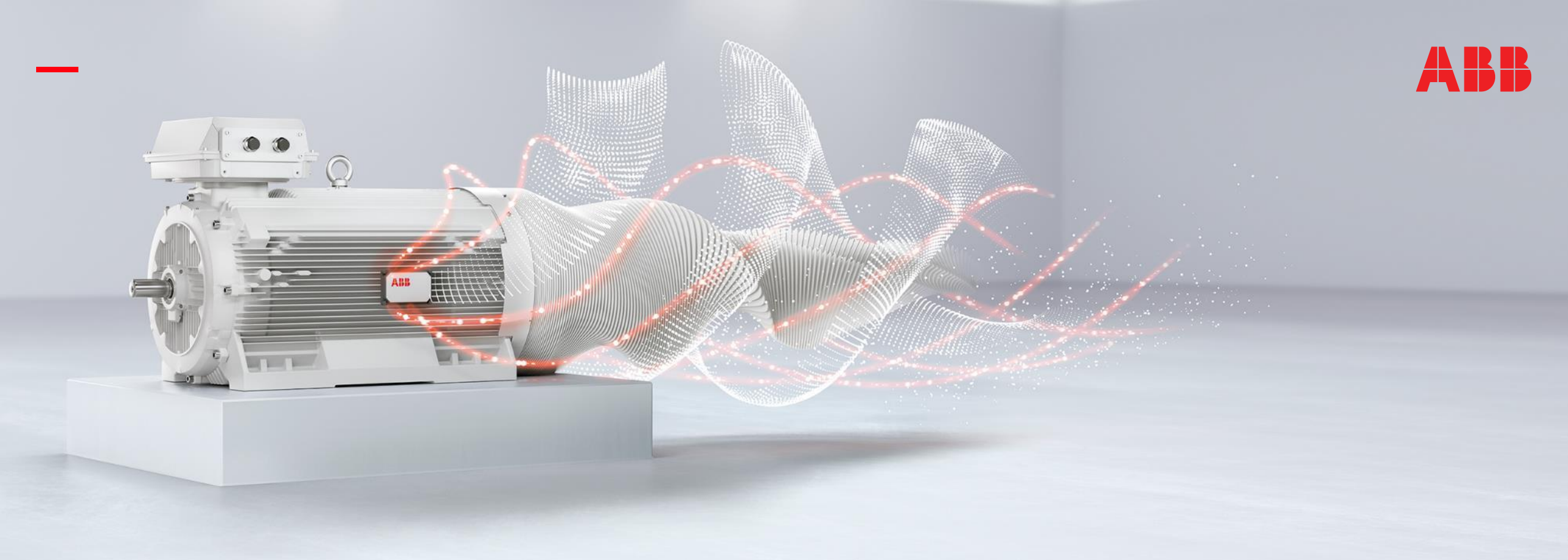


2020.08.18 WEBINAR

Napędy ABB

Zakłócenia w sieci elektrycznej i sposoby redukcji wyższych harmonicznych

Zakłócenia w sieci elektrycznej i sposoby redukcji wyższych harmonicznych

Agenda

- Czym są harmoniczne sieci?
- Przyczyny powstawania harmonicznych w sieci
- Metody ograniczania harmonicznych
  - Dławiki sieciowe
  - Filtry pasywne
  - Układy wielopulsowe
  - Filtry aktywne
  - Napędy o ultra niskiej emisji harmonicznych
- Porównanie rozwiązań

©ABB

Czym są harmoniczne sieci?

Czym są harmoniczne sieci?

Definicja

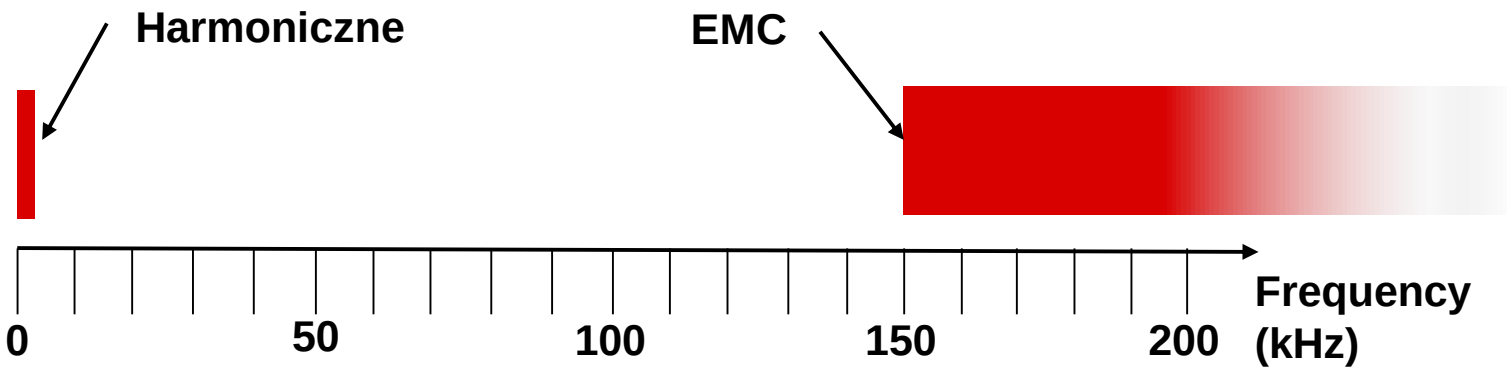
Harmoniczne sieci

Harmoniczna jest to składowa przebiegu o częstotliwości będącej całkowitą krotnością częstotliwości podstawowej (sieci).

Napięcia i prądy harmoniczne są zatem zjawiskami o niskich częstotliwościach, typowy ich zakres to od 100Hz do 2.5kHz.

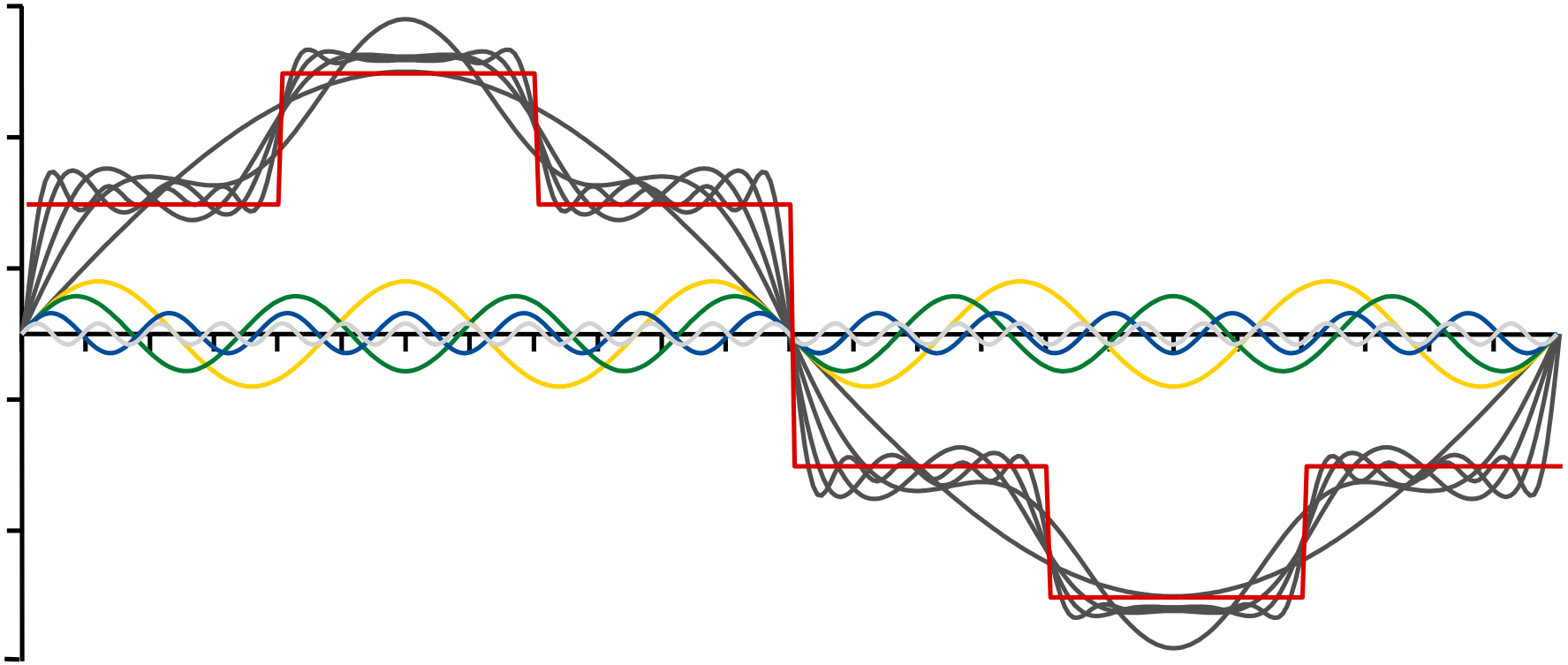
Harmoniczne sieci NIE są zakłóceniami EMC!

Zakłócenia EMC to sygnały o znacznie wyższym zakresie częstotliwości, powyżej 150kHz.



Czym są harmoniczne sieci?

Przykład zaburzenia przebiegu

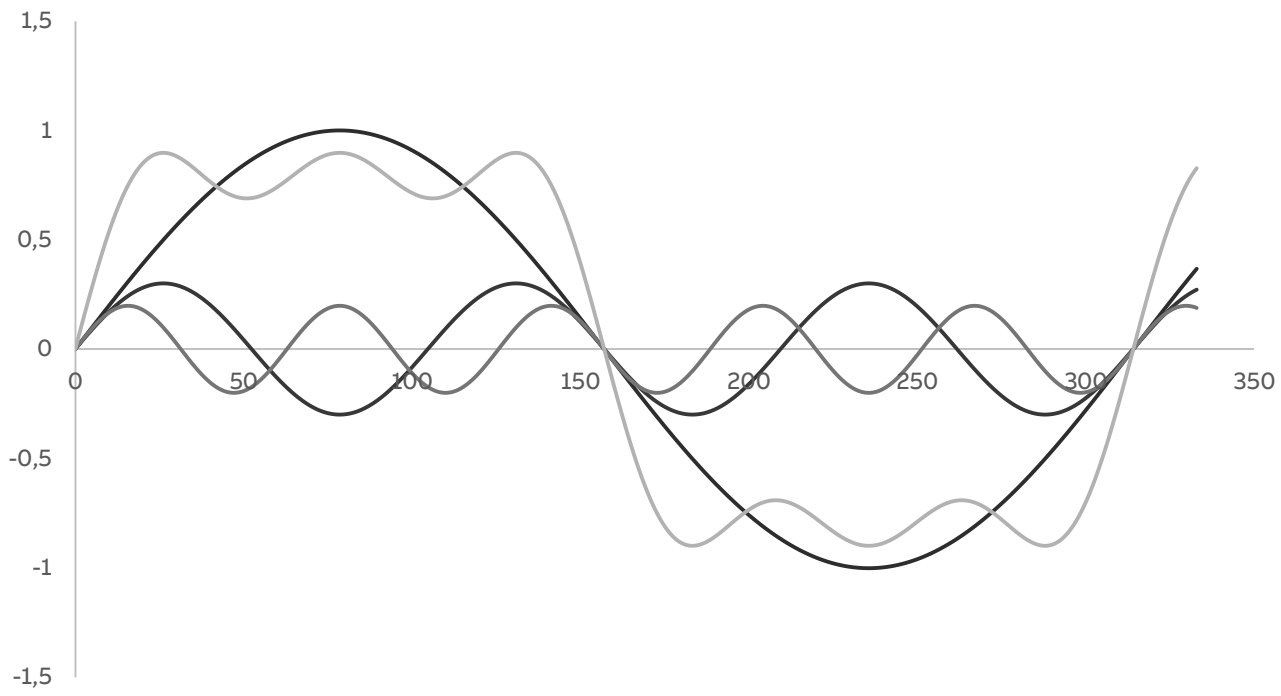


Podstawowa + piąta (H5) +siódma (H7) +trzynasta (H13) +dwudziesta piąta(H25) = przebieg schodkowy

©ABB

Czym są harmoniczne sieci?

Analiza widmowa



Każdy ciągły sygnał okresowy można przedstawić jako sumę komponentów sinusoidalnych

Czym są harmoniczne sieci?

Całkowity współczynnik odkształcenia – THD

Definicja

Całkowity współczynnik odkształcenia (Total Harmonic Distortion, THD) to stosunek wartości skutecznej wyższych harmonicznych sygnału, do wartości skutecznej składowej podstawowej, mierzony dla sygnału sinusoidalnego.

Wyrażany jest jako procent wartości składowej podstawowej.

Wartość ta reprezentuje całkowitą ilość odkształceń w sygnale.

Spektrum zakłóceń może zawierać także interharmoniczne, czyli składowe o niecałkowitej krotności częstotliwości podstawowej.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{N} U_n^2}}{U_1}$$

U_n = napięcie harmonicznej n-tego rzędu
U_1 = napięcie składowej podstawowej

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

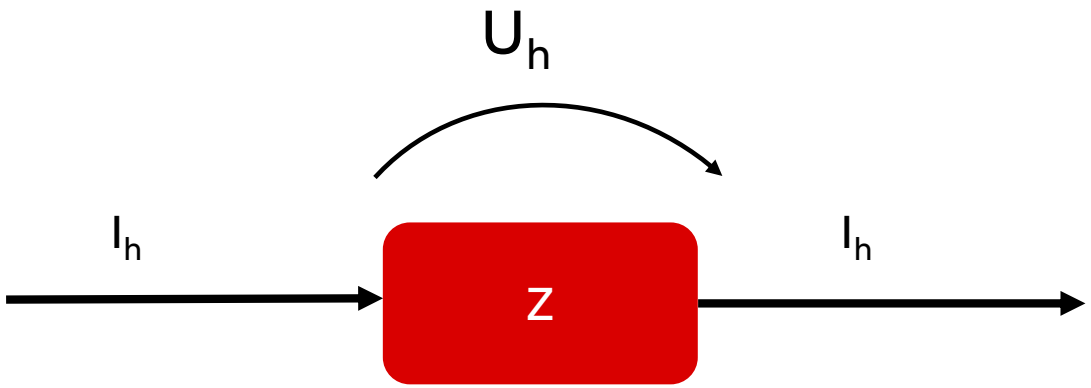
Źródło harmonicznych

Harmoniczne napięcia i prądu

Źródłem prądów harmonicznych są obciążenia nieliniowe.

Obciążenie nieliniowe może być uznawane za źródło prądów harmonicznych (I_h) wprowadzające te prąd do sieci zasilającej.

Prądy harmoniczne powodują spadki napięcia (U_h) na impedancjach sieci (Z) tworząc w ten sposób harmoniczne napięcia.



©ABB

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Czym są obciążenia nieliniowe?

Obciążenia nieliniowe w realnym świecie

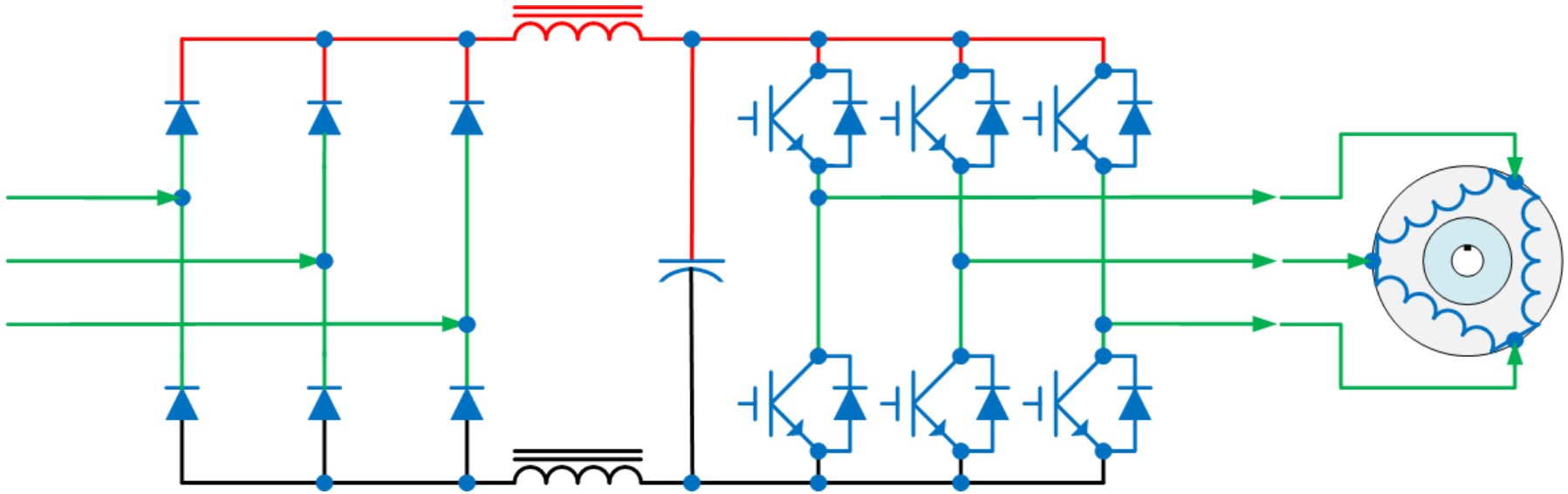
Świetlówki, ściemniacze
Wysokowydajne systemy oświetleniowe
Zasilacze komputerowe
Zasilacze impulsowe
Systemy UPS
Instalacje telekomunikacyjne
Przetwornice i konwertery

Obecnie prawie wszystkie urządzenia elektryczne i elektroniczne stanowią obciążenie nieliniowe.

W praktyce czysto liniowymi obciążeniami są jedynie silniki zasilane bezpośrednio z sieci, tradycyjne żarówki oraz grzałki.

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

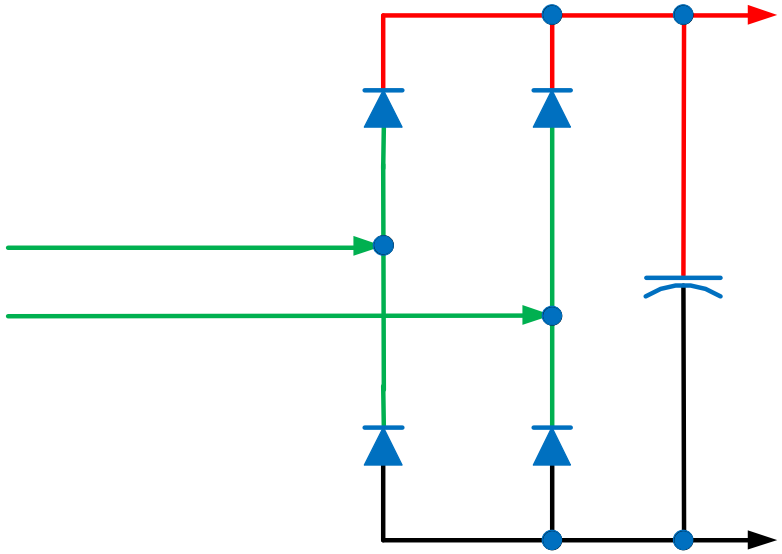
Przemiennik częstotliwości jako przykład obciążenia nieliniowego

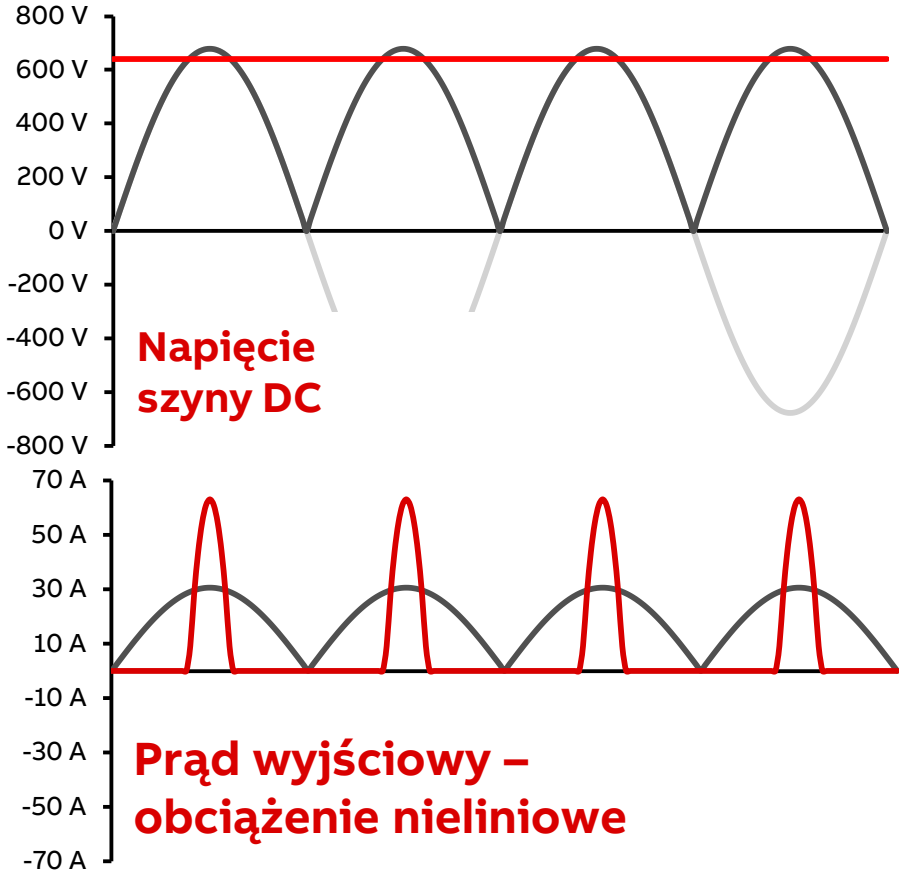


©ABB

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Prostownik jednofazowy

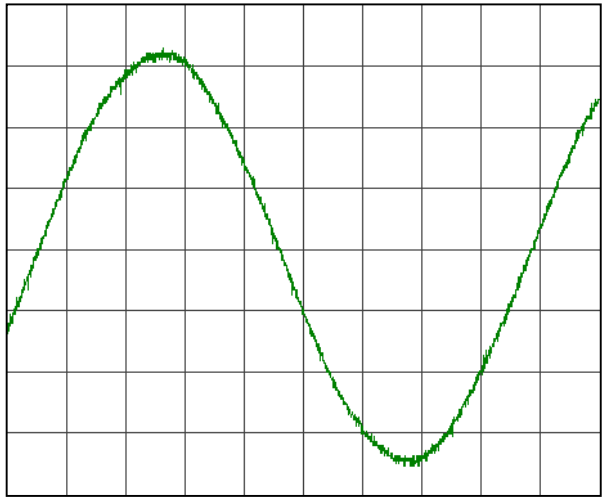




Obciążenia nieliniowe powodują powstawanie harmonicznych poprzez nieliniowy pobór prądu z sieci. Mówiąc inaczej, prąd z sieci pobierany jest „impulsami” zamiast poboru ciągłego.

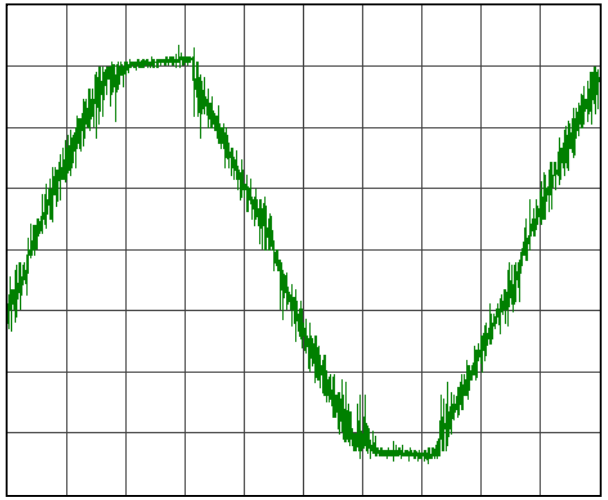
Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Harmoniczne napięcia



THD_U = 1.1%

Sieć sztywna

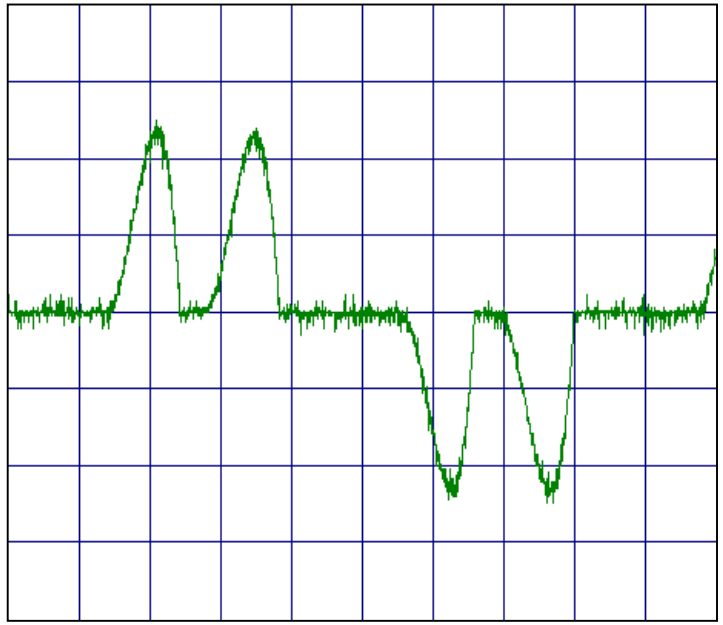


THD_U = 5.1%

Sieć słaba

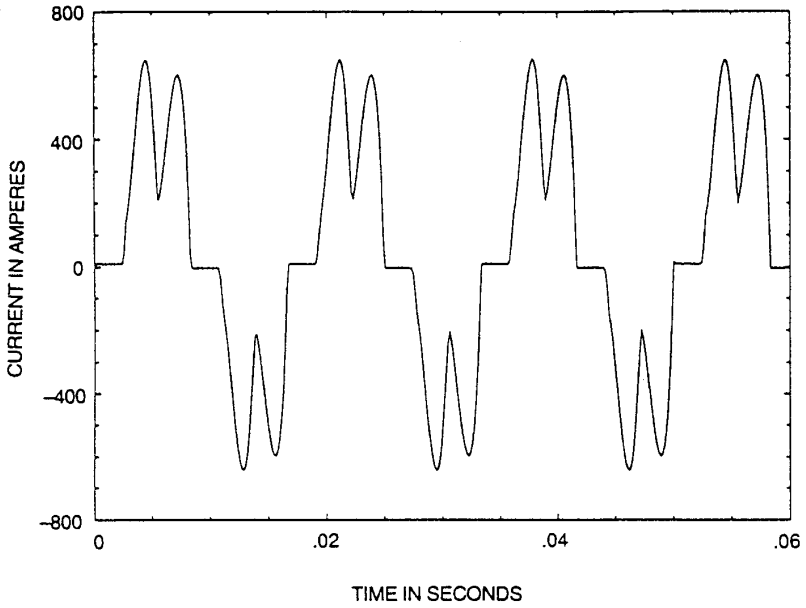
Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Harmoniczne prądu



$THDI_I$ = 80-90%

Brak impedancji w układzie



$THDI_I$ = 40%

Napęd z wbudowanym dławikiem

Przyczyny powstawania harmonicznych sieci

Powody, dla których ograniczanie harmonicznych jest istotne

Dlaczego trzeba o nie dbać?

- Stabilna paca urządzeń elektronicznych
  - Aparatura medyczna
  - Systemy komputerowe i teleinformatyczne
  - Systemy bezpieczeństwa np. lotniczego
- Ograniczenie poboru mocy biernej
  - Mniejsze transformatory, przekroje kabli, zabezpieczenia
  - Brak ryzyka kar za nadmierny pobór mocy biernej
- Słaba sieć ze względu na lokalizację
- Normy i wymagania prawne
  - IEC/EN61000-3-12
  - IEEE519-2014
- Wymagania w specyfikacjach technicznych

Metody ograniczania harmonicznych

Metody ograniczania harmonicznych

Dostępne rozwiązania

Techniki ograniczania emisji harmonicznych

- Dławiki AC i DC
  - Redukcja harmonicznych
- Filtry pasywne
  - Separacja – bufor pomiędzy siecią a obciążeniem nielinowym
- Układy wielopulsowe (mostki + transformatory)
  - Usunięcie części harmonicznych
- Filtry aktywne
  - Aktywne usuwanie składowych harmonicznych poprzez generację sygnału w przeciwfazie
- Mostek aktywny (napęd o ultra niskiej emisji harmonicznych)
  - Zarządzanie na poziomie zacisków napędu

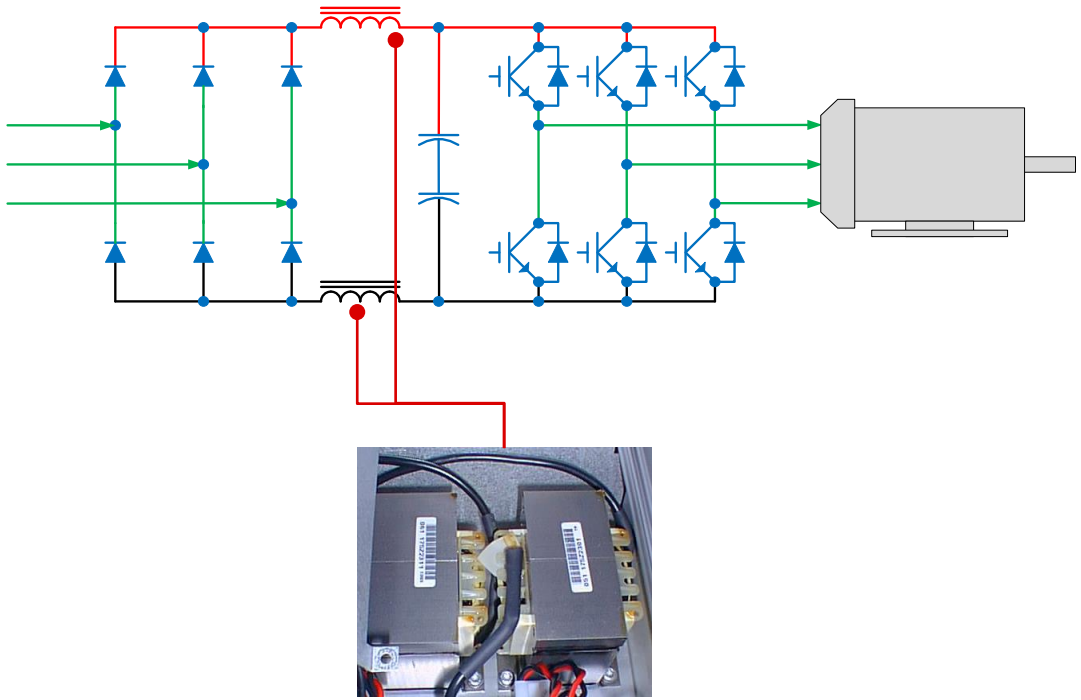
- Napędy z ograniczoną pojemnością lub brakiem kondensatorów szyny DC (napędy „macierzowe”)
  - Redukcja harmonicznych okupiona ograniczeniem funkcjonalności, zwłaszcza w przypadku zaburzeń w sieci zasilającej

©ABB

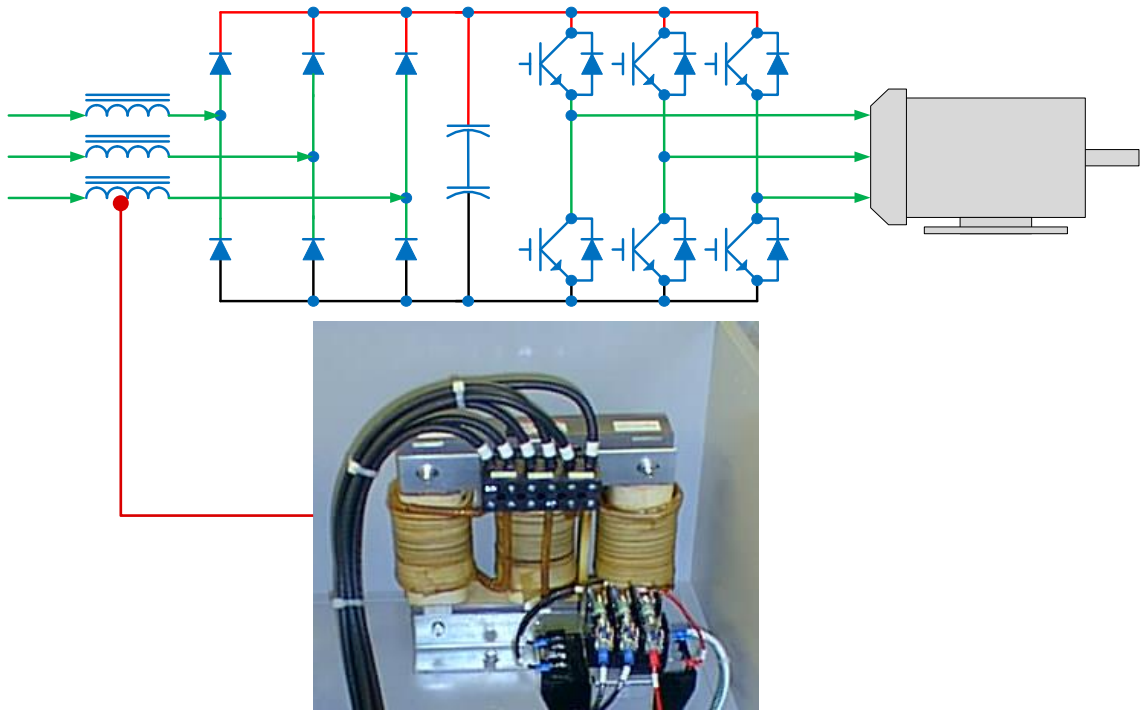
Metody ograniczania harmonicznych

Dławiki

Dławik DC



Dławik AC



©ABB

Metody ograniczania harmonicznych

Dławiki sieciowe

Za

- Często stanowią standardowe wyposażenie napędu
- Redukcja harmonicznych, do poziomów wystarczających w znacznej większości właściwie zaprojektowanych i eksploatowanych sieci zasilających
- Nie tylko redukują emisję harmonicznych do sieci przez napęd, ale chronią tez napęd przed niepożądanymi stanami sieci
- Zintegrowany dławik sieciowy pozwala na oszczędność miejsca

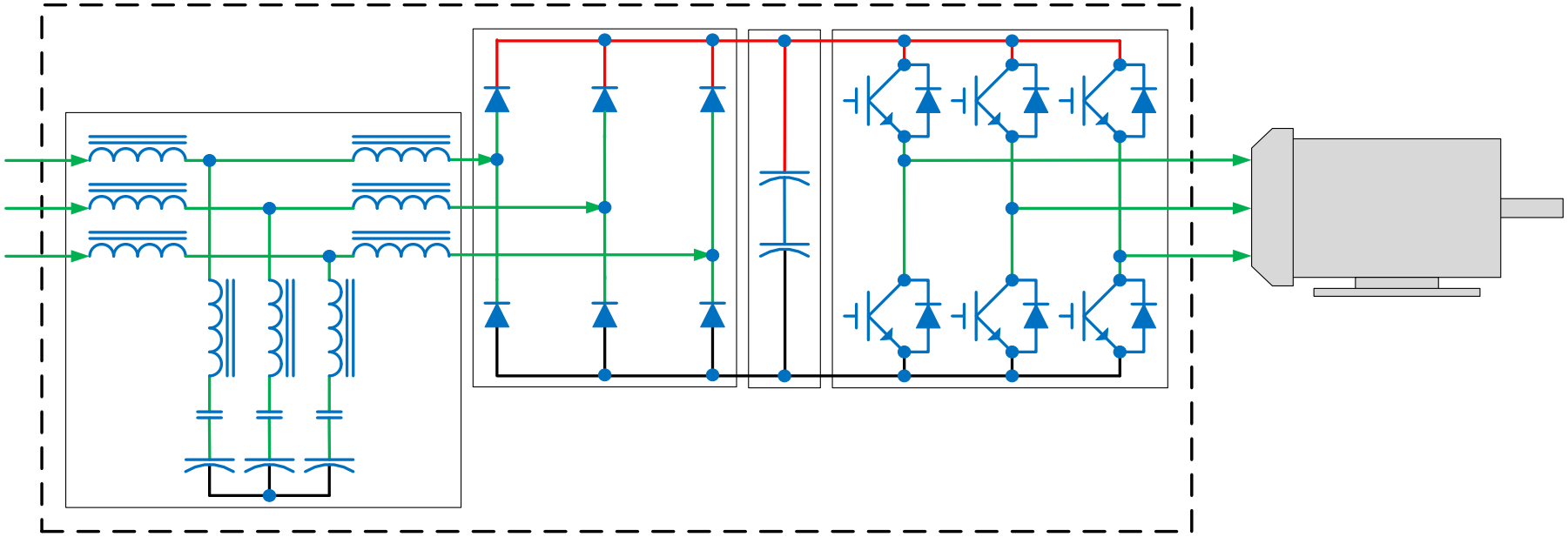
Przeciw

- Mogą być niewystarczające w niektórych przypadkach (wtedy koniecznym może być użycie innych metod)
- Zwiększają koszt napędu

Proste i niedrogie rozwiązanie dla większości przypadków

Metody ograniczania harmonicznych

Filtr pasywny



©ABB

Metody ograniczania harmonicznych

Filtr pasywny

Za

- Znaczna redukcja harmonicznych
- Poziom harmonicznych prądowych w zakresie od 6% do 11%, ale tylko w punkcie pracy
- Może zostać użyty ze standardowym napędem
- Możliwa modernizacja istniejącego układu

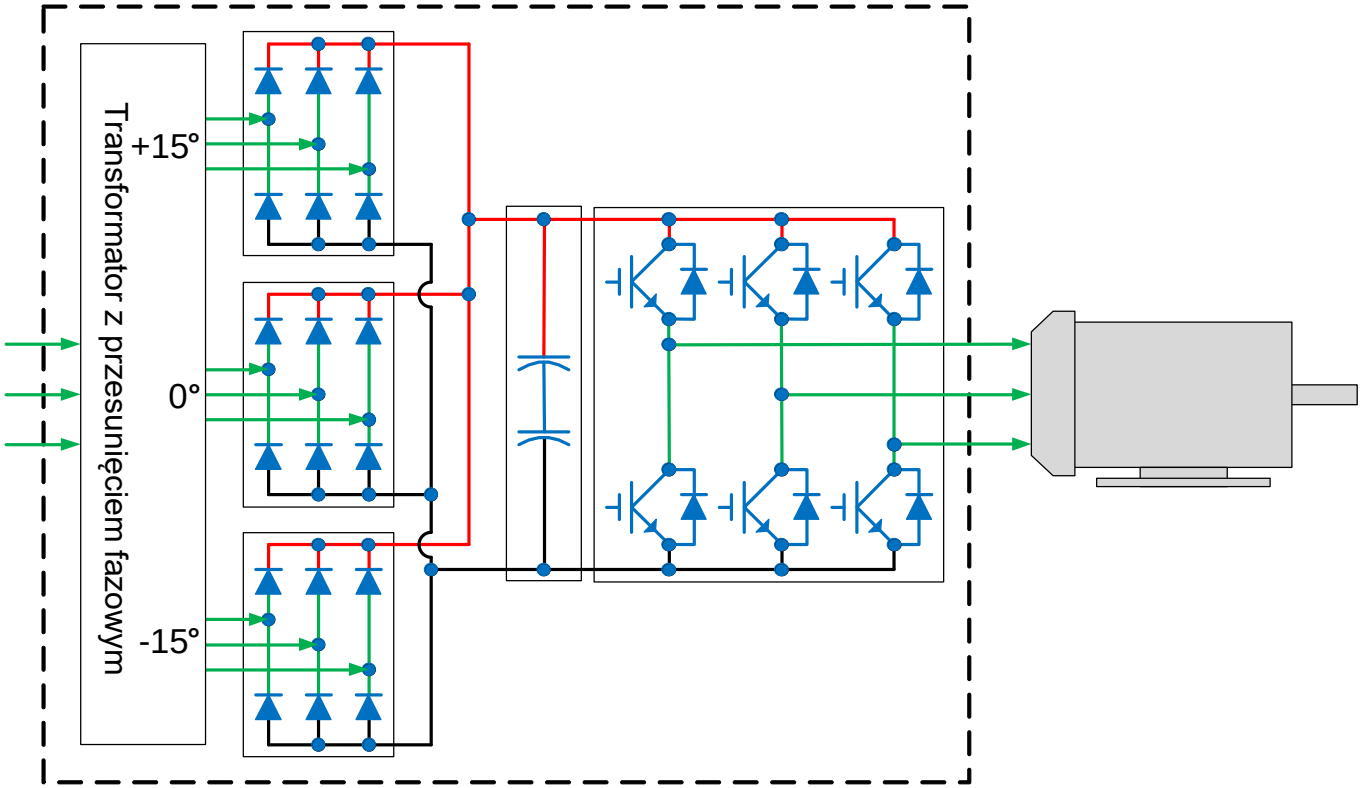
Przeciw

- Duże gabaryty, potrzebna jest osobna szafa zwłaszcza jeśli wymagany jest odpowiedni stopień ochrony
- Mocne uzależnienie poziomu redukcji harmonicznych od realnego obciążenia w układzie
- Przy niskich obciążeniach może prowadzić do wyprzedzającego współczynnika mocy
- Ryzyko powstania rezonansów, jeśli kilka filtrów działa w tej samej sieci zasilającej
- W przypadku, jeśli wymagany będzie nadzór nad filtrem – konieczne może być wykorzystanie wejść i wyjść napędu lub zastosowanie nadrzędnego PLC

Podstawowe rozwiązanie ograniczana harmonicznych lecz z ryzykiem rezonansów i wyprzedzającego cosϕ.

Metody ograniczania harmonicznych

Prostownik wielopulsowy

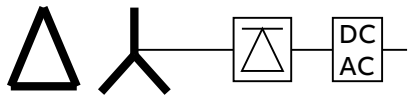


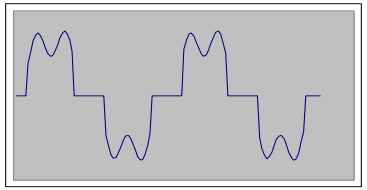
Metody ograniczania harmonicznych

Prostownik wielopulsowy

6-pulsowy

Schemat i przebieg

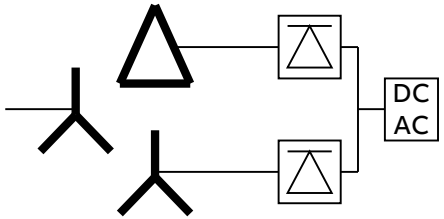


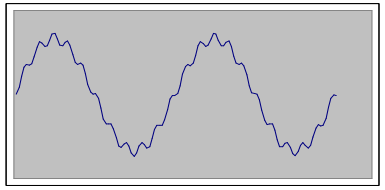


- THD_I od 32% do 48%
- Harmoniczne:
  - 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, 41, 43, 47, 49

12-pulsowy

Schemat i przebieg:

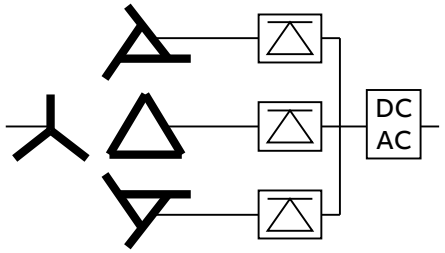


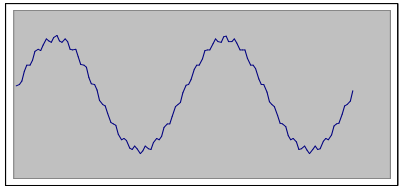


- THD_I od 8% do 12%
- Harmoniczne:
  - 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, 41, 43, 47, 49

18-pulsowy

Schemat i przebieg:





- THD_I od 5% do 8%
- Harmoniczne:
  - 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, 41, 43, 47, 49

Metody ograniczania harmonicznych

Prostownik wielopulsowy

Za

- Pozwala na znaczącą redukcję harmonicznych (zwłaszcza układy 18-pulsowe i wyższe)
- Tradycyjny sposób redukcji harmonicznych

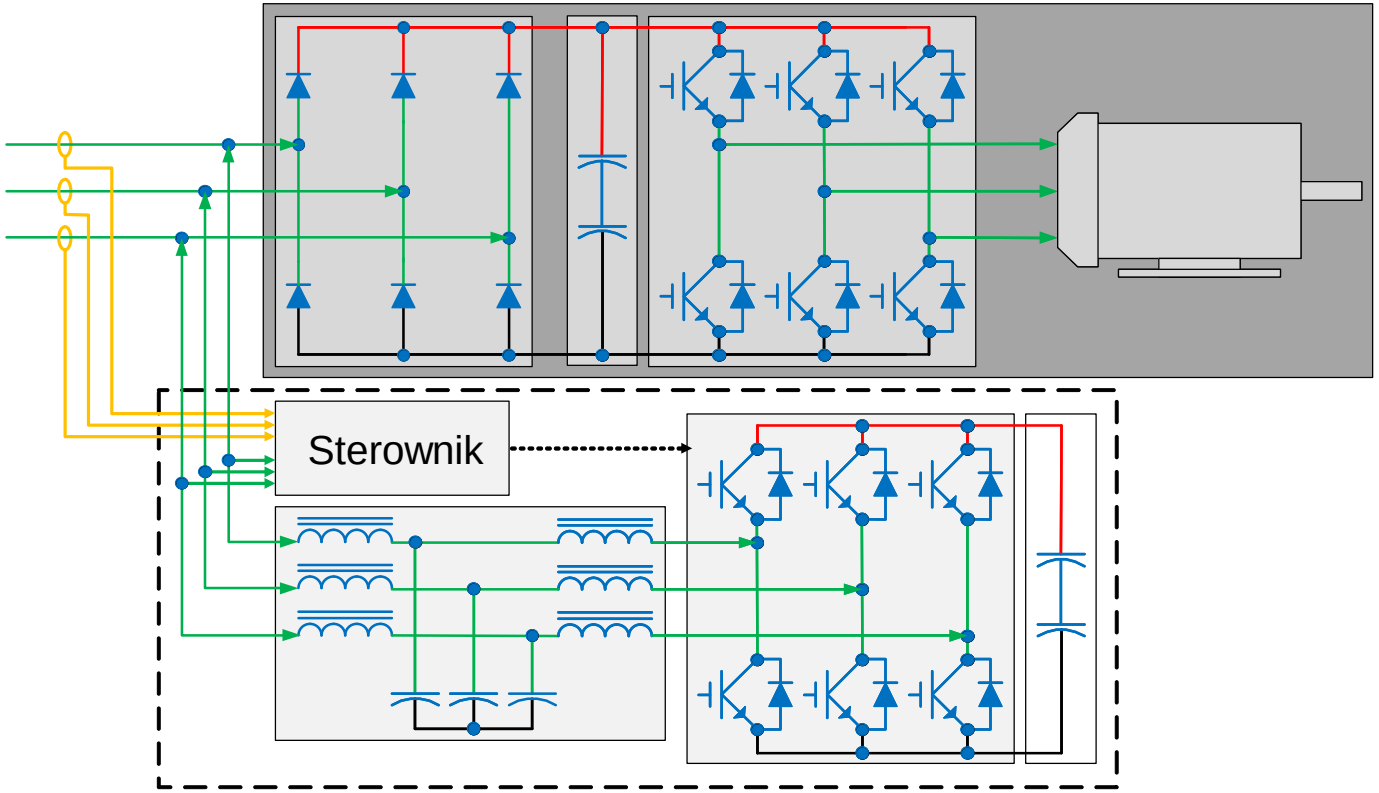
Przeciw

- Duże rozmiary, duży koszt
- Wymagany specjalny transformator
- Generacja ciepła
- Istniejące niezbalansowania sieci, uzwojeń transformatora i harmoniczne redukują wydajność układu
- Nie jest możliwa łatwa modernizacja istniejących układów

Tradycyjna i dobrze znana metoda, lecz bardzo droga ze względu na wymagany transformator.

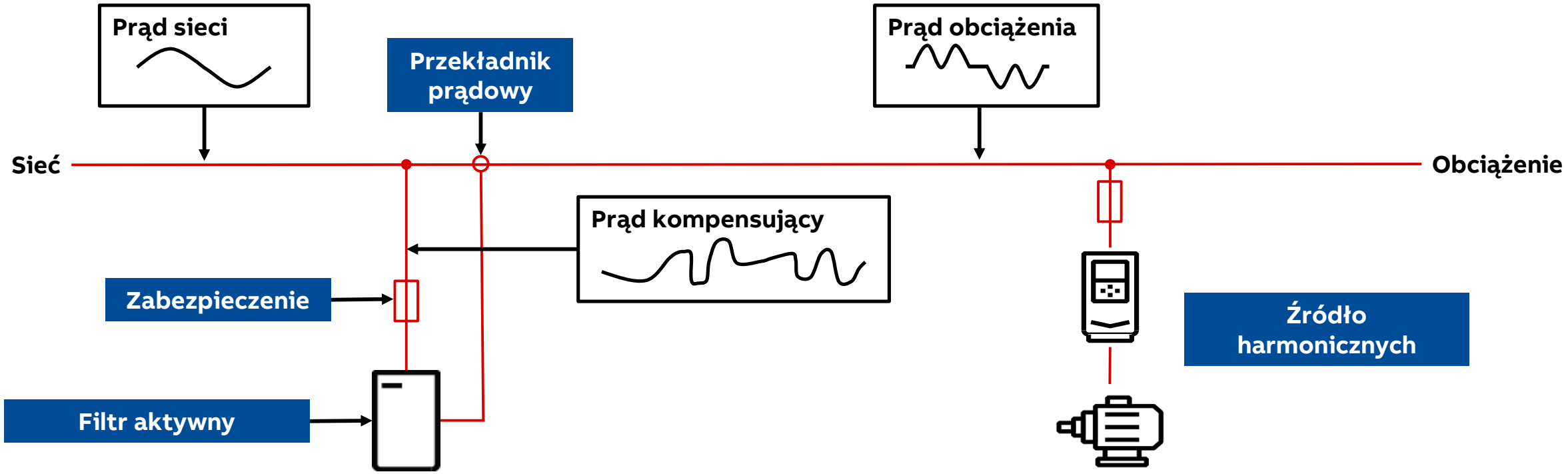
Metody ograniczania harmonicznych

Filtr aktywny



Metody ograniczania harmonicznych

Filtr aktywny



Metody ograniczania harmonicznych

Filtr aktywny

Za

- Możliwa redukcja harmonicznych prądowych do wartości 5%
- Osiągają dobre wyniki również dla napędów obciążonych częściowo
- Wysoki współczynnik mocy systemu
- Mogą stanowić element modernizacji istniejącego układu
- Mogą być użyte w przypadku wielu obciążeń nieliniowych

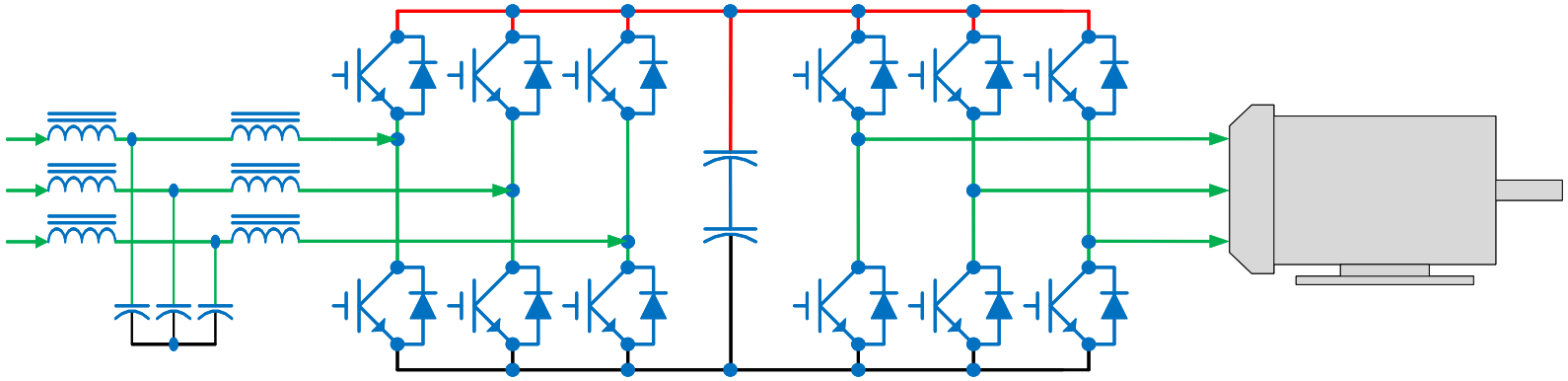
Przeciw

- Duże gabaryty i wysoki koszt
- Konieczne studium jakości zasilania celem ustalenia optymalnej lokalizacji filtra w sieci
- Wymagana instalacja i okablowanie zewnętrznych czujników
- Jeśli w systemie istnieje tylko jeden filtr aktywny, jego awaria powoduje natychmiastowy, znaczny wzrost harmonicznych

Bardzo dobre własności filtrujące, ale wysoki koszt i poziom skomplikowania układu

Metody ograniczania harmonicznych

Mostek aktywny – napędy o ultra-niskiej emisji harmonicznych (ULH)



Metody ograniczania harmonicznych

Mostek aktywny – napędy o ultra-niskiej emisji harmonicznych (ULH)

Pełne napięcie na silniku

Aktywny mostek zasilający pozwala na podbicie napięcia szyny DC

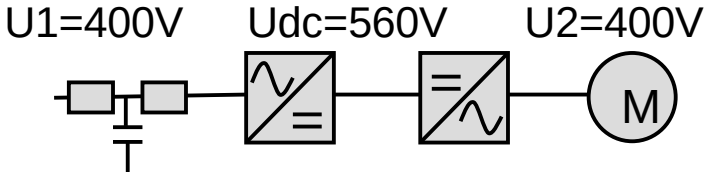
Mostek wejściowy utrzymuje napięcie DC na wymaganym poziomie

Brak spadków napięć spowodowanych filtrowaniem harmonicznych

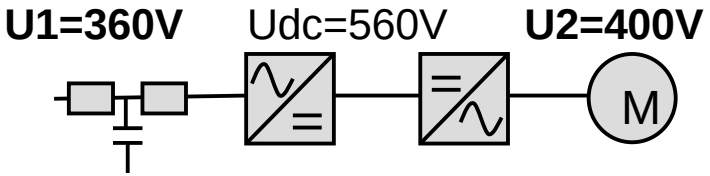
W słabych sieciach i sieciach o zmiennych parametrach możliwe jest uzyskanie stabilnego napięcia na silniku niezależnie od stanu sieci

Jest to duża zaleta i ułatwienie z punktu widzenia wymiarowania silnika

Napięcie sieci 400V



10% spadek napięcia w sieci



Metody ograniczania harmonicznych

Mostek aktywny – napęd o ultra niskiej emisji harmonicznych (ULH)

Za

- Możliwe obniżenie poziomu harmonicznych nawet do 3-5% prądu znamionowego
- Jednostkowy współczynnik mocy (cosϕ = 1.0)
  - Niższe prądy całkowite, możliwe użycie mniejszego transformatora (współczynnik wymiarowania 1.1 zamiast 1.35), kabli o mniejszym przekroju
- Kompaktowe wymiary, jedno urządzenie – mostek aktywny i filtr wbudowane w napęd
- Możliwość podbicia napięcia na szynie DC
- Możliwość zwrotu energii odzyskanej w procesie hamowania do sieci (napędy regeneracyjne)
- Wysoka sprawność całego układu

Przeciw

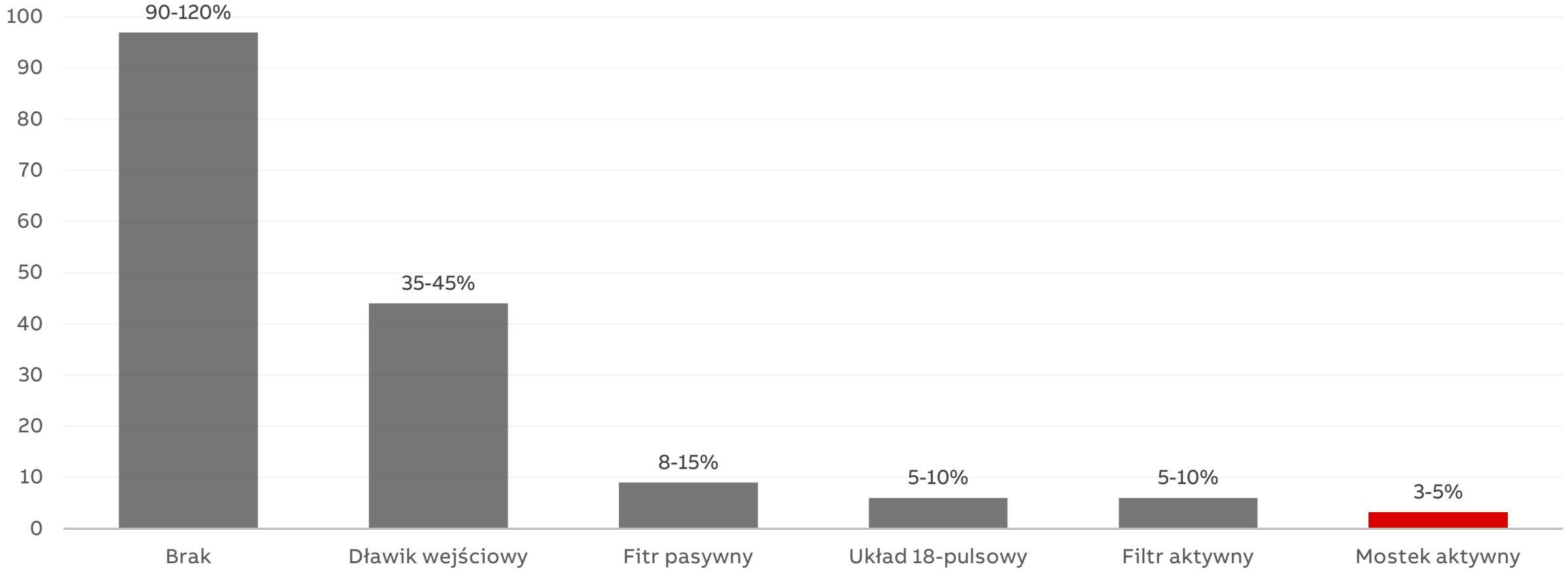
- Cena premium
- Większe gabaryty niż zwykły napęd 6-pulsowy z dławikiem siecowym
- Nie jest możliwa modernizacja istniejącego napędu

Proste, wydajne rozwiązanie w kompaktowej obudowie

Porównanie rozwiązań

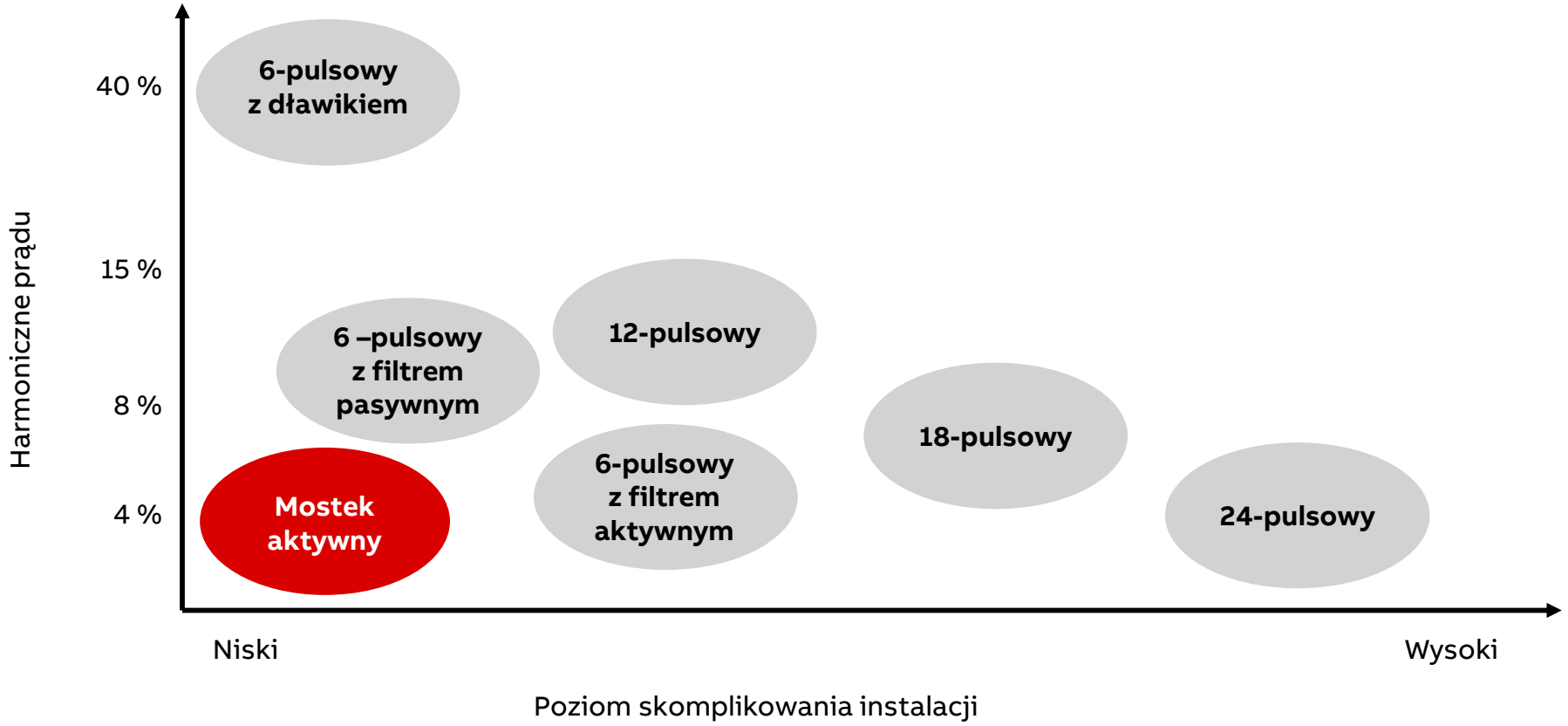
Porównanie rozwiązań

Poziomy harmonicznych



Porównanie rozwiązań

Jakość redukcji a poziom skomplikowana instalacji



Porównanie rozwiązań

W szczegółach

Porównanie dostępnych rozwiązań technicznych

	6-pulsowy prostownik diodowy bez dławika	6-pulsowy prostownik diodowy z dławikiem	6-pulsowy falownik z filtrem pasywnym	6-pulsowy falownik z filtrem aktywnym	Napęd z mostkiem wielopulsowym	Napęd z mostkiem aktywnym IGBT
THDi przy obciążeniu 100%	>100%	~40%	<10%	**<5%**	6 do 10% (12p) <6% (18p)	**<5%**
Sprawność całego napędu	**~98%**	~97%	~96,5%	~96,5%	~96%	~96,5%
Rzeczywisty współczynnik mocy	~0,7 przy znamionowym obciążeniu	~0,98 przy znamionowym obciążeniu	~0,98 przy znamionowym obciążeniu	~0,99 przy znamionowym obciążeniu	~0,98 przy znamionowym obciążeniu	**~1,0 w całym zakresie obciążenia**
Łatwość instalacji	**Jedno urządzenie**	Jedno lub dwa oddzielne urządzenia	Dwa oddzielne urządzenia	Dwa oddzielne urządzenia	Dwa lub więcej oddzielnych urządzeń	**Jedno urządzenie**
Wymagana ilość miejsca na instalację	**100%**	110%	250%	250%	300%	120%
Całkowity koszt instalacji	**100%**	120%	190%	230%	200%	190%

©ABB

Porównanie rozwiązań

Podsumowanie

Wnioski

- Harmoniczne są zaburzeniami sieci o niskich częstotliwościach (do 2500Hz)
- Powstają one wszędzie tam, gdzie obciążenie ma charakter nieliniowy
- Mogą prowadzić do nieprawidłowej pracy urządzeń elektronicznych jak również do sankcji ze strony operatora sieci
- Jest wiele metod radzenia sobie z harmonicznymi
- Wybór metody zależy od wielu czynników takich jak wymagany poziom redukcji harmonicznych, zasięg redukcji, możliwości techniczne pod względem miejsca instalacji jak również czynniki finansowe
- Nie ma jednej, zawsze pewnej i jednakowo skutecznej metody redukcji harmonicznych – zawsze należy dokonać analizy posiadanego lub budowanego układu i wybrać najlepiej dopasowane rozwiązanie
- Warto mieszać różne rozwiązania – tak aby uzyskać odpowiedni współczynnik THD wymagany przez operatora sieci
- Najlepsze efekty w zakresie „jednostkowej” redukcji harmonicznych daje użycie napędów o ultra niskiej emisji harmonicznych opartych o aktywne mostki prostownicze IGBT

©ABB

Portfolio produktów ABB

Napędy o ultra niskiej emisji harmonicznych

Napędy ULH

- Napędy przemysłowe ACS880
  - Naścienne ACS880-31
  - Moduły ACS880-34
  - Szafy ACS880-37
  - Szafy Multidrive
- Napędy aplikacyjne – przemysł wodny
  - Naścienne ACQ580-31
  - Moduły ACQ580-34
- Napędy aplikacyjne – HVAC
  - Naścienne ACH580-31
  - Moduły ACH580-34
- Napędy średniego napięcia

©ABB

ABB