przemiennika częstotliwości, z filtrem sieciowym RFI



(4) Charakterystyka tłumienności filtru sieciowego CNW 204 produkcji REO INDUCTIVE COMPONENTS AG

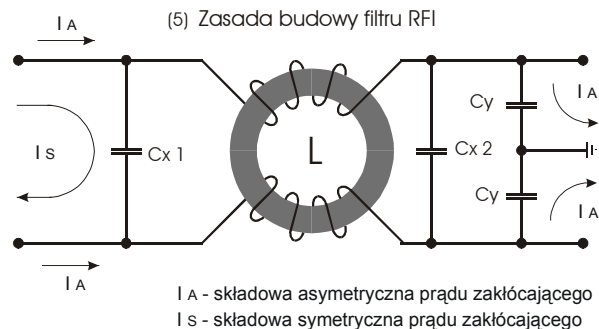
Filtr przeciwzakłóceńowy definiowany jest w ten sposób, że działa on przez eliminację niepotrzebnych części widma sygnałów elektrycznych to jest tych części które nie zawierają informacji istotnych dla treści danego sygnału.

Filtr jest scharakteryzowany przez stratę sygnału na drodze, na której sam się znajduje. Parametr ten charakteryzujący skuteczność filtrowania jest określany jako tłumienność wtrąceniowa. Z definicji jest to poziom sygnału /U2/ pozostałego po włączeniu filtru odniesiony do poziomu sygnału /U1/ obserwowanego w tym samym punkcie układu bez filtru.

$$\text{Tłumienność wyrażona w (dB)} = 20 \log_{10} (U2 / U1)$$

W filtrach RFI występują dwie składowe prądów zakłócających symetryczna i asymetryczna. Składowa symetryczna występuje tylko w przewodach fazowych linii zasilającej i ma mały udział w emisji zakłóceń. Składowa asymetryczna prądu jest głównym źródłem zakłóceń radioelektrycznych, przepływa we wszystkich przewodach fazowych oraz w przewodzie neutralnym, a wraca przewodem PE lub magistralą uziemiającą.

Na rys. 4 tłumienność filtru dla składowej asymetrycznej przedstawiona jest linią przerywaną, dla składowej symetrycznej linią ciągłą.



(5) Zasada budowy filtru sieciowego (RFI)

I<sub>A</sub> – składowa asymetryczna prądu zakłócającego  
I<sub>S</sub> – składowa symetryczna prądu zakłócającego

Ważną cechą filtru jest jego „wzajemność”. Oznacza to, że przy danych impedancjach źródła i obciążenia tłumienność filtru jest jednakowa w obu kierunkach: od źródła do odbiornika i od odbiornika do źródła. „Wzajemność” nie oznacza odwracalności dlatego producenci zawsze wskazują stronę zasilania oznaczoną jako „Sieć” - „Line” i stronę obciążenia oznaczoną jako „Obciążenie” - „Load”.

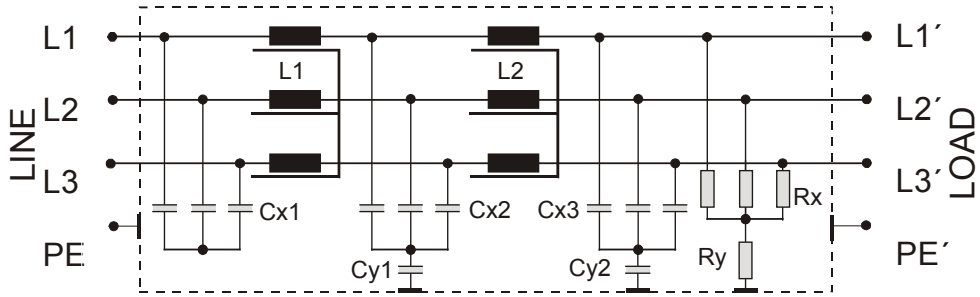
Dobre, profesjonalnie wykonane filtry mogą być produkowane wyłącznie przez wyspecjalizowane firmy lub wydziały tych firm dysponujące odpowiednimi laboratoriami badawczymi i dużym doświadczeniem. Niemiecka firma REO INDUCTIVE COMPONENTS AG produkuje szeroką gamę filtrów sieciowych, filtry wyjściowe dla przemienników częstotliwości, dławiki skompensowane prądowo, dławiki sieciowe itp.

Filtry sieciowe produkowane są dla prądów obciążenia od 3A do 1200A w następujących grupach: filtry dla sieci TN-C, filtry dla sieci TN-S, filtry dla sieci IT, filtry przepustowe w tym dla pomieszczeń chronionych od zakłóceń, filtry dla sieci prądu stałego (dla trakcji tramwajowej). Inną płaszczyzną podziału jest podział na filtry dla sieci jednofazowej i trójfazowej.

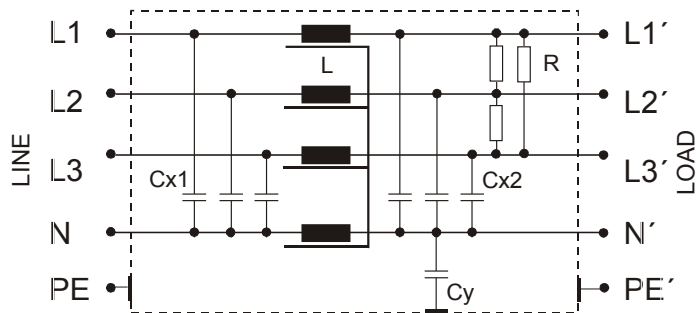
W sieciach TN-C (bez przewodu neutralnego N), zasilających układy przekształtnikowe z prostownikiem mostkowym na wejściu należy stosować filtry sieciowe REO INDUCTIVE COMPONENTS AG (6) z trzema izolowanymi zaciskami L1, L2, L3 i nie izolowanym zaciskiem śrubowym „PE” oraz trzema zaciskami wyjściowymi L1', L2', L3' i zaciskiem śrubowym PE'.

W sieciach TN-S zasilających odbiorniki z przewodem neutralnym „N” na wejściu i z przewodem PE stosuje się filtry czteroprzewodowe typu CNW 105 (7) lub CNW 108 z czterema izolowanymi zaciskami wejściowymi L1, L2, L3, N i zaciskiem śrubowym „PE” oraz zaciskami wyjściowymi L1', L2', L3', N' i zaciskiem śrubowym PE'.

W sieciach IT z izolowanym przewodem neutralnym stosuje się CNW 117 o bardzo małym prądzie upływu z uwagi na możliwość porażenia w przypadku przerwania przewodu ochronnego w urządzeniach przenośnych oraz z uwagi na błędną reakcję urządzeń monitorujących sieć, wykorzystujących jako sygnał stanu awaryjnego prąd upływu.



(6) Struktura filtru CNW 204 firmy REO INDUCTIVE COMPONENTS AG dla sieci TN-C



(7) Struktura filtru CNW 105 firmy REO INDUCTIVE COMPONENTS AG dla sieci TN-S

## PARAMETRY EKSPLOATACYJNE FILTRÓW

### Prąd upływu

Jednym z najważniejszych parametrów w filtrach sieciowych oprócz charakterystyki tłumienności jest prąd upływu powstający w wyniku pojemności pasożytniczych i kondensatorów włączonych między przewodami przewodzącymi prąd, potencjałem uziemionych części obudowy. W filtrach sieciowych prąd upływu zależy w pierwszym rzędzie od sumy pojemności  $C_y$  między torami przewodów sieciowych, a obudową metalową. Prąd upływu nie może przekraczać określonych wartości podanych w normach. W katalogach filtrów wartości prądów upływu podawane są dla najmniej korzystnych warunków:

Tolerancji napięcia znamionowego + 10%

Tolerancja pojemności kondensatorów + 20%

Jedna faza przewodząca, dwie fazy przerwane.

Jeżeli przekroczone zostaną wartości dopuszczalnego prądu upływowego (np. 3,5 mA dla urządzeń w I klasie ochronności) należy podjąć następujące działania:

- zastosować przewód ochronny Cu o średnicy minimum 10 mm<sup>2</sup>
- ułożyć drugi dodatkowy przewód ochronny o odpowiednim przekroju
- kontrolować stan przewodu ochronnego z automatycznym odłączeniem napięcia w przypadku jego uszkodzenia.

### Kategoria klimatyczna wg IEC 68 – 1

Dolna temperatura graniczna - 25° C

Górna temperatura graniczna + 85° C

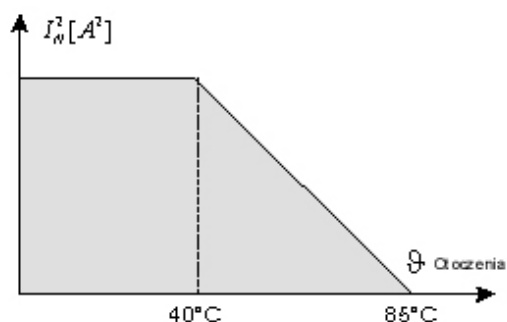
Wilgotność względna 96% 21 dni/rok

### Obciążalność prądowa przy temperaturze powyżej 40° C

$$I = I_N \sqrt{(85 - \vartheta) / 40}$$

Dopuszczalny prąd (obciążenia) przepływający przez filtr jest zależna od temperatury otoczenia. Do 40° przez filtr może przepływać prąd znamionowy, powyżej temperatury 40°C spada dopuszczalne natężenie prądu. W temperaturze 85° C osiąga punkt zerowy.

$\vartheta$  - temperatura otoczenia



(8) Dopuszczalny prąd obciążenia przepływający przez filtr w funkcji temperatury.

## Montaż filtrów sieciowych

Skuteczność filtra sieciowego zależy w bardzo poważnym stopniu od starannego montażu.

W celu uzyskania optymalnej skuteczności należy przestrzegać następujących warunków.

1. Przykręcić filtr do płyty montażowej stanowiącej potencjał odniesienia bezpośrednio blacha do blachy w celu ograniczenia impedancji szeregowej (płyta nie może być malowana, pokrycie galwaniczne musi być dobrym przewodnikiem prądu). Ograniczenie impedancji wynika z „odprowadzania” przez kondensatory filtra prądów wysokiej częstotliwości. Obudowa i oporność przejścia są znaczący obciążeniem dla tych prądów.
2. Przewody wejściowe i wyjściowe filtra należy prowadzić w przeciwnych kierunkach w celu ograniczenia oddziaływania prądów składowej asymetrycznej między równoległymi przewodami
3. Przewody wejściowe i wyjściowe poprowadzić tak aby przylegały do powierzchni płyty stanowiącej potencjał odniesienia w celu ograniczenia efektu anteny pętlowej między przewodami a obudową .
4. Przewody ekranowane wyprowadzać z ekranu jak najbliżej filtra, nie dalej niż kilka centymetrów. W ten sposób unika się bocznikowania filtra drogą promieniowania.
5. Nie wolno instalować żadnych urządzeń pomiędzy filtrem a urządzeniem chronionym lub stanowiącym źródło zaburzeń (przekształtnikiem). Maksymalna długość przewodów łączących przekształtnik z filtrem nie może przekraczać 40 cm.
6. Ekran przewodów powinny być połączone z uziemioną płytą montażową obejmami metalowymi tak aby ekran był dociśnięty na całym obwodzie. Nie wolno łączyć ekranów kabli z płytą uziemiającą przedłużkami tzw. pig talis.

## FILTRY WYJŚCIOWE

W stosowanych powszechnie przemiennikach częstotliwości duża częstość zmian prądu i duże stromości impulsów prądowych wywołanych komutacją bardzo szybkich przyrządów półprzewodnikowych mocy powodują, podobnie jak w obwodach wejściowych przemienników, szereg niekorzystnych zjawisk w obwodzie przekształtnik – połączenia kablowe – silnik.

Krótkie czasy przełączeń tranzystorów IGBT rzędu 100 ns oraz stromość fali prostokątnej na wyjściu przemiennika zawierającej się między 3 a 10 KV /  $\mu$ s powoduje pojawienie się w połączeniach kablowych prądów wysokiej częstotliwości. W tych warunkach kabel już przy długościach kilku metrów zachowuje się jak linia długa o parametrach rozłożonych z indukcyjnością i pojemnościami pasożytniczymi między przewodami oraz między przewodami a uziemionym przewodem ochronnym.

W dłuższych połączeniach przekształtnik – silnik, prądy wysokiej częstotliwości powodują powstanie przepięć znacznie przekraczających napięcie nominalne przemiennika. W kablach przepięcia te powodują mikro przebicia oraz proces niszczenia izolacji. W silnikach prądy wysokiej częstotliwości i związane z tym pojemności pasożytnicze wywołują naprężenia mechaniczne uzwojeń i w efekcie uszkodzenia izolacji. Następuje zwiększenie hałasów w silniku i związane z tym zwiększenie strat dodatkowych. W częściach mechanicznych silnika występuje zjawisko korozji elektrycznej. Niekorzystne zjawiska emisji prądów zakłóceń występują najczęściej w starszych konstrukcjach silników. W silnikach wyraźnie przewidzianych przez producenta do zasilania z przemienników częstotliwości zjawiska te są mniej krytyczne

Wysoka wartość  $du/dt$  w napięciu przemiennika może wywołać efekt rezonansu. Napięcie rezonansowe nakłada się na napięcie przemiennika. Chwilowy wzrost napięcia dochodzący do dwukrotnej wartości znamionowej, rejestrowany jest najczęściej od strony silnika.

W kablach bez ekranowania lub ekranowanych nieprawidłowo oprócz emisji przewodzonej prądów zakłócających występuje emisja przez promieniowanie.

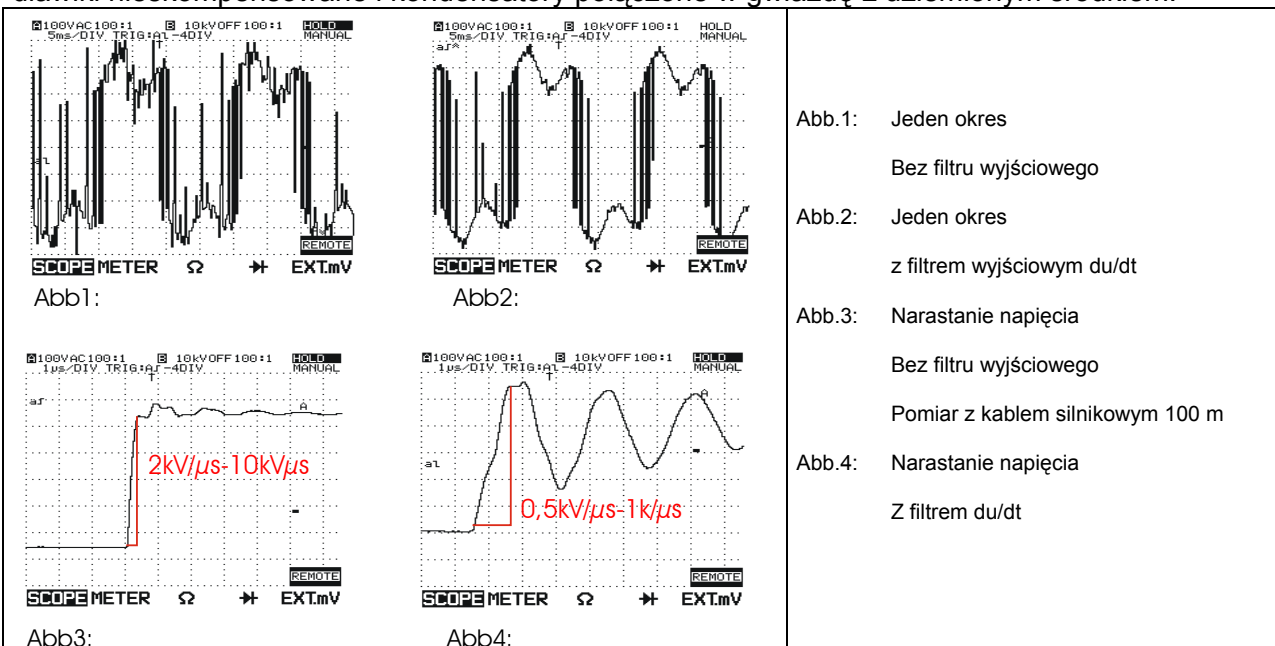
Dla zmniejszenia skutków zakłóceń w połączeniach kablowych i w samym silniku oraz dla zachowania warunków kompatybilności, REO INDUCTIVE COMPONENTS AB produkuje filtry  $du/dt$ , dławiki silnikowe i filtry sinusoidalne

**Filtry  $du/dt$ .** Efektem działania filtru  $du/dt$  jest ograniczenie stromości przebiegów impulsowych w napięciu przewodowym i ograniczenie ujemnych skutków prądów zakłócających. Filtry  $du/dt$  tłumią składową asymetryczną prądu zakłóceń. Skompensowany prądowo dławik ogranicza przepięcia powstałe na wyjściu przemiennika częstotliwości. Tłumiąc składową asymetryczną prądu zakłóceń zmniejszamy znacznie zakłócenia elektromagnetyczne w przedziale częstotliwości od 1 do 30 MHz.

Filtry  $du/dt$  mają mały strumień rozproszenia, mogą być zatem instalowane w pobliżu urządzeń elektronicznych.

Filtry  $du/dt$  ograniczające stromości występujących przepięć są skuteczne przy niewielkich długościach kabli (do 50 m) i częstotliwości modulacji przemienników powyżej 2,5 kHz.

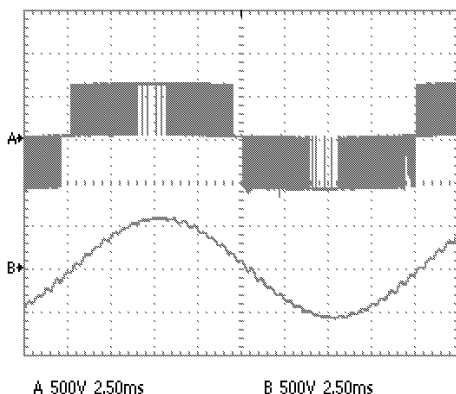
Inną wersją filtrów  $du/dt$  są filtry tłumiące impulsy zakłócające w przebiegach prądu i napięcia na wyjściu przemiennika częstotliwości. Ta wersja filtru posiada oprócz dławików skompensowanych, dławiki nieskompensowane i kondensatory połączone w gwiazdę z uziemionym środkiem.



(9) Przebiegi sygnałów wyjściowych przemiennika bez filtru i z filtrem wyjściowym  $du/dt$

**Dławiki silnikowe**, o dużej masie żelaza mają bardzo dobre właściwości magazynowania energii magnetycznej. Dławiki o dużej indukcyjności kompensują pojemności między przewodami fazowymi oraz między przewodami a potencjałem ziemi. tłumią zarówno składową symetryczną prądu zakłócenieniowego jak i składową asymetryczną. W typowych rozwiązaniach dławików silnikowych stromość narastania napięcia jest ograniczona do wartości poniżej 500V / s, a szczytowe wartości napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika są ograniczone do 1000V. Dławiki silnikowe bardzo dobrze tłumią zakłócenia sieciowe zarówno w paśmie wysokich częstotliwości jak i w dolnym zakresie częstotliwości (150 kHz), zmniejszają straty i hałas w silnikach elektrycznych. W porównaniu z filtrami du/dt są cięższe, mają większe wymiary i są droższe.

**Filtry sinusoidalne** są kombinacją indukcyjności i pojemności. Kształtują przebiegi impulsowe napięcia na wyjściu przemiennika częstotliwości modulowane określoną częstotliwością w przebieg o kształcie sinusoidalnym pozbawionym praktycznie przepięć zakłócających. Prąd fazowy ma przebieg sinusoidalny, zatem bilans strat i warunki pracy silników asynchronicznych zasilanych z przemienników z filtrami sinusoidalnymi na wyjściu są analogiczne jak przy zasilaniu z sieci przemysłowej. Dyskomfortem który należy uwzględnić przy zastosowaniu filtrów sinusoidalnych są straty wydzielane w filtrze. Filtry sinusoidalne należy stosować przy połączeniach kablowych o długości powyżej 100m, można wtedy zrezygnować z zastosowania kabli ekranowanych.



(10) Przebiegi napięcia wyjściowego z przemiennika częstotliwości  
a) bez filtru sinusoidalnego  
b) z filtrem sinusoidalnym

**Dobór filtru wyjściowego w zależności od parametrów obwodu  
przebiennik częstotliwości – silnik**

Częstotliwość wewnętrzna przemiennika	Odległość pomiędzy przemiennikiem i silnikiem		
	< 50 m	50 do 150 m	> 150 m
< 2,5 kHz	Dławik du/dt Dławik silnikowy	Dławik du/dt Dławik silnikowy	Filtr sinusoidalny
2,5 do 8 kHz	Dławik du/dt Dławik silnikowy	Dławik du/dt Dławik silnikowy	Filtr sinusoidalny
8 do 15 kHz	Filtr sinusoidalny	Filtr sinusoidalny	Filtr sinusoidalny