



1

Technologia dla efektywności energetycznej • www.circutor.pl

Podział Jakość sieci

Artykuł techniczny

AFQevo

Aktywny filtr wielofunkcyjny

Najbardziej wszechstronne rozwiązanie problemów dotyczących jakości sieci

Wprowadzenie

Odbiorniki domowe i przemysłowe posiadają coraz więcej obwodów elektrycznych zasilanych prądem, którego przebieg nie jest czysto sinusoidalny. Na przykład, w silnikach stosowana jest coraz częściej regulacja częstotliwości, która wymaga przejścia z prądu przemiennego (AC) na prąd stały (DC), a następnie z prądu stałego na prąd przemienny. Ze względu na to, że dostarczany prąd jest zazwyczaj prądem przemiennym, coraz powszechniej wykorzystywane są konwertery elektroniczne (przestawniki, falowniki itd.) do przetwarzania DC-AC i AC-DC. Podobnie dzieje się z powszechnie używanymi odbiornikami jak komputery, lampy ledowe i wyładowcze, windy...

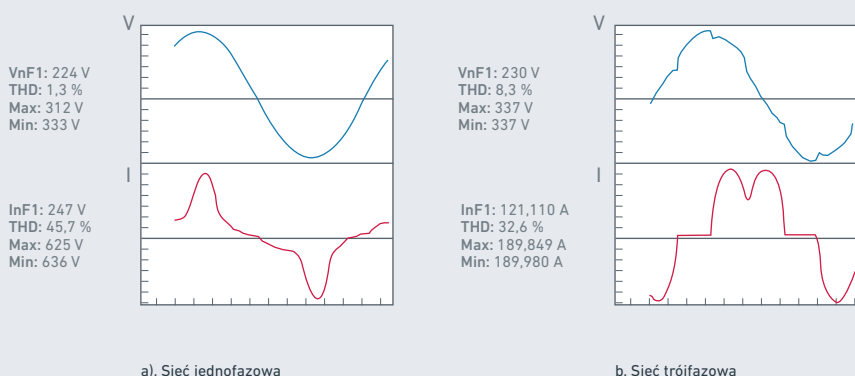
Z punktu widzenia sieci elektrycznej, przekłada się to na konieczność zasilania dużej liczby odbiorników, co powoduje prostowanie amplitudy prądu. W konsekwencji kształt fali pobieranego prądu zmienia się w taki sposób, że nie mamy już do czynienia z falą sinusoidalną, lecz nałożonymi na siebie falami sinusoidalnymi o częstotliwościach stanowiących wielokrotność częstotliwości sieciowej (harmoniczne). Rysunki 1 i

2 pokazują typowy pobór dla sieci z prostownikami jednofazowymi oraz dla sieci z prostownikami trójfazowymi. Ten typ prądów jest najczęściej spotykany w takich obiektach jak biura, centra handlowe, szpitale itd., i zawiera składową o wartości 50 lub 60Hz (podstawowa częstotliwość sieciowa) oraz serię składowych o częstotliwościach stanowiących wielokrotność tej wartości w różnych zawartościach procentowych. Te zawartości procentowe można mierzyć za pomocą analizatora harmonicznych, a także współczynnika



zawartości harmonicznych - THD, który odzwierciedla stosunek między wartością skuteczną tętnienia oraz wartością skuteczną składowej podstawowej.

Rys. 1 - Typowe kształty fali sieci, w których występują odkształcenia



Skutkiem poboru prądu niesinusoidalnego jest również pewne odkształcenie napięcia wywołane spadkami napięcia w impedancjach przewodów i przekładników. W rejestrach można zauważyć lekkie odkształcenie napięcia w sieci jednofazowej (niski THD) oraz silniejsze odkształcenie w przykładzie sieci trójfazowej. W obu przypadkach przebieg prądu wyraźnie różni się od sinusoidy oraz posiada wyższe wartości THD. W celu



rozwiązania tego problemu oraz ograniczenia poziomów odkształcenia napięcia w punktach podłączenia odbiorców do sieci publicznej, istnieje szereg norm międzynarodowych, które ustalają dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych dla urządzeń i systemów podłączanych do sieci. Jak podano w Tabeli 1, najważniejsze spośród nich to normy dotyczące poziomów kompatybilności:

Tabela 1.- Międzynarodowe normy dotyczące dopuszczalnych poziomów emisji harmonicznych

Norma	Opis
IEC-61000-2-2	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-2: Środowisko. Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia.
IEC-61000-2-4	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-4: Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych.
IEC-61000-3-2	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-2: Poziomy dopuszczalne. Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A)
IEC-61000-3-4	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-4: Poziomy dopuszczalne. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu w niskonapięciowych systemach zasilania dla odbiorników o prądzie znamionowym przekraczającym 16 A.
IEC-61000-3-12	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-12: Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym > 16 A i ≤ 75 A przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia.
IEEE-519-2014	IEEE Praktyki i wymagania zalecane przy kontroli harmonicznych w systemach energii elektrycznej

Kilka podstawowych pojęć dotyczących harmonicznych

Aby lepiej zrozumieć problematykę harmonicznych, będziemy opierać się na kilku podstawowych pojęciach opisanych w wielu książkach i artykułach, a które streszczamy poniżej:

- Źródłem problemów związanych z harmonicznymi są odbiorniki, które pobierają prądy odkształcone (tak zwane odbiorniki nieliniowe).
- Propagacja harmonicznych u innych użytkowników podłączonych do tej samej sieci zależy od impedancji danej sieci, a to zależy od dystrybutora energii. Wartość impedancji nie jest dostępna w sposób bezpośredni, lecz można ją obliczyć w oparciu o dostępną moc zwarciovą (im większa moc zwarciova tym mniejsza impedancja).
- Sam użytkownik posiada u siebie część sieci dystrybucji, która sięga aż do końcowego odbiornika. Zatem problem, który może u niego wystąpić na wejściu instalacji, można zrzucić na brak mocy zwarciovej, tym niemniej w wielu przypadkach, w odległych od przyłącza punktach może występować problem spowodowany przez impedancje instalacji.
- Zgłębiając temat odkształceń w punktach oddalonych od przyłącza, należy pamiętać, że impedancja przewodów posiada bardzo istotną składową indukcyjną. Dlatego w wielu przypadkach należy nie tyle zapewnić dystrybucję energii za pomocą przewodów o bardzo dużym przekroju, ile ograniczyć indukcyjność na metr kabli, co uzyskuje się poprzez splatanie i skręcanie kabli dystrybucyjnych (rozwiązanie często odrzucane przez instalatorów ze względu na brak estetyki).
- Problem odkształcenia napięcia w punkcie przyłączenia może zwiększyć się z powodu rezonansu między kondensatorami kompensacji współczynnika mocy oraz indukcyjnością sieci dystrybucji (przekładniki i przewody).
- Środki naprawcze (filtry) powinny zostać zainstalowane możliwie najbliżej odbiorników generujących harmoniczne.

Podsumowując, rozwiązanie problemu harmonicznych jest rozwiązaniem o dwojakim charakterze: Z jednej strony, użytkownik powinien ograniczyć ilość prądów harmonicznych generowanych przez własne odbiorniki oraz powinien starać się zapewnić dystrybucję energii w swojej instalacji przy niskiej impedancji na metr przewodu. Z drugiej strony, dystrybutor energii elektrycznej powinien zapewnić minimalną wartość mocy zwarciovej i powinien dbać, aby użytkownicy nie przekraczali pewnych dopuszczalnych poziomów odkształcenia, by nie zaszkodzić swoim sąsiadom, z którymi współdzielić sieć.

Gdy poziomy harmonicznych wygenerowanych przez niektóre odbiorniki są niedopuszczalne dla zasilającego je systemu dystrybucji, należy zastosować filtry korekcyjne. W tym artykule skoncentrujemy się i rozwiniemy temat filtrowania.

Ograniczenia kompatybilności z powodu harmonicznych

Występowanie harmonicznych w sieci niesie ze sobą różne skutki. Najbardziej newralgiczne z nich wymieniono poniżej.

- Pogorszenie jakości fali napięciowej, co ma wpływ na niektóre czułe odbiorniki.
- Przeciążenie i możliwe wystąpienie równoległego rezonansu między indukcyjnością przewodu i kondensatorami kompensacji współczynnika mocy (PF).
- Pogorszenie współczynnika mocy. Na skutek tego zmniejsza się zdolność sieci do zaopatrywania w moc, powodując konieczność jej przewymiarowania.
- Przeciążenie kabli i przede wszystkim przekładników (bardzo duże zwiększenie strat w żelazie)
- Problemy związane z nieoczekiwanym zadziałaniem zabezpieczeń

Aby uniknąć tych problemów, normy określają minimalną jakość zasilania, którą ustala się poprzez ograniczenie maksymalnych poziomów odkształcenia w fali napięcia dostarczanej do punktu przyłączenia do sieci publicznej. Te ograniczenia nazywane są granicami kompatybilności. Tabela 1 zawiera w skróconej formie wspomniane poziomy dopuszczalne w odniesieniu do harmonicznych w niskonapięciowych sieciach przemysłowych. Poszczególne klasy wymienione w tabeli dotyczą odpowiednio:

- Klasa 1: Środowisko przemysłowe przewidziane do zasilania czułych urządzeń elektronicznych
- Klasa 2: Zwykle środowisko przemysłowe. Powszechnie stosowane poziomy dopuszczalne dla sieci publicznych
- Klasa 3: Zakłócone środowisko przemysłowe (zazwyczaj z powodu obecności przetworników). Nieodpowiednie do zasilania czułych urządzeń.

Tabela 2 - Poziomy dopuszczalne dot. kompatybilności: Harmoniczne napięcia (U_n %) w niskonapięciowych sieciach przemysłowych (IEC-61000-2-4)

Rząd harmonicznej H	Klasa 1 w %	Klasa 2 w %	Klasa 3 w %
2	2	2	3
3	3	5	6
4	1	1	1,5
5	3	6	8
6	0,5	0,5	1
7	3	5	7
8	0,5	0,5	1
9	1,5	1,5	2,5
10	0,5	0,5	1
>10 wielokr. 2	0,2	0,2	1
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
15	0,3	0,3	2
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
21	0,2	0,2	1,75
>21 wielokr. 3	0,2	0,2	1
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
>25 bez wielokr. 2 i 3	0,2+12,5/h	0,2+12,5/h	$5 \times \sqrt{11/h}$
THD (V)	5%	8%	10%



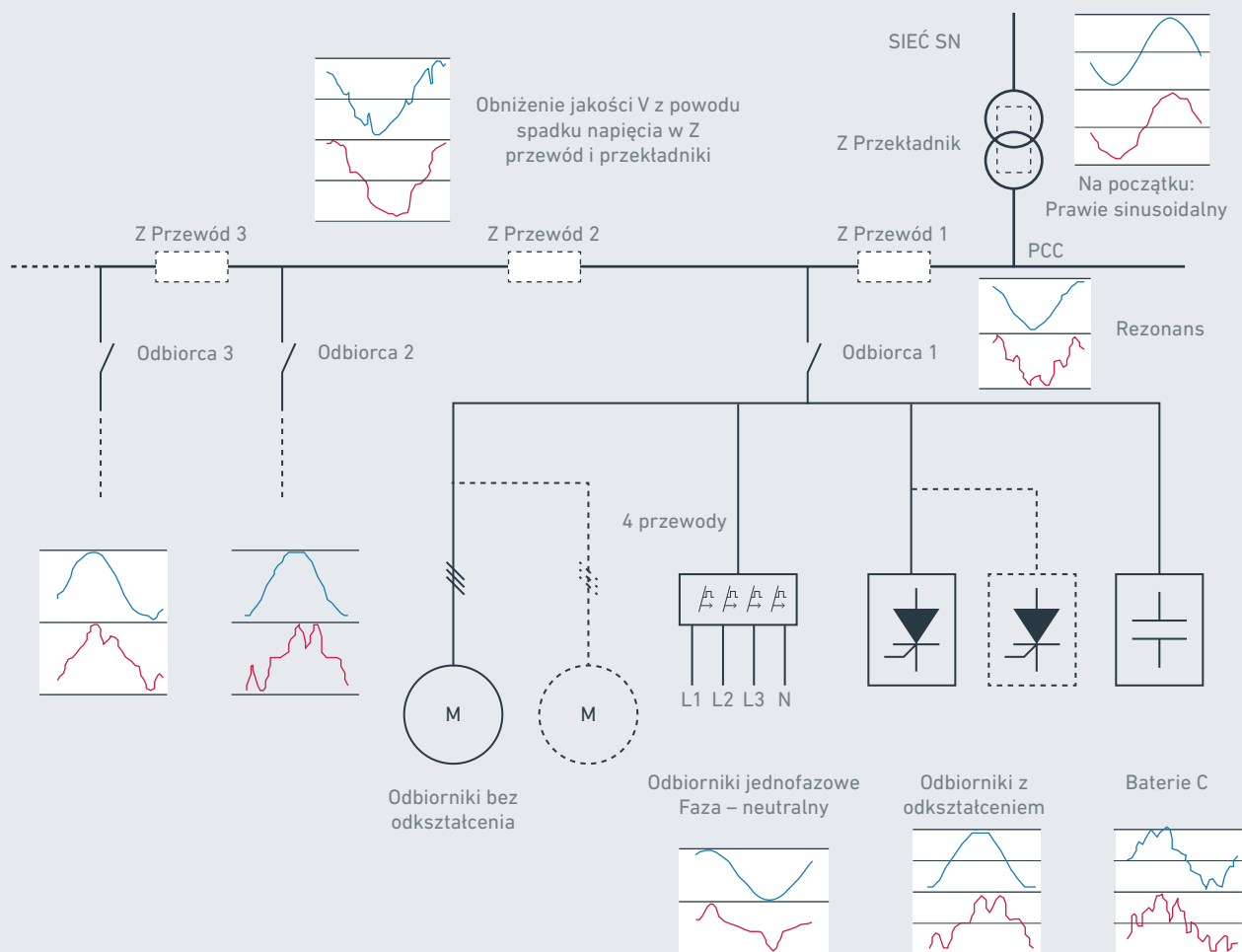
Harmoniczne napięcia są powodowane przez spadek napięcia, który wywołują harmoniczne prądy na impedancjach sieci dystrybucji. Fakt ten został przedstawiony na Rys. 2. Zatem osiągnięcie tych granic zależy od dwóch czynników:

1. Poziomu emisji harmonicznych prądu odbiorników: Im większa emisja, tym większe odkształcenie spowodowane spadkiem napięcia wywołanym przez prądy harmoniczne w sieci
2. Impedancji sieci: Im większa impedancja, tym większy spadek napięcia dla tej samej wartości emisji harmonicznych prądu w odbiornikach

W tabeli 3 podano wartości graniczne emisji w sieciach niskonapięciowych, ustalone przez normę EN-IEC-61000-3-4 dla przyłączy, w których moc zastosowana w elementach zakłócających nie przekracza wartości ($33 \times S_{cc}$), gdzie S_{cc} oznacza moc zwarciovą odpowiadającą danemu przyłączu (proporcjonalna część całkowitej mocy zwarcioviej, która odpowiada mocy zakontraktowanej).

Tabela 3 - Granice dla emisji harmonicznych prądu dla Surządzenie < $33 \times S_{cc}$ (EN-IEC-61000-3-4)

Harmoniczna h	Dopuszczalny prąd I_n / I 1%	Harmoniczna h	Dopuszczalny prąd I_n / I 1%
3	21,6	21	$\leq 0,6$
5	10,7	23	0,9
7	7,2	25	0,8
9	3,8	27	$\leq 0,6$
11	3,1	29	0,7
13	2	31	0,7
15	0,7	≥ 33	$\leq 0,6$
17	1,2	Parzyste	$\leq 8/n$ lub 0,6
19	1,1		



Rys. 2 Schemat jedнопроводowy, który pokazuje obniżenie jakości fali napięciowej spowodowane odbiornikami nieliniowymi

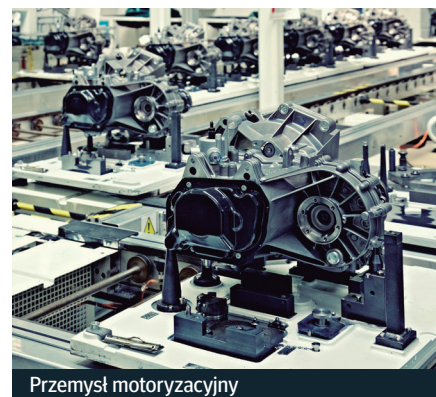
W jakich instalacjach niezbędne są filtry aktywne?

Niektóre z wcześniej sygnalizowanych problemów dotyczących zakłóceń mogą zostać złagodzone i skorygowane za pomocą filtrów. Filtry aktywne stanowią idealne rozwiązanie dla instalacji zawierających dużą ilość odbiorników jednofazowych i trójfazowych, generujących harmoniczne i charakteryzujących się różnymi sposobami poboru energii.

Filtry aktywne to urządzenia oparte na konwerterach z modulacją szerokości impulsu PWM. Dostępne są dwa rodzaje filtrów: filtry szeregowo i filtry równoległe. Zazwyczaj, w celu spełnienia norm **IEC-61000-3.4** i **IEEE-519**, stosowane są filtry równoległe, które działają na zasadzie przesłania do sieci harmonicznych pobranych przez odbiornik, w przeciwfazie, przy użyciu falownika. Rys.3 obrazuje tę zasadę działania, pokazując prąd odbiornika, filtra i sieciowy. Widać, że sumując $I_{\text{ODBIORNIK}} + I_{\text{FILTR}}$ uzyskuje się prąd $I_{\text{SIEĆ}}$, który jest sinusoidalny.



Lotnisk i infrastruktury



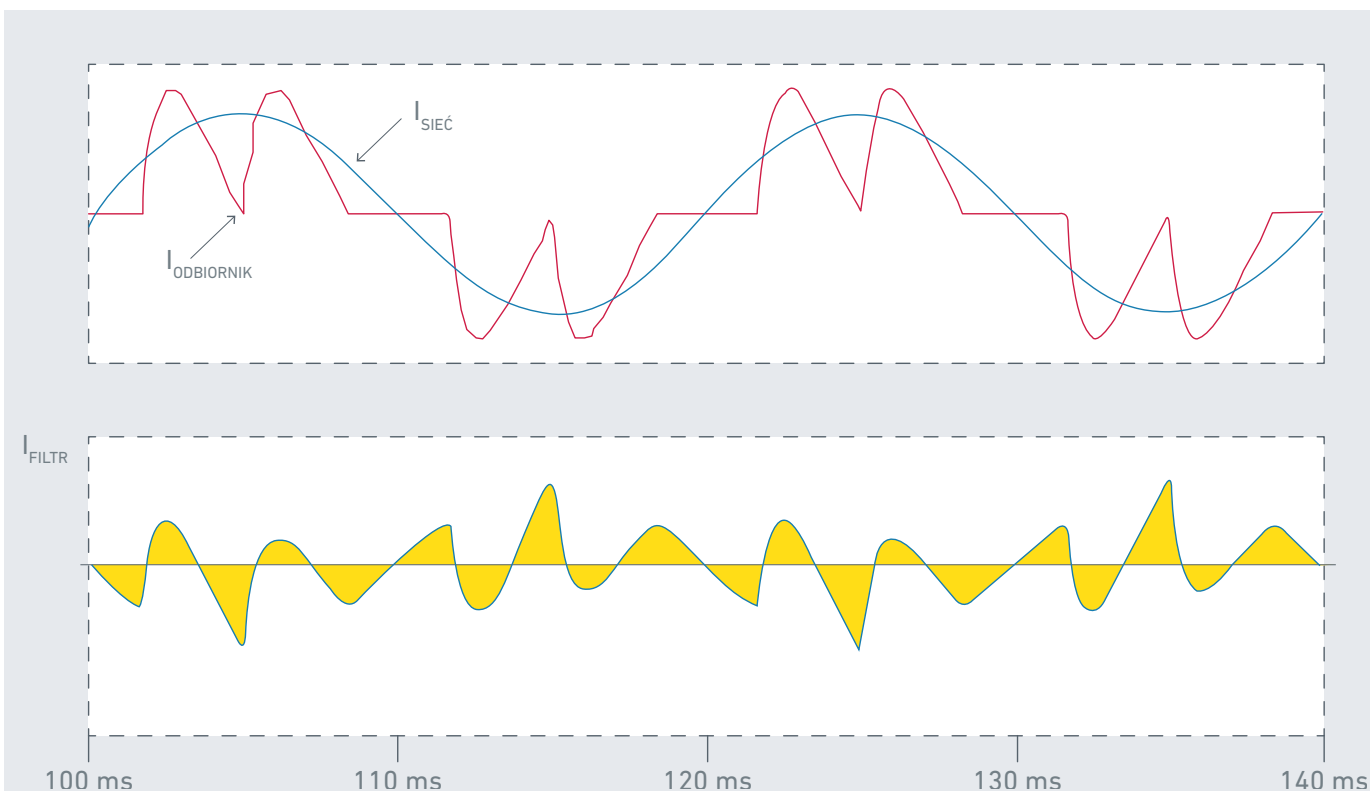
Przemysł motoryzacyjny



Supermarkety i centra handlowe



papierniczym



Rys. 3 - Zasada działania równoległego filtra aktywnego.

Roztwór

W urządzeniach do filtrowania stopniowo dodawane są funkcje uzupełniające w celu dostosowania ich do modyfikacji w instalacjach elektrycznych, które ze względu na poszerzenie lub zmiany sprzętu mogą wymagać zwiększonego filtrowania określonych harmonicznnych lub zrównoważenia między fazami. Przydatna jest też często opcja kompensacji energii biernej w tych urządzeniach.

Jako rozwiązanie wyżej opisanych problemów, Circutor oferuje nowy filtr aktywny **AFQevo**. Jego nowa konstrukcja zapewnia następujące korzyści:

- › Jednostkowa zdolność filtrowania prądów 30 A z podziałem na fazy oraz 90 A dla przewodu neutralnego.
- › W przypadku, gdy potrzebna jest większa zdolność filtrowania, system może zostać poszerzony o nawet 100 filtrów aktywnych AFQevo połączonych równolegle.
- › Ograniczona osłona metalowa do montażu naściennego. Łatwa instalacja ze względu na wymiary.
- › System komunikacji zapewniający lepsze zarządzanie energią w instalacji.
- › Podłączenie od strony sieci lub obciążenia w celu większej elastyczności instalacji.
- › Regulacja priorytetu w celu filtrowania harmonicznnych, kompensacji energii biernej oraz zrównoważenia faz.
- › Zmniejszenie prądów harmonicznnych do 50. rzędu (2500 Hz).
- › Selektywna filtracja określonych harmonicznnych. Kompensacja mocy biernej (indukcyjnej/pojemnościowej).
- › Zrównoważenie prądów fazowych. Model 4W pomaga w zmniejszeniu poboru energii w przewodzie neutralnym.

Prosta interakcja ekran dotykowy

Pomagają one lepiej zarządzać energią

Znaczenie właściwego wyboru

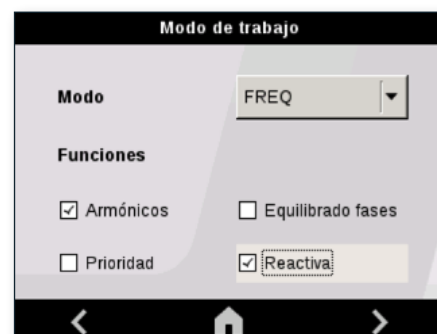
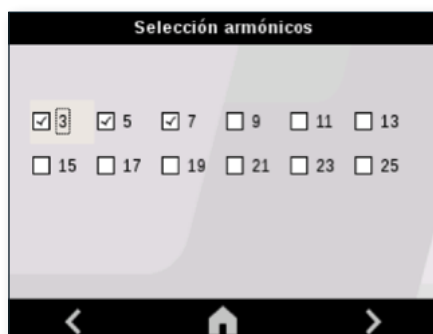
Aby uzyskać optymalne wyniki, należy posiadać filtry takie jak **AFQevo** o prostym sposobie instalacji i zarządzania. Oto funkcje, które najbardziej ułatwiają obsługę urządzenia:

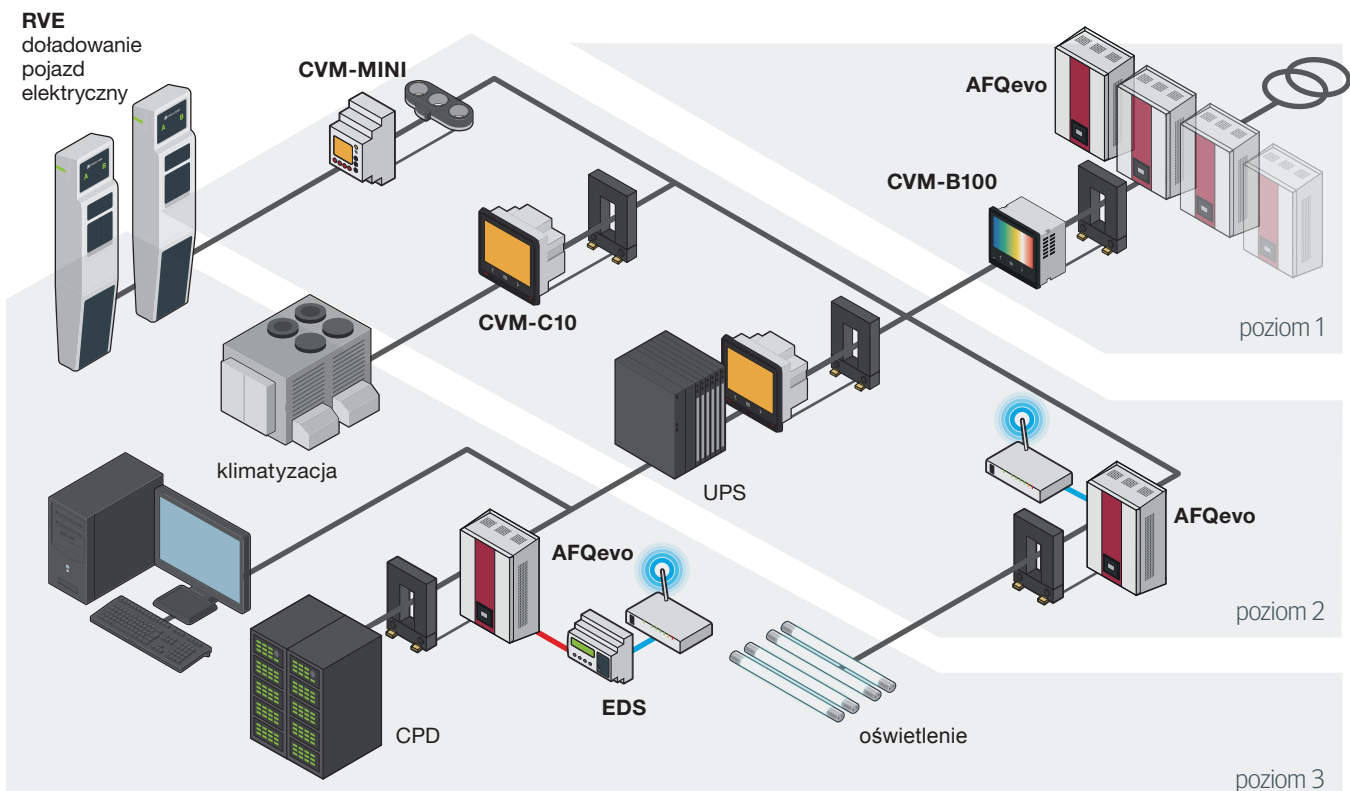
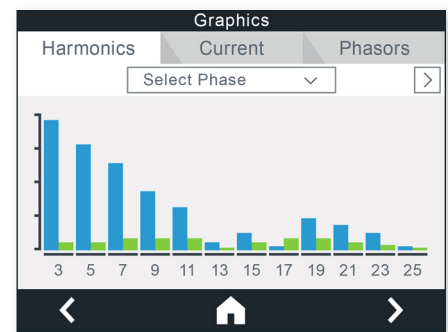
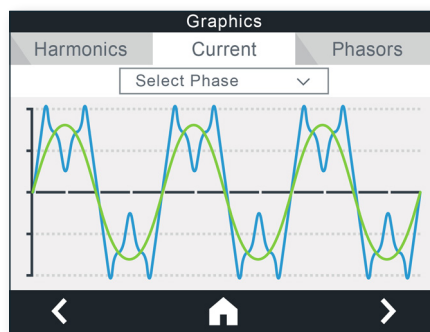
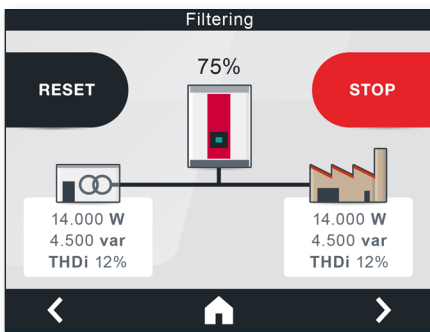
- › Uruchomienie za pomocą 3 kroków: podłączenie, konfiguracja, aktywacja.
- › Ekran dotykowy umożliwiający szybkie sterowanie
- › Alarmy takie jak błąd konfiguracji, biegunowość, temperatury, rezonans, napięcia, przeciążenie, styczniki, szyna prądu stałego itd.



Polivalentes: różne konfiguracje i priorytety

Aktywne filtry są **AFQevo** bardzo wszechstronne, pozwalając różne konfiguracje i tryby Operacja. Wszystko dla zapisać je w obiektach różnych typów i najbardziej różnych sytuacjach.





Zastosowanie guj wielofunkcyjne Aktywne filtry AFQevo cypel i przy obciążeniu.

Wnioski.

Harmoniczne w sieciach dystrybucji energii elektrycznej są coraz częstszym zjawiskiem, powodując szereg problemów związanych z obniżeniem jakości fali napięciowej, konieczność przewymiarowania instalacji, a także generując znaczne straty dodatkowe. Oprócz przestrzegania norm ograniczających pobór harmoniczných, zaleca się filtrowanie wspomnianych harmoniczných, gdyż dzięki temu można zoptymalizować przekroje kabli, moc przekładników dystrybucyjnych oraz zmniejszyć straty w instalacjach i uniknąć strat w produkcji.

Rozwiązaniem tego problemu jest globalne i racjonalne wykorzystanie filtrów harmoniczných jak filtry aktywne, które stanowią idealny środek zaradczy niewymagający wysokich nakładów finansowych. Koszty filtrów można łatwo zamortyzować dzięki oszczędnościom osiągniętym w wyniku wyeliminowania strat, przedłużeniu żywotności niektórych podzespołów instalacji oraz optymalizacji infrastruktury dystrybucji energii elektrycznej (kable, kanały kablowe, przekładniki itd.).