



Europejski  
Instytut Miedzi  
Copper Alliance



---

## **Jakość energii** Harmoniczne – Filtry aktywne

Shri Karve  
MGE UPS System Ltd

Nr ref EIM: EIM01210

# Filtry aktywne

W niespełna 10 lat jakość zasilania urosła od zainteresowania naukowców do kwestii o najwyższym znaczeniu. Przy ciągle rosnącej ilości obciążeń urządzeń elektronicznych i zwiększającej się ilości zakłóceń harmonicznych w systemie zasilania, firmy w coraz większym stopniu zależne są od urządzeń wrażliwych na zakłócenia w zasilaniu energią elektryczną. Filtry aktywne stają się coraz ważniejsze dla zakładów energetycznych i ich klientów.

## Wstęp

Problemy wywoływane przez prądy harmoniczne w instalacjach i sieciach zasilania są omówione w dokumencie *Harmoniczne – Przyczyny powstawania i skutki działania*. Duża część obciążenia istniejącego w przemyśle, handlu i gospodarstwach domowych to obecnie obciążenie nieliniowe, a poziom zakłóceń w sieciach niskiego napięcia jest poważnym problemem. Możliwe problemy, które mogą wywołać zbyt wysokie harmoniczne napięcia w sieci zasilania zauważono już dawno i stworzono procedury oraz standardy, aby wyeliminować zniekształcenia. Zastosowanie tych procedur i standardów przyniosło pozytywne skutki w tym sensie, że problemy klientów prawie zawsze mają swoje źródło wewnątrz swoich własnych instalacji i rzadko pochodzą z sieci. Jeśli taka sytuacja ma się utrzymać, użytkownicy powinni ograniczyć harmoniczne prądy wprowadzane do sieci. Aby to zrobić, muszą stosować filtrację harmoniczną przy pomocy trzech dostępnych metod, z których każda ma zalety i wady:

- filtry bierne,
- transformatory - izolacja, połączenie zygzak, połączenia grupowe transformatorów,
- filtry aktywne.

Ten dokument omawia zastosowanie filtrów czynnych, czasami nazywanych czynnymi korektorami harmonicznymi (AHC). Przykład urządzenia tutaj omawianego to korektor produkowany przez firmę MGE UPS Systems Limited i sprzedawany pod nazwą handlową „SineWave”.

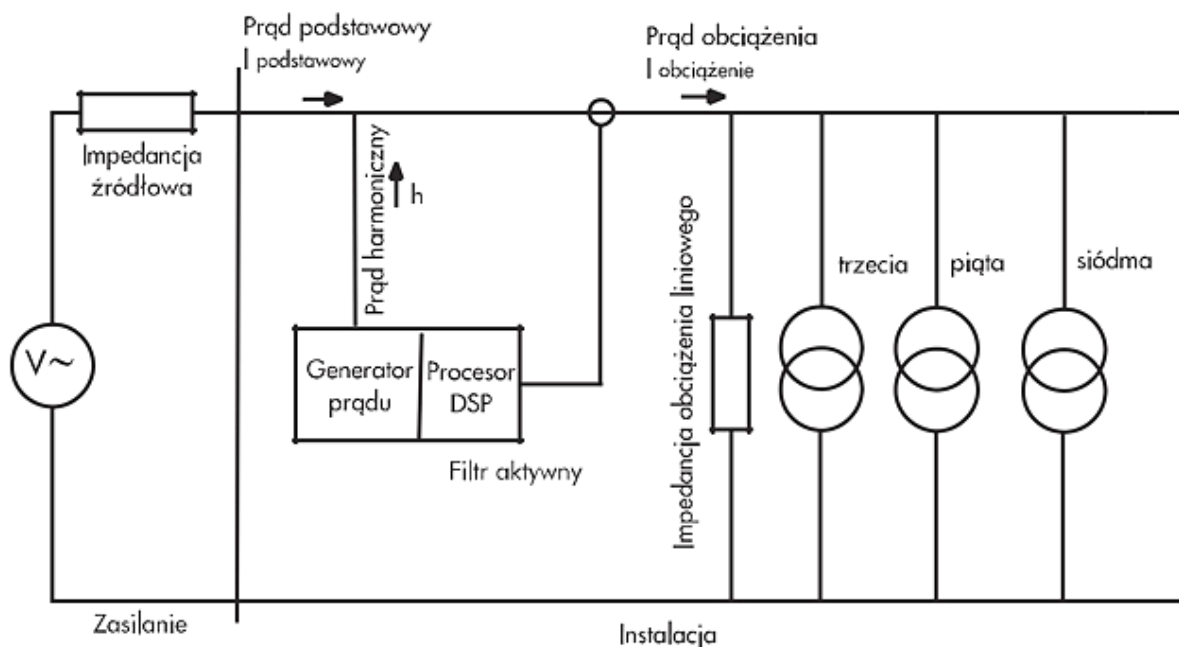
Dostarczane urządzenia łagodzące wpływ harmonicznych mogą spełniać wymagania dostawcy energii (tzn. wymagania G5/4 lub ich miejscowe odpowiedniki) lub rozwiązywać problemy z harmonicznymi wewnątrz sieci użytkownika energii. Umiejscowienie i rodzaj stosowanych urządzeń zależy od konkretnych warunków danego zakładu i zwykle wymaga szczegółowego badania harmonicznych.

Tam gdzie stosuje się urządzenia przetwarzające dane, występują wszystkie nieparzyste harmoniczne, wywołujące takie problemy jak przeciążenie przewodów neutralnych harmonicznymi 3-go rzędu (nieparzyste wielokrotności trzech). Takie problemy można zmniejszyć przez stosowanie sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych - prawidłowe wymiarowanie kabli w momencie ich instalowania. Jednak często zmiany w przeznaczeniu budynku lub rozplanowanie pomieszczeń powodują pojawianie się takich problemów dopiero później. Problem jest większy w przypadku pomieszczeń biurowych często zmienianych, co za sobą pociąga zmiany profilu zasilania obwodów ze stosunkowo „czystego” na posiadający wiele odkształceń. Innymi słowy, harmoniczne zmieniają się wraz ze zmianami w budynkach i w miarę dodawania nowych i przemieszczaniem starych urządzeń. Takie zmiany zwykle planuje się, zapominając o wpływie, jakie mogą one wywierać na instalacje elektryczne.

Wymiana kabli w budynku bez przerywania w nim pracy może być bardzo droga i zajmująca i dlatego należy stosować inne metody rozwiązywania problemów z harmonicznymi. Możliwe jest zastosowanie filtrów biernych, ale dość trudno zaprojektować wydajny filtr bocznikowy trzeciej harmonicznej. Wszystkie filtry bierne będą działać tylko na te częstotliwości harmoniczne, na które zostały zaprojektowane, tak więc konkretne częstotliwości mogą wymagać zastosowania konkretnych filtrów. W każdym razie, w miarę zmiany działania i powstawania zakłóceń harmonicznych, filtry bierne mogą wymagać wymiany lub uzupełnień. Transformatory połączone zygzakowo i transformatory z izolacją w trójkąt są skuteczne w zwalczaniu harmonicznych 3-go rzędu, ale nie mają wpływu na inne harmoniczne. W takiej sytuacji dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie filtrów aktywnych.

## Topologia filtrów aktywnych

Pomysł stosowania filtrów aktywnych jest dość stary, jednak brak odpowiedniej niedrogiej techniki spowolnił prace nad takim urządzeniem na wiele lat. Dzisiaj szeroko dostępne izolowane bramkowe tranzystory bipolarne (IGBT) oraz cyfrowe procesory przetwarzające sygnał y (DSP) sprawiają, że filtry aktywne (AHC) są bardzo praktycznym rozwiązaniem. Sposób działania takich urządzeń jest prosty; stosuje się zasilacze elektroniczne do wytwarzania prądów harmonicznyc, wymaganych przez obciążenia nieliniowe, tak że potrzebne jest normalne zasilanie, aby dostarczyć prąd podstawowy. Rysunek 1 przedstawia zasadę działania urządzenia bocznikowego.



Rysunek 1. Filtr aktywny połączony równolegle.

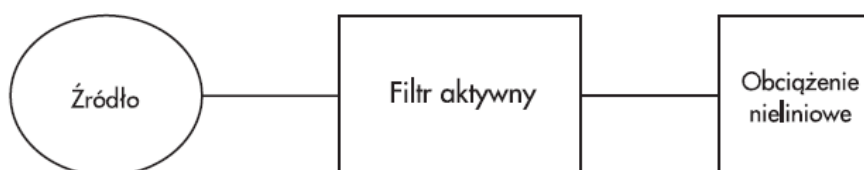
Prąd obciążenia mierzony w przekładniku prądowym jest analizowany przez procesor (DSP), aby wyznaczyć profil harmonicznyc. Ta informacja jest wykorzystywana przez generator harmonicznyc do generowania dokładnie takich harmonicznyc prądowyc, jakie są pobierane od strony zasilania w następnym okresie fali podstawowej. W praktyce harmoniczna prądowa jest obniżana o około 90%.

Ze względu na to, że działanie filtra aktywnego opiera się na pomiarze z przekładnika prądowego, szybko dostosowuje się on do zmian harmonicznyc obciążenia. Analiza i generowanie harmonicznyc to procesy sterowane cyfrowo i dlatego łatwo zaprogramować urządzenie do usuwania tylko niektórych harmonicznyc w celu zapewnienia jak największej wydajności przy danych parametrach takiego urządzenia.

Istnieje wiele różnych topologii filtrów aktywnyc. Niektóre z nich są opisane poniżej. Dla każdej topologii problem stanowią wymagane parametry znamionowyc składowyc oraz metoda doboru całego urządzenia pod względem obciążeń, które należy korygować.

## Filtry aktywne szeregowe

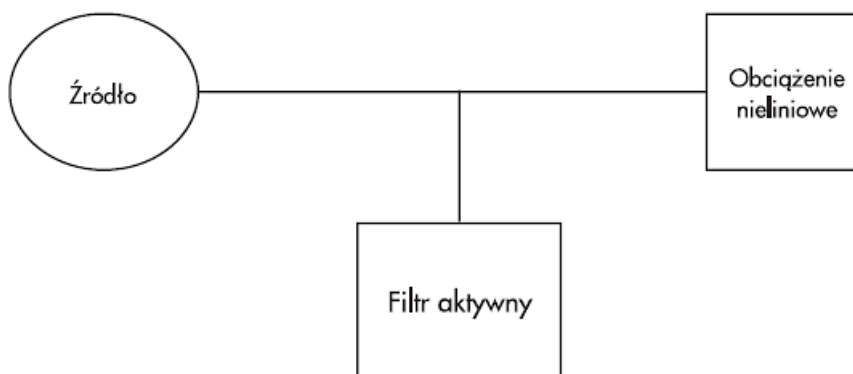
Ten rodzaj filtrów połączonych szeregowo w sieci rozdzielczej koryguje zarówno harmoniczne prądowe pobierane przez obciążenie, jak i odkształcenia napięcia już obecne w systemie zasilania. Z technicznego punktu widzenia takie rozwiązanie jest podobne do filtra liniowego i musi być dostosowane do parametrów znamionowyc obciążenia łącznego.



Rysunek 2. Filtr aktywny szeregowy.

## Filtry aktywne równoległe

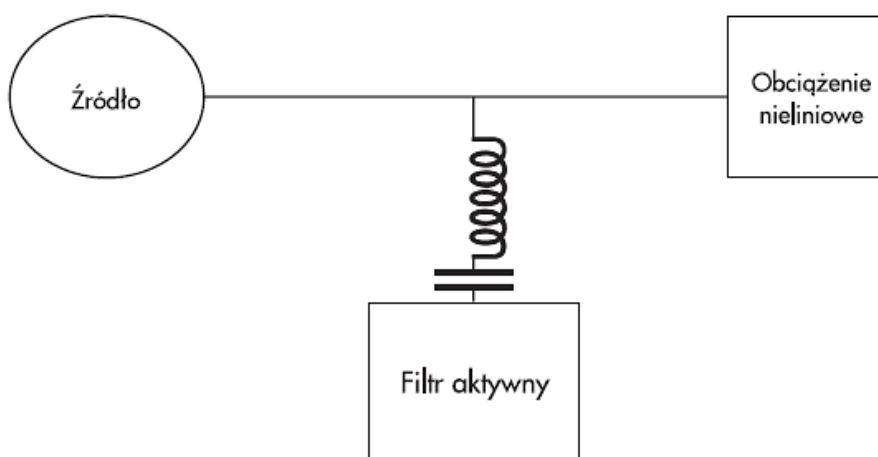
Urządzenia te, zwane również filtrami bocznikowymi, są podłączone równoległe do linii prądu przemiennego (Rysunek 3.) i wystarczy je dobrać do harmonicznym prądowym pobieranych przez obciążenie(a) nieliniowe. Ten rodzaj filtrów jest dokładnie opisany w dalszej części dokumentu.



Rysunek 3. Filtr aktywny połączony równoległe.

## Filtry aktywne hybrydowe

To rozwiązanie, łączące filtry aktywne (AHC) z filtrem pasywnym, może być połączone zarówno szeregowo, jak i równoległe. W niektórych przypadkach takie rozwiązanie może być rozwiązaniem najefektywniejszym kosztowo. W filtrze pasywnym odbywa się filtrowanie podstawowe (na przykład harmonicznym 5-go rzędu), a filtr aktywny (AHC), dzięki swojej precyzji i dynamice, koryguje harmonicznym innych rzędów (Rysunek 4.).



Rysunek 4. Filtr aktywny hybrydowy.

## Zasada działania filtra aktywnego połączonym równoległe

Filtr aktywny jest podłączony równoległe do linii zasilającej i nieustannie generuje harmonicznym prądowe, które dokładnie odpowiadają składowym harmonicznym, pobieranym przez obciążenie. W rezultacie kształt fali prądu płynącego ze źródła zasilania pozostaje sinusoidalny.

Całe spektrum harmonicznym o niskiej częstotliwości od drugiej do dwudziestej piątej harmonicznym jest kompensowane.

Jeśli prądy harmonicznym pobierane przez obciążenie są większe niż parametry znamionowe filtra aktywnego (AHC), urządzenie takie automatycznie obniża amplitudę generowanych harmonicznym prądowych do maksymalnych wartości znamionowych; nie da się więc takiego urządzenia przeciążyć i będzie ono utrzymywało prąd na poziomie maksymalnych wartości znamionowych. Filtry harmonicznym mogą więc bez przeszkód i ryzyka uszkodzenia kompensować, choćby częściowo, harmonicznym o wartości ponad znamionowej dla filtra.

## Punkty połączeń i konfiguracje

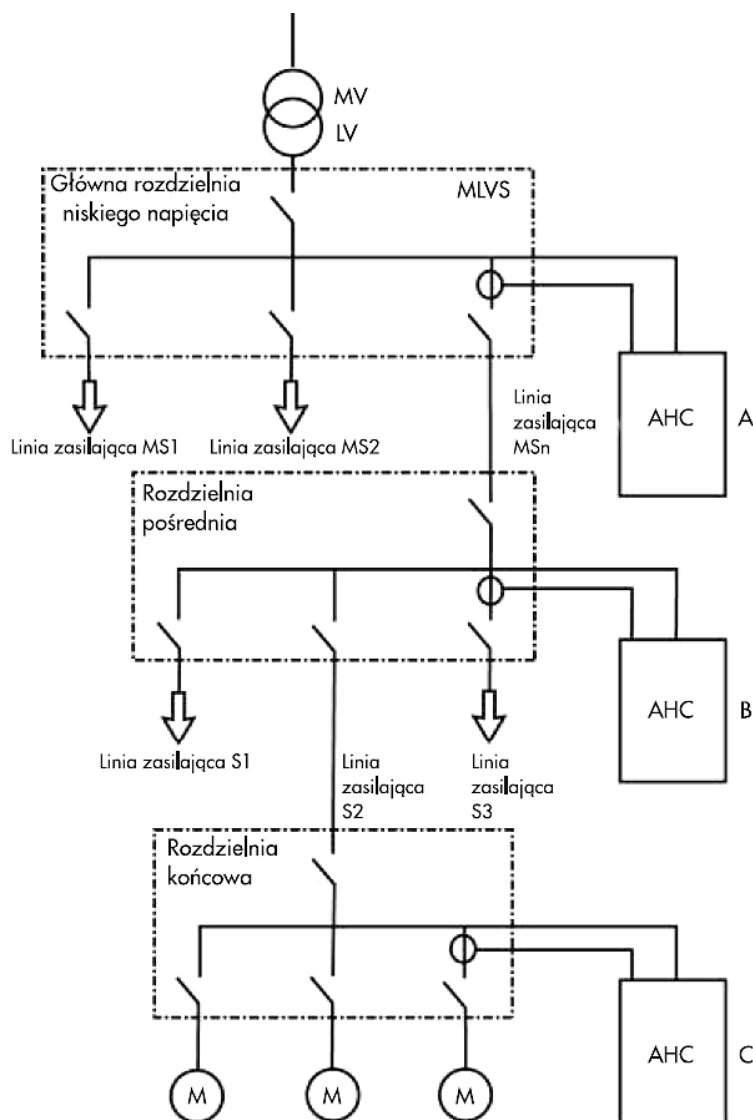
Filtry aktywne (AHC) mogą być instalowane w różnych punktach systemów rozdzielczych:

- centralnie w punkcie połączenia z sieci publiczną (PCC), aby korygować harmoniczne prądowe w całym systemie (Rysunek 5, pozycja A),
- częściowa korekcja prądów harmonicznych (Rysunek 5, pozycja B),
- blisko obciążeń generujących harmoniczne, aby zapewnić miejscową filtrację harmonicznych prądowych (Rysunek 5, pozycja C).

Warto zauważyć, że filtr harmoniczny reaguje tylko na „niższe” harmoniczne; na przykład filtr w pozycji B koryguje tylko harmoniczne wywołane obciążeniami w linii zasilającej S3 i nie reaguje w innych liniach zasilających. Umożliwia to dużą elastyczność przy ustalaniu konfiguracji filtrów.

Przy stosowaniu wszystkich rodzajów filtrów „oczyszczona” zostaje wyłącznie strona zasilania, podczas gdy strona obciążenia jest nadal „zaśmiecena” harmonicznymi. W związku z tym kable i przewody po stronie obciążenia nadal wymagają wymiarowania dla istnienia harmonicznych i związanego z nimi efektu naskórkowości.

Idealnie byłoby, gdyby filtracja harmonicznych miała miejsce w punkcie ich powstawania. Aby zoptymalizować tak filtrację, można połączyć kilka filtrów harmonicznych w różnych konfiguracjach w różnych miejscach w systemie rozdzielczym, osiągając w ten sposób pełną elastyczność i duży wybór sposobów filtracji. Najbardziej popularne konfiguracje są opisane w następujących dwóch paragrafach.

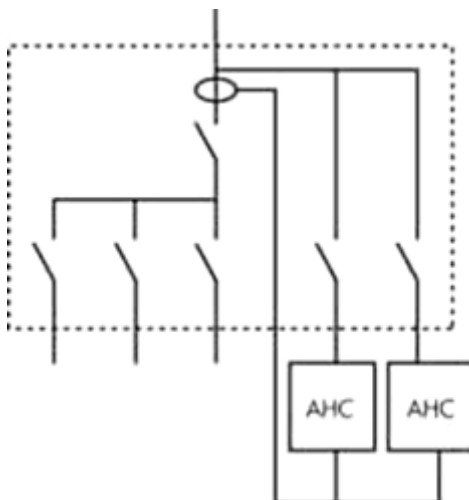


Rysunek 5. Trójpoziomowy radialny system rozdzielczy z możliwymi punktami połączenia filtrów harmonicznych.

## Konfiguracja równoległa

Taki układ, przedstawiony na Rysunku 6, spełnia trzy różne wymagania:

- zwiększone możliwości filtracji w danym punkcie systemu zasilania prądu przemiennego, przez połączenie czterech filtrów o tych samych parametrach znamionowych,
- zwiększone możliwości filtracji przy ewentualnej rozbudowie systemu w przyszłości,
- zwiększona niezawodność dzięki zastosowaniu filtra o tych samych parametrach znamionowych dla zwiększenia redundancji systemu.

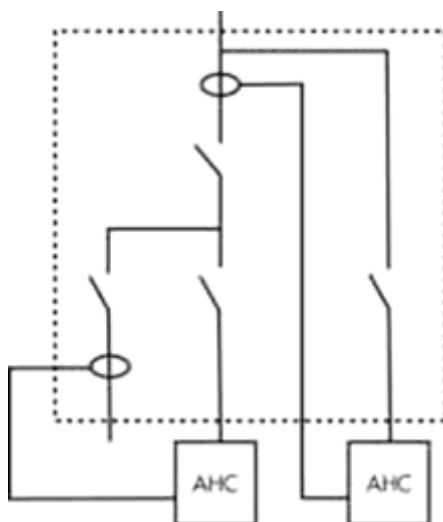


Rysunek 6. Konfiguracja równoległa.

## Konfiguracja kaskadowa

Taki układ, przedstawiony na Rysunku. 7, posiada następujące zalety:

- zwiększone ogólne możliwości filtracji dzięki zastosowaniu filtra o takich samych lub innych parametrach znamionowych,
- miejscowa filtracja konkretnego obciążenia lub harmonicznej oraz szeroka filtracja grupy obciążeń nieliniowych.



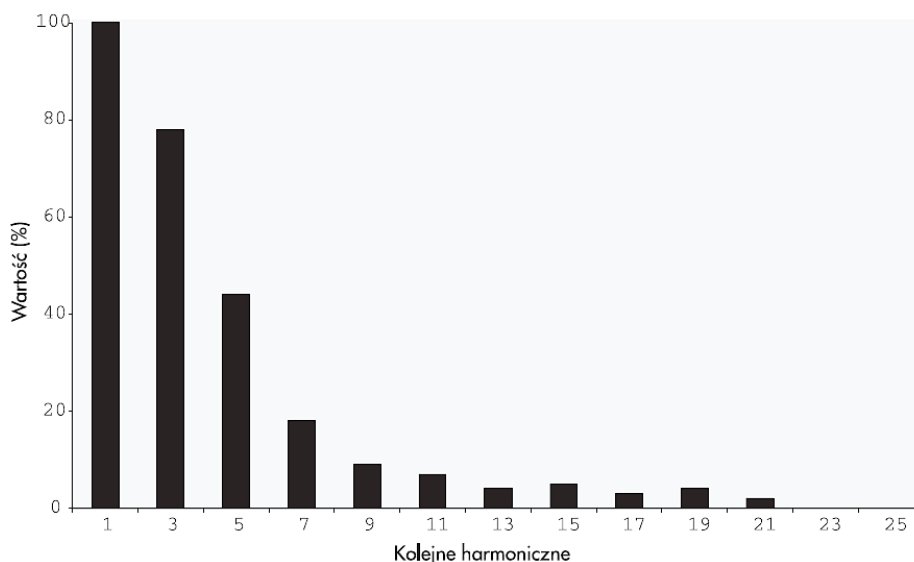
Rysunek 7. Konfiguracja kaskadowa.

## Wyniki prób eksploatacyjnych

Ta część poradnika przedstawia niektóre typowe wyniki zastosowania filtrów aktywnych (AHC) przy obciążeniach nieliniowych. Prezentowane dane przedstawiają możliwe do osiągnięcia poziomy filtracji przy zwyczajnym zastosowaniu w przemyśle i budynkach usługowych.

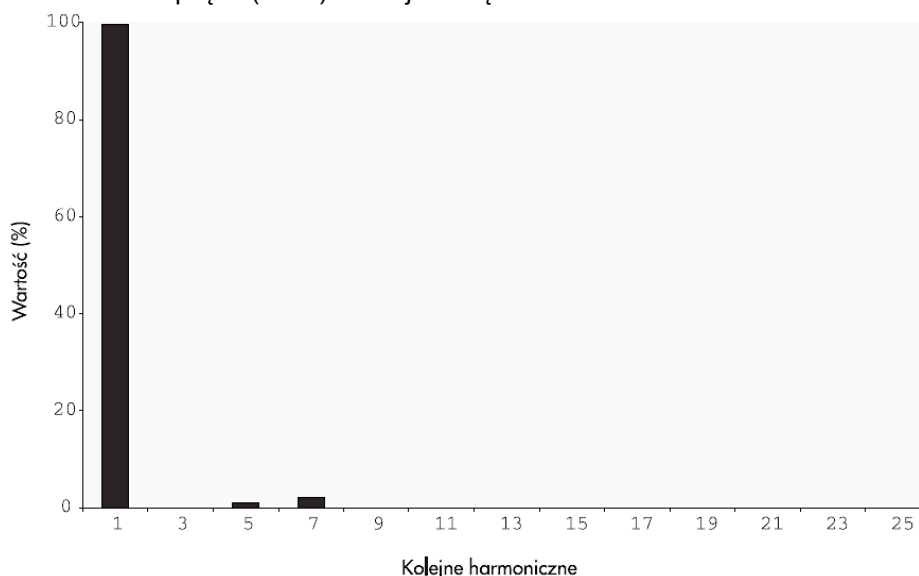
### Obciążenia typu PC

Obciążenia typu PC charakteryzuje występowanie dużej ilości wszystkich nieparzystych harmonicznych niskiego rzędu i bardzo wysokie poziomy trzecich, piątych, siódmych i dziewiątych harmonicznych. Rysunek 8 przedstawia typowe spektrum takich obciążeń.



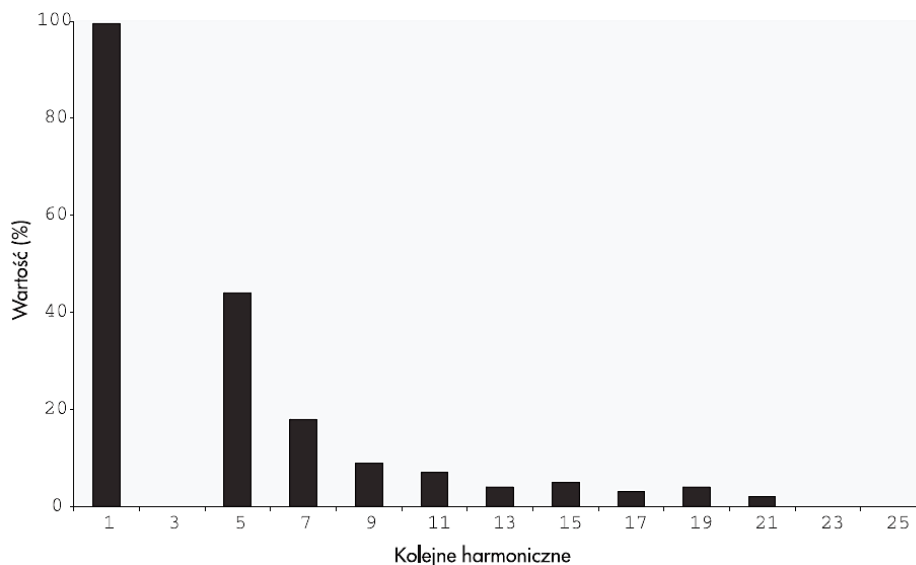
Rysunek 8. Obciążenia typu PC bez filtracji.

Ten rodzaj napięcia wywołuje wiele problemów, takich jak przeciążenie przewodów neutralnych, przegrzewanie się transformatorów oraz nagrzewanie się z powodu efektu naskórkowości (p. dokument *Harmoniczne – Przyczyny powstawania i skutki działania*). Zastosowanie przy takim obciążeniu filtrów aktywnych (AHC) powoduje powstanie spektrum prądu zasilania przedstawione na Rysunku 9. Poprawa jest wyraźnie widoczna – łączne odkształcenie harmoniczne prądowe (THDI) zmniejsza się z 92,6% do 2,9% (32-krotnie), a wartość skuteczna prądu (RMS) zmniejsza się o 21%.



Rysunek 9. Całkowita filtracja przy obciążeniu typu PC.

Całkowita korekcja, taka jak na Rysunku 9, wymaga więcej prądu z filtra. W zależności od okoliczności może zaistnieć konieczność wyeliminowania wszystkich prądów harmonicznych. Być może ten problem należy wiązać wyłącznie na przykład z trzecią harmoniczną i być może wystarczy zająć się tylko nią. Rysunek 10 przedstawia efekt wywołany na prądzie zasilania poprzez zaprogramowanie filtra na filtrację wyłącznie trzeciej harmonicznej.



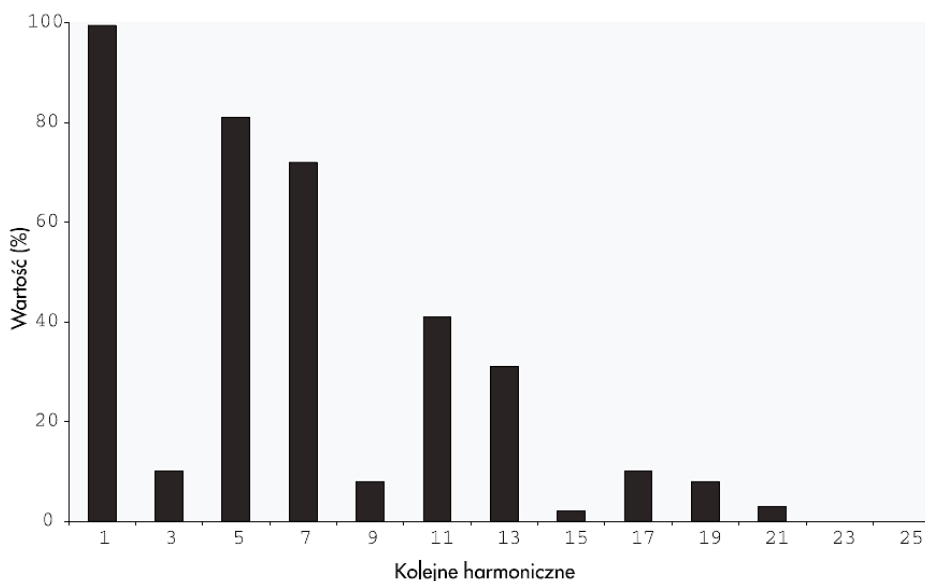
Rysunek 10. Częściowa filtracja przy obciążeniu typu PC.

Korzyści zastosowania takiej metody jest to, że problem jest rozwiązany przy niższym prądzie filtra aktywnego (AHC) i w związku z tym jeden taki filtr może sobie poradzić z o wiele większym obciążeniem.

## Obciążenia napędów bezstopniowych

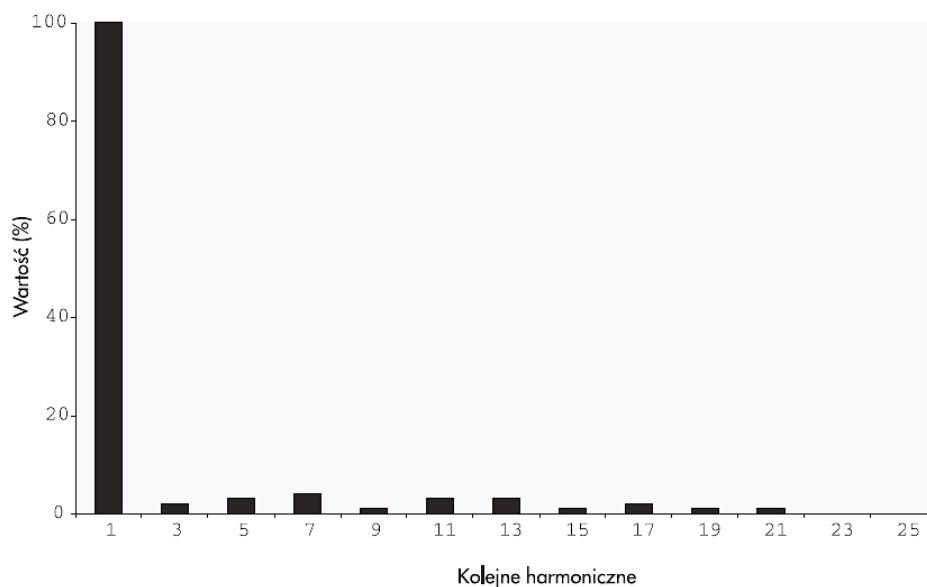
Rysunek 11 przedstawia typowe obciążenie napędu bezstopniowego obciążonego częściowo. Najwyższe składowe (piąta i siódma) mogą wywoływać poważne problemy w instalacji, takie jak przegrzanie transformatora i mogą stanowić dużą przeszkodę w spełnieniu wymagań klienta dotyczących ograniczeń harmonicznych prądowych.

Dodanie filtra aktywnego (AHC) i zapewnienie pełnej filtracji powoduje powstanie spektrum przedstawionego na Rysunku 12. W takim przypadku łączne odkształcenie harmonicznych prądowych (THDI) zmniejsza się ze 124% do 13,4% (9,3-krotnie), a wartość skuteczna prądu (RMS) zmniejsza się o 30%.



Rysunek 11. Typowe obciążenie napędu bezstopniowego bez filtracji.





Rysunek 12. Filtracja obciążenia napędu bezstopniowego.

## Zalety filtra aktywnego (AHC)

Filtr aktywny (AHC) posiada następujące zalety:

- zmniejsza łączne odkształcenie harmonicznych prądowych (THDI) około 10 razy,
- poprawia współczynnik mocy,
- zabezpiecza przed zmianami częstotliwości, np. podczas pracy generatora awaryjnego,
- nie występuje ryzyko rezonansu przy żadnej częstotliwości harmonicznej,
- nie można go przeciążyć,
- jest elastyczny,
- możliwe jest programowanie przez użytkownika, tak aby, w razie potrzeby, reagował na konkretne częstotliwości harmoniczne.

Filtr aktywny (AHC) jest rozwiązaniem łatwym do zastosowania nawet przy złożonych problemach. Jest bardzo elastyczny, przez co może mieć zastosowanie przy zmianach w konfiguracji urządzeń w budynkach i jest łatwy w użyciu.