ASTAT

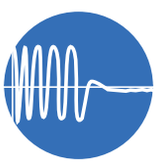
ENERGETYKA



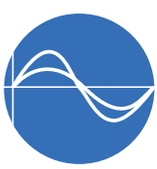
PORADNIK DLA PROJEKTANTÓW I WYKONAWCÓW

instalacji elektroenergetycznych z zakresu Jakości Energii Elektrycznej

DZIĘKI WSPÓŁPRACY Z ASTAT



Unikniesz przerw w zasilaniu



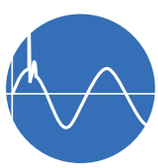
Poprawisz współczynnik mocy



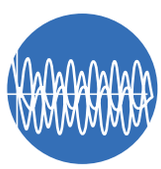
Zredukujesz obecność harmonicznych



Zredukujesz spadki napięcia



Zmniejszysz prądy rozruchowe



Osiągniesz symetryzację obciążenia faz

Wersja 7

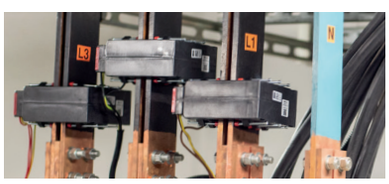
SPIS TREŚCI



Jakość Energii Elektrycznej w zakładach przemysłowych
strona 3



Dostępne rozwiązania w zakresie poprawy parametrów JEE
strona 10



Dobór przekładników prądowych niskiego napięcia
strona 17



Dobór przekroju przewodu i zabezpieczenia przetężeniowego do zasilania wybranych urządzeń
strona 26



Analizatory stacjonarne
strona 30



Bateryjne magazyny energii
strona 34

KONTAKT



KIEROWNIK DZIAŁU
Marta Kowalska
m.kowalska@astat.pl
606 759 943

PION SPRZEDAŻY



MANAGER DS. ROZWOJU RYNKU
Rozwiązania dla rynku energia i eko
Marek Łochwinowicz
m.lochwinowicz@astat.pl
660 515 924



MANAGER DS. ROZWOJU RYNKU
Rozwiązania energetyczne dla przemysłu
Michał Brukwiński
m.brukwinski@astat.pl
660 515 921



REGIONALNY DORADCA TECHNICZNO-HANDLOWY
woj. mazowieckie, lubelskie, podlaskie, podkarpackie
Andrzej Hetman
a.hetman@astat.pl
664 772 488



REGIONALNY DORADCA TECHNICZNO-HANDLOWY
woj. mazowieckie, lubelskie, podlaskie, podkarpackie
Łukasz Tłuczek
l.tluczek@astat.pl
668 905 535



REGIONALNY DORADCA TECHNICZNO-HANDLOWY
woj. pomorskie, zachodniopomorskie
Michał Zaleski
m.zaleski@astat.pl
604 331 471

PION OBSŁUGI KLIENTA

oferty.eijee@astat.pl

PION TECHNICZNY

tech.eijee@astat.pl

PROJEKTY CEWKA PETERSENA



DYREKTOR KONTRAKTÓW
Leszek Witkowski
l.witkowski@astat.pl
604 050 237

REDAKCJA PORADNIKA



Andrzej Książkiewicz
a.ksiazkiewicz@astat.pl
694 486 359

Wszystkie prawa zastrzeżone, łącznie z prawem reprodukcji części lub całości w jakiejkolwiek formie.



JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH

WSPÓŁPRACA Z FIRMĄ ASTAT

Nieustające zmiany w zakładach produkcyjnych związanych z modernizacją lub rozbudową linii produkcyjnych nie pozostają obojętne na infrastrukturę elektroenergetyczną zakładu. Często zdarza się, że przeprowadzona modernizacja jednej maszyny może pogorszyć warunki pracy innych urządzeń. Stąd pojawia się zagadnienie Jakości Energii Elektrycznej w przemyśle.

Jakość Energii Elektrycznej opisuje wiele parametrów energii elektrycznej oraz zagadnień powiązanych, w tym:

- wzrosty lub spadki napięcia,
- zapady napięcia,
- wyższe harmoniczne napięcia i prądu,
- kompensacji mocy biernej.

Bardziej szczegółowe wymagania w zakresie parametrów Jakości Energii Elektrycznej zostały opisane w dwóch dokumentach:

- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dziennik Ustaw Nr 2023, poz. 819),
- Norma PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.

Specjaliści firmy ASTAT posiadają wiedzę i doświadczenie z szerokiego zakresu zagadnień związanych z jakością energii elektrycznej. Prowadzą projekty wdrożeniowo - inżynieryjne przeciwdziałające zakłóceniom w sieciach elektroenergetycznych. W proces doboru właściwych rozwiązań zaangażowane są osoby z odpowiednim doświadczeniem merytorycznym i obiektowym, dzięki czemu szybko i skutecznie następuje rozwiązanie problemów wynikających ze złej Jakości Energii Elektrycznej.

Coraz powszechniejsze stosowanie elementów energoelektronicznych w przemyśle prowadzi do przepływu prądów odkształconych (wyższe harmoniczne prądu) w układzie elektroenergetycznym. Z tego powodu pojawiają się problemy wywołane wyższymi harmonicznymi prądu:

- przeciążenie przewodów neutralnych,
- przegrzanie transformatorów,
- niepożądane zadziałanie wyłączników automatycznych,
- przeciążenie baterii kondensatorowych do korekcji współczynnika mocy,
- generowanie dodatkowych strat mocy czynnej.

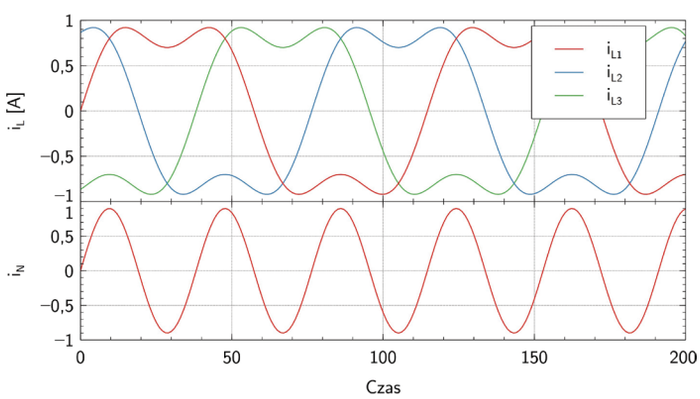
WSPÓŁPRACA Z GRUPĄ ASTAT

Specjaliści firmy ASTAT posiadają wiedzę i doświadczenie z szerokiego zakresu zagadnień związanych z jakością energii elektrycznej. Prowadzą projekty wdrożeniowo - inżynieryjne przeciwdziałające zakłóceniom w sieciach elektroenergetycznych. W proces doboru właściwych rozwiązań zaangażowane są osoby z odpowiednim doświadczeniem merytorycznym i obiektowym, dzięki czemu szybko i skutecznie następuje rozwiązanie problemów wynikających ze złej jakości energii elektrycznej.

- Obniżenie kosztów wytwarzania i przesyłu energii
- Utrzymanie ciągłości produkcji
- Zapewnienie zgodności parametrów z normami, standardami, wymaganiami
- Zwiększenie efektywności, niezawodności, żywotności urządzeń



Przesył prądów odkształconych w trójfazowym układzie zasilającym, gdzie występuje trzecia harmoniczna prądu, może prowadzić do przegrzewania się przewodów i kabli ze względu na wzrost prądu w żyle neutralnej.



Rysunek 1. Sumowanie wartości chwilowych prądów odkształconych, z 30% udziałem trzeciej harmonicznej, w przewodzie neutralnym

W przypadku obciążenia układu zasilającego prądem odkształconym od przebiegu sinusoidalnego, rzeczywiste straty mocy czynnej powodowane przepływem prądu odkształconego w pojedynczej żyle, są sumą strat mocy pochodzących od poszczególnych harmonicznych:

$$\Delta P = \sum_{h=1}^{\infty} \left(R_h \cdot I_h^2 \right) [W]$$

gdzie:

- ΔP - straty mocy czynnej w żyle przewodu,
- R_h - rezystancja żyły przewodu dla h - tej harmonicznej,
- I_h - wartość skuteczna prądu h - tej harmonicznej.

Rezystancja żyły nie jest wartością stałą w funkcji częstotliwości, co jest wynikiem występowania dwóch zjawisk:

- efektu naskórkowości opisującego oddziaływanie pola magnetycznego wytworzonego przez prąd przepływający przez daną żyłę przewodu,
- efektu zbliżenia uwzględniającego oddziaływanie pola wytworzonego przez prądy płynące w żyłach sąsiednich.

Wartość strat mocy występującej w żyle przewodu obciążonego prądem odkształconym od przebiegu sinusoidalnego, uwzględniając powyższe zjawiska, można opisać zależnością:

$$\Delta P = R_{DC} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \left(\sqrt{h} \cdot I_h^2 \right) [W]$$

gdzie:

- ΔP - straty mocy czynnej w żyle przewodu,
- R_{DC} - rezystancja żyły przewodu dla prądu stałego,
- I_h - wartość skuteczna prądu h - tej harmonicznej,
- h - rząd harmonicznej prądu.

W przypadku przepływu prądu odkształconego przez trójfazową linię z przewodem neutralnym, straty mocy czynnej występujące w takim układzie można opisać zależnością:

$$\Delta P = R_{DC} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{h} \cdot \left(I_{hL1}^2 + I_{hL2}^2 + I_{hL3}^2 + I_{hN}^2 \right) \left[W \right]$$

gdzie:

- ΔP - ΔP - straty mocy czynnej w żyle przewodu,
- R_{DC} - rezystancja żyły przewodu dla prądu stałego
- I_{hLn} - wartość skuteczna prądu h - tej harmonicznej dla żyły L1, L2, L3 i N,
- h - rząd harmonicznej prądu.

Wszystkie powyższe czynniki wpływają na wzrost temperatury izolacji żył przewodów i kabli powyżej temperatury dopuszczalnej długotrwale. Będzie to prowadzić do skrócenia żywotności instalacji elektroenergetycznej, a w krytycznej sytuacji nawet do nadtopienia izolacji i trwałego uszkodzenia torów zasilających.

Skutkiem przepływu prądu przez uzwojenia transformatora są straty obciążeniowe, które dzieli się na straty podstawowe i dodatkowe. Jeżeli przepływający prąd jest odkształcony od przebiegu sinusoidalnego, straty te mogą się zwiększyć na skutek następujących zjawisk:

- przyrost strat podstawowych w uzwojeniach, spowodowany wzrostem rezystancji uzwojeń na skutek zjawiska naskórkowości,
- przyrost strat dodatkowych, spowodowany zwiększeniem wartości prądów wirowych w uzwojeniach oraz zwiększeniem strat rozszerzeniowych w częściach konstrukcyjnych transformatora (rdzeniu, obejmach, kadzi).

Wzrost start mocy wylicza się korzystając ze wzoru:

$$K = \sum_{h=1}^{n} \left[h^2 \cdot \left(\frac{i_h}{i_{rms}} \right)^2 \right]$$

Szczególnie groźne okazują się harmoniczne wyższych rzędów, gdzie wraz z częstotliwością ich wpływ na straty rośnie w kwadracie rzędu harmonicznej. Skutkiem przepływu prądów odkształconych jest wzrost całkowitych strat mocy czynnej, co przede wszystkim objawia się we wzroście temperatury transformatora. Wzrost ten może znacząco skrócić żywotność jednostki, gdzie przyrost o 6°C skraca żywotność dwukrotnie, a o 12°C aż czterokrotnie (wg CEI/IEC 354 / VDE 0532 część 1/11.71).

Przebieg prądów odkształconych może również negatywnie wpływać na działanie aparatury zabezpieczającej, w tym zabezpieczeń topikowych oraz wyłączników. Dodatkowe nagrzewanie się torów prądowych może prowadzić do przedwczesnego zadziałania wyzwalacza termobimetalowego wyłącznika lub przepalenia się wkładki topikowej. Ze względu na zmianę kształtu prądu, a w szczególności możliwości pojawienia się przebiegu o wysokiej wartości współczynnika szczytu, może zdarzyć się nieprawidłowe działanie członu elektromagnetycznego, bezzwłocznego wyłącznika.

$$k_{sz} = \frac{X_{max}}{X_{sk}}$$

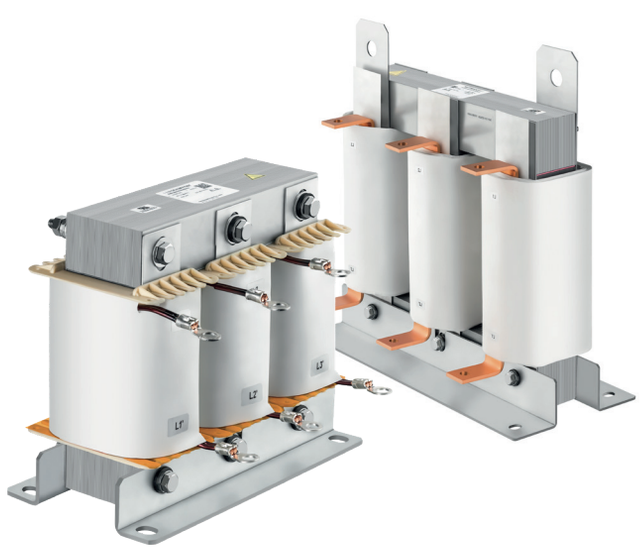
Stosowanie baterii kondensatorów w środowisku z wysoką zawartością wyższych harmonicznych może prowadzić do ich przegrzewania, wyłączania poszczególnych członów kompensacyjnych poprzez zabezpieczenia termiczne, a w najgorszym przypadku nawet do ich zapalenia.

PRZEGLĄD PRODUKTÓW

DŁAWIKI LINIOWE

CECHY I ZASTOSOWANIE

- Zwiększają niezawodność i efektywność urządzeń elektrycznych
- Redukują zawartość wyższych harmonicznych sieci i przepięć komutacyjnych
- Pracują w sieciach od 380 V do 690 V i mocach od 1,1 kW do 900 kW



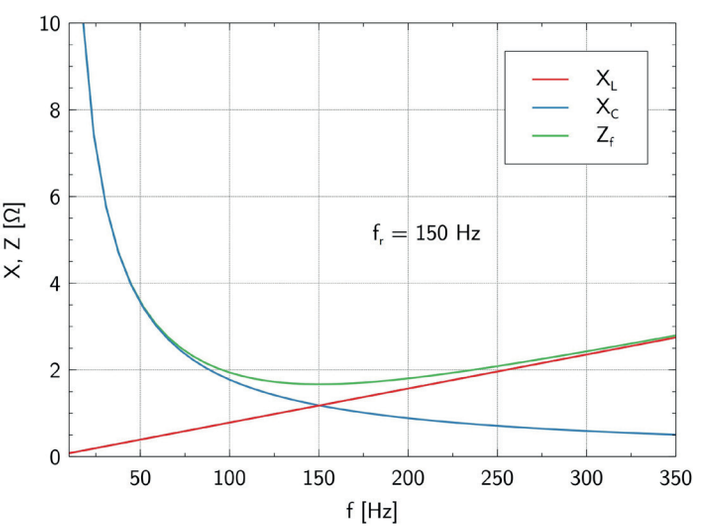


Wraz ze wzrostem częstotliwości poszczególnych wyższych harmonicznych prądu, maleje reaktancja pojemnościowa kondensatorów kompensujących.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \ C} [\Omega]$$

Powoduje to, że pobór prądu przez układ rośnie, a wraz z nim wzrasta temperatura jego pracy. Kondensatory są wrażliwe na wzrost temperatury, co może prowadzić do ich trwałego uszkodzenia, a w szczególnych przypadkach nawet zapalenia. Z tego powodu w takich obwodach należy stosować dławiki filtrujące w celu ochrony układu kompensującego.

Przepływ prądu odkształconego prowadzić może nie tylko do pogorszenia Jakości Energii Elektrycznej w zakładzie czy do poboru dodatkowych opłat za energię elektryczną, ale również do skrócenia żywotności instalacji i urządzeń elektroenergetycznych. W szczególnych przypadkach może nastąpić trwałe uszkodzenie poszczególnych elementów układów elektrycznych, co skutkuje dodatkowymi kosztami naprawy oraz przestojami w produkcji.



Rysunek 2. Zależność reaktancji indukcyjnej XL, pojemnościowej XC i wypadkowej impedancji układu Z szeregowego tych elementów

Jedną z miar stosowanych do opisu odkształcenia krzywej prądu jest współczynnik całkowitego odkształcenia THDi:

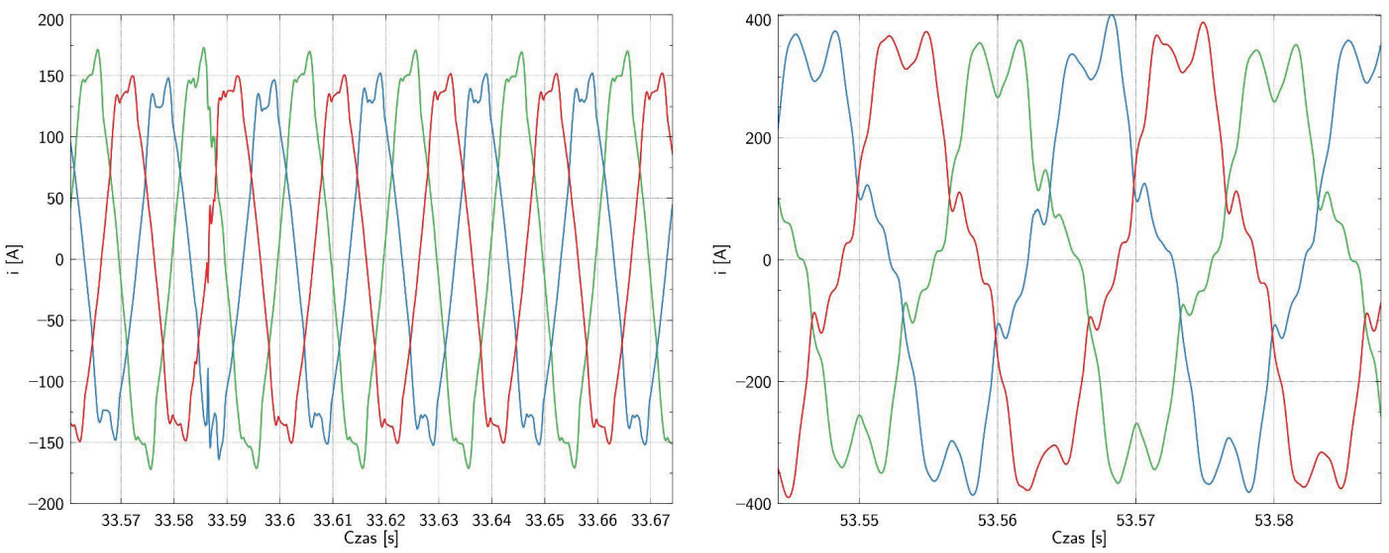
$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1} \cdot 100[\%]$$

Określa on całkowity wpływ poszczególnych rzędów wyższych harmonicznych prądu w wartości skutecznej prądu, odniesionej do harmonicznej podstawowej. Dla tego współczynnika nie jest istotny rząd danej harmonicznej tylko jej wartość.

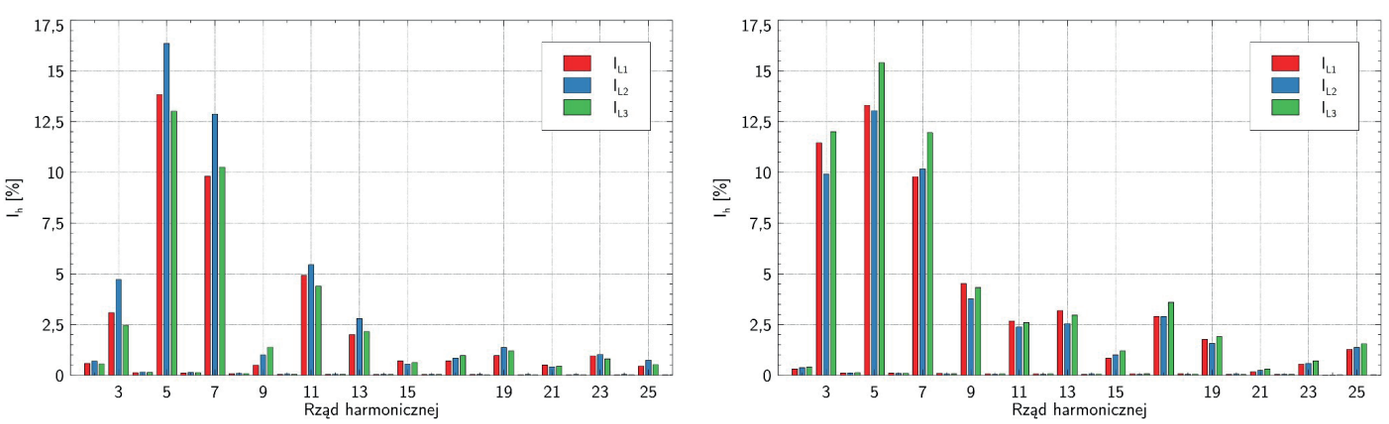
Najczęściej oblicza się THDi w zakresie od 2 do 40 harmonicznej, czasami do 50 harmonicznej. Oznacza to, że współczynnik ten uwzględnia częstotliwości wyższych harmonicznych do 2 kHz lub 2,5 kHz.

Charakter i rodzaj odbiorników energii elektrycznej, a w szczególności sposób ich sterowania determinuje widmo wyższych harmonicznych prądu w układzie zasilającym. W zdecydowanej większości przypadków dominuje udział wyższych harmonicznych rzędu 5, 7, 11 i 13, przy czym przeważnie największy wpływ na odkształcenie ma harmoniczna rzędu piątego.

a)



b)



Rysunek 3. Przykładowe przebiegi prądu odkształconego (a) i odpowiadające im spektrum wyższych harmonicznych (b)



KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ

PRZEGLĄD PRODUKTÓW

AUTOMATYCZNE BATERIE KONDENSATORÓW - SERIA OPTIM P&P



Urządzenia opracowane w celu automatycznej kompensacji energii biernej w sieciach, gdzie poziom obciążenia waha się,
a zmiany mocy następują w granicach sekundy.

Zastosowanie automatycznych baterii kondensatorów serii OPTIM P&P
Dzięki łatwemu montażowi oraz wysokiej technologii i solidnej budowie, seria OPTIM P&P stanowi idealne urządzenia do kompensacji energii biernej w instalacjach o zmiennym poziomie obciążenia.

AUTOMATYCZNE BATERIE KONDENSATORÓW Z FILTRAMI TŁUMIĄCYMI - SERIA OPTIM FR

Urządzenia zaprojektowane do kompensacji energii biernej w sieciach, gdzie występuje zmienny poziom obciążenia, duża zawartość harmonicznych oraz ryzyko rezonansu. Zmiany mocy są stosunkowo wolne (rzędu kilku sekund), z tego względu przełączanie wykonywane jest za pomocą styczników.

AUTOMATYCZNE BATERIE KONDENSATORÓW Z ZAŁĄCZANIEM STATYCZNYM - SERIA OPTIM EMS - C

Ich system załączania oparty o zastosowanie półprzewodników w stanie stałym, pozwala na podłączanie i odłączanie poszczególnych stopni regulacji w ciągu kilku milisekund. Urządzenie stosowane zazwyczaj przy indywidualnych obciążeniach lub w instalacjach, gdzie wymagana jest natychmiastowa odpowiedź kompensacyjna (np. urządzenia spawalnicze, silniki do wind, schodów ruchomych itd.).

AUTOMATYCZNE BATERIE KONDENSATORÓW Z FILTRAMI TŁUMIĄCYMI I TYRYSTORAMI - SERIA OPTIM FRE

Urządzenia zaprojektowane do kompensacji energii biernej w sieciach, gdzie występuje zmienny poziom obciążenia, duża zawartość harmonicznych oraz ryzyko rezonansu. Zmiany mocy są stosunkowo szybkie (rzędu tysięcznych części sekundy), z tego względu przełączanie odbywa się za pomocą tyrystorów. Są one podłączone do płyty sterującej napięciem w taki sposób, że podłączenie i odłączenie kondensatora odbywa się przy zerowej różnicy napięcia. Dzięki temu systemowi unika się stanów przejściowych przy podłączaniu i odłączaniu stopni i można natychmiast zareagować na wahania obciążenia.

BATERIE KONDENSATORÓW

DANE TECHNICZNE

Napięcie znamionowe	3 x 400 V
Zakres mocy	2-1 322 kVAr
Przełączanie	Stycznik / Tyrystor
Liczba stropni	1-16
Obudowa	Metalowa IP21
Instalacja	Wewnętrzna
Montaż	Naścienny / wolnostojąca
Regulator	Computer MAX / SMART
Kondensatory	CLZ
Zabezpieczenia	Dla każdego stopnia regulacji





KONDENSATORY

- wieloletnia niezawodność,
- moc kondensatorów: 2,3 - 37 kVAr 400 V,
- napięcie znamionowe: 440, 480, 525, 690 lub 800 V,
- trójfazowy wyłącznik ciśnieniowy,
- żywotność >150 000 h,
- izolacja: żywica epoksydowa,
- temperatura pracy: od -40°C do 60°C.

DŁAWIKI FILTRUJĄCE

- tłumienie: 5,5 / 7 / 12,5 / 14%,
- moc znamionowa: 1,5 kVAr 100 kVAr,
- temperaturowy wyłącznik chroniący przed przeciążeniem,
- wysoka liniowość dławika,
- niskie straty mocy,
- wykonanie z miedzi lub aluminium.

REGULATORY MOCY BIERNEJ - SERIA MULTICOMP 2F144-NC

- dowolne programowanie mocy stopni,
- regulacja czasu rozładowania,
- 6-12 stopni regulacji,
- optymalizacja pracy przez ograniczenie liczby przełączeń,
- tryb pracy ręcznej bądź automatycznej,
- monitorowanie ilości przełączeń każdego stopnia,
- pomiar cos φ, prąd, napięcia, moc bierna, moc bierna brakująca do skompensowania układu, moc czynna, moc pozorna, THD,
- programowalny przekaźnik alarmowy,
- funkcja autolearningu pozwalająca na automatycznym sprawdzeniu rzeczywistej wartości stopnia.

DŁAWIKI KOMPENSACYJNE

- 1- lub 3-fazowe,
- moc znamionowa: 0,5 kVAr-100 kVAr,
- zabezpieczenie termiczne,
- niskie straty mocy,
- wykonanie z aluminium lub miedzi.

ŁĄCZNIKI TYRYSTOROWE

- zakres obciążenia aż do 115 A,
- napięcie: 400 / 690 V,
- natychmiastowe załączanie w ciągu kilku milisekund,
- załączanie/odłączanie stopni przy zerowej różnicy napięcia,
- brak stanów przejściowych,
- bez hałasu.

REGULATORY - SERIA MULTICOMP F144 - 3PH

- dowolne programowanie mocy stopni,
- indywidualne programowanie każdego stopnia,
- programowalne wyjścia 1- lub 3-fazowe,
- wyjścia stopni o charakterze pojemnościowym i indukcyjnym,
- liczba stopni: 18,
- regulacja czasu rozładowania,
- optymalizacja pracy przez ograniczenie liczby przełączeń,
- tryb pracy ręcznej lub automatycznej,
- mierzone wartości: cosφ, prądy, napięcia, moc bierna, moc bierna brakująca do skompensowania układu, moc czynna, moc pozorna, THD, temperatura.

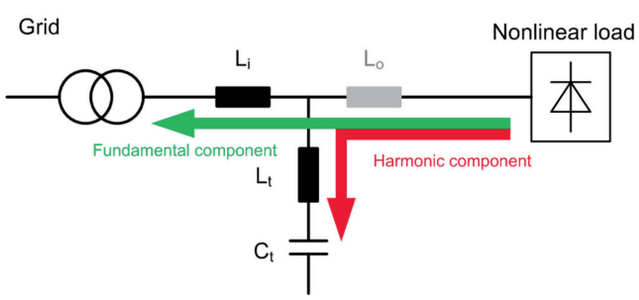


DOSTĘPNE ROZWIĄZANIA W ZAKRESIE POPRAWY PARAMETRÓW JEE

Aby przeciwdziałać negatywnym skutkom pogorszenia się wartości parametrów Jakości Energii Elektrycznej, a w szczególności wzrostowi wyższych harmonicznych, można wykorzystać różne rozwiązania. Uzależnione są one od takich czynników jak: mocy zapotrzebowanej w zakładzie, sztywności sieci zasilającej, mocy odbiorników czy budowy samej instalacji elektroenergetycznej. Dobór konkretnego rozwiązania powinien opierać się na analizie układu zasilającego zakład, reżimu pracy i zainstalowanych odbiorników. Bardzo ważnym punktem doboru jest wykonanie pomiarów Jakości Energii Elektrycznej i ich prawidłowa analiza. Na podstawie oceny zebranego materiału można zaproponować optymalne rozwiązanie, które powinno doprowadzić do poprawy parametrów jakościowych energii elektrycznej przy rozsądnych kosztach inwestycyjnych. Do tych rozwiązań można zaliczyć następujące elementy i urządzenia:

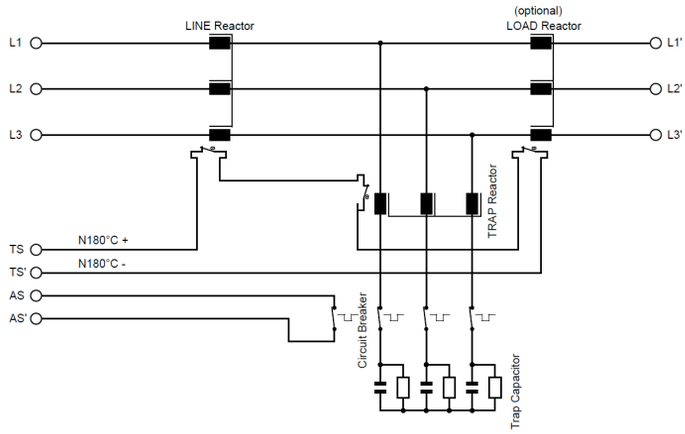
· filtry pasywne,
· statyczne generatory mocy biernej SVG,
· filtry aktywne.

Aby wyeliminować wpływ wyższych harmonicznych na układ zasilający i odbiorniki elektryczne warto stosować filtry pasywne. Filtry te przeznaczone są do współpracy w układach z trójfazowymi, sześciopulsowymi przemiennikami częstotliwości. Przemienniki te są źródłem harmonicznych rzędów 6k ± 1, czyli harmonicznych prądowych rzędów piątej, siódmej, jedenastej, trzynastej, etc. Im wyższy rząd danej harmonicznej prądowej tym typowo jej udział w prądzie pobieranym z sieci maleje. Składa się to na typowe spektrum wyższych harmonicznych prądu, obserwowane w przemyśle nasyconym tego typu odbiornikami. Znajomość tego spektrum pozwoliło na stworzenie odpowiedniego urządzenia, którego celem będzie ograniczenie negatywnego wpływu tych przemienników na sieć zasilającą w zakładzie przemysłowym. Tymi urządzeniami są właśnie filtry pasywne. Ich zasada działania opiera się na stworzenia niskoimpendacyjnej ścieżki dla wskazanych rzędów wyższych harmonicznych (rys. 4.) Dzięki temu prąd odkształcony zamyka się w obwodzie przemiennik- filtr pasywny, a z sieci pobierana jest tylko składowa podstawowa prądu, odpowiedzialna za przesył mocy czynnej do urządzenia.



Rysunek 4. Obrazowe przedstawienie podstawowej zasady działania filtrów pasywnych

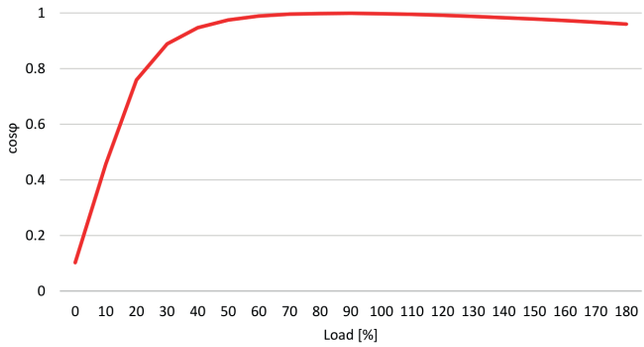
Filtry pasywne zbudowane są wyłącznie o elementy pasywne, czyli odpowiednie połączenie indukcyjności i pojemności (rys. 5). Elementy te są tak dobrane, aby dla wybranego przedziału częstotliwości, typowo 250 Hz, 350 Hz, 550 Hz i 750 Hz, uzyskać jak najniższą wypadkową impedancję wewnętrzną. Tym samym zapewnić przepływ prądu o tych częstotliwościach w układzie filtra, a nie sieci. Dodatkowo ważnym elementem jest dławik liniowy stosowany na wejściu. Jego zadaniem jest „blokować" przepływ prądu o wyższych częstotliwościach do sieci, jego impedancja rośnie wraz z częstotliwością sygnału.



Rysunek 5. Przykładowa budowa wewnętrzna filtra pasywnego firmy Schaffner

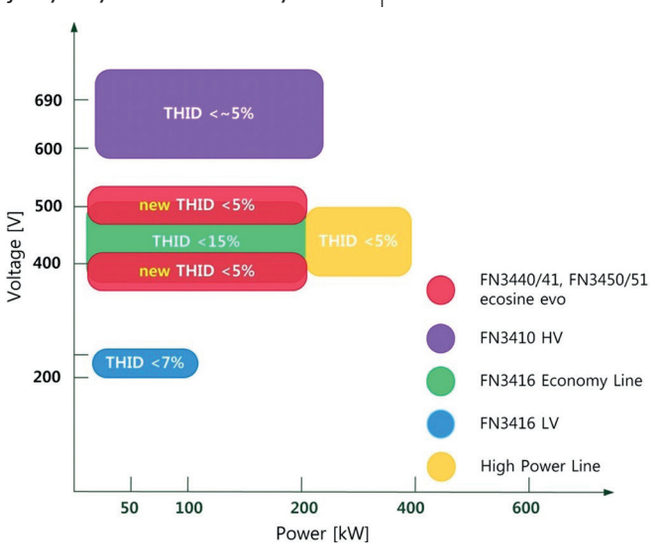
Filtry pasywne wyższych harmonicznych wyposażone są dodatkowo w czujniki temperatury, instalowane wewnątrz filtra. Przegrzanie któregokolwiek elementu powinno prowadzić do natychmiastowego odłączenia odbiornika razem z filtrem pasywnym, w celu ochrony przed przegrzaniem i jego trwałym uszkodzeniem. Takie zabezpieczenie należy zrealizować w zewnętrznym układzie, ponieważ sam filtr nie jest wyposażony w niezbędną aparaturę łączeniową.

Kolejnym elementem filtrów pasywnych, który może się w nich pojawić, jest złącze odłączające część filtrującą wyższe harmoniczne. Jego obecność wynika ze zmian współczynnika mocy układu filtr pasywny- przemiennik przy niskim poborze mocy czynnej (rys. 6). Przy obniżonych wartościach mocy czynnej, niższych niż 50% mocy znamionowej odbiornika, zaczyna pojawiać się coraz silniej składowa pojemnościowa mocy biernej filtra pasywnego. Szczególnie istotne jest ta zmiana, w przypadku gdy filtr pasywny pozostaje stale zasilony, a obwód odbiorczy zostanie wyłączony, bądź znacząco ograniczona zostanie jego moc. W takim przypadku wystąpi znaczny pobór mocy biernej o charakterze pojemnościowym. Aby temu zaradzić, wprowadza się w takich przypadkach dodatkowe złącze, które należy podłączyć do zewnętrznego układu kontroli poboru prądu wyposażonego w odpowiednio dobrany stycznik. Układ ten powinien wykrywać obniżony poziom poboru mocy i wtedy rozłączać część z kondensatorami filtrującymi. Dzięki temu nie nastąpi pobór mocy biernej o charakterze pojemnościowym. Ze względu na wyłączenie tej części nastąpi przerwa w filtracji wyższych harmonicznych. Należy pamiętać, że nastąpi to przy niskiej wartości prądu skutecznego, często poniżej 20% wartości znamionowej. Przy tych wartościach oddziaływanie tego prądu na sieć i tak jest znacznie ograniczone i nie rodzi tych samym skutków co przy obciążeniu znamionowym. Tym samym nie zachodzi groźba wyraźnego pogorszenia parametrów jakości energii elektrycznej w obwodzie zasilającym filtr pasywny.



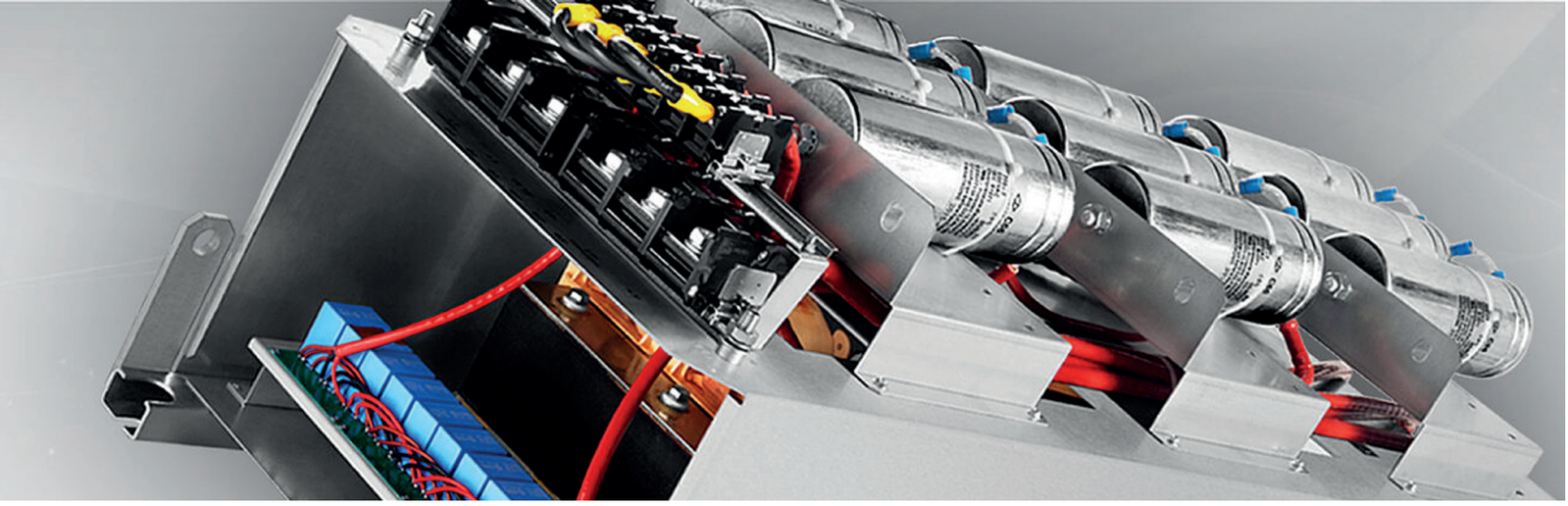
Rysunek 6. Zmiana wartości współczynnika mocy cos Φ w zależności od zmian obciążenia

Jednym z wiodących producentów filtrów na świecie jest firma Schaffner. Oferuje ona filtry pasywne przeznaczone do takich aplikacji jak sprzęt z prostownikami sześciopulsowymi, w tym napędami silnikowymi, urządzeniami do uzdatniania wody/ścieków, wentylatorami i pompami, instalacjami HVAC czy też szybkimi ładowarkami DC. Spektrum dostępnych oferowanych modeli pozwala na dobór właściwego rozwiązania na napięcia od 230 V do 690 V, dla mocy od pojedynczych kilowatów do 500 kW i dla różnych oczekiwanych rezultatów redukcji wyższych harmonicznych THD_i.

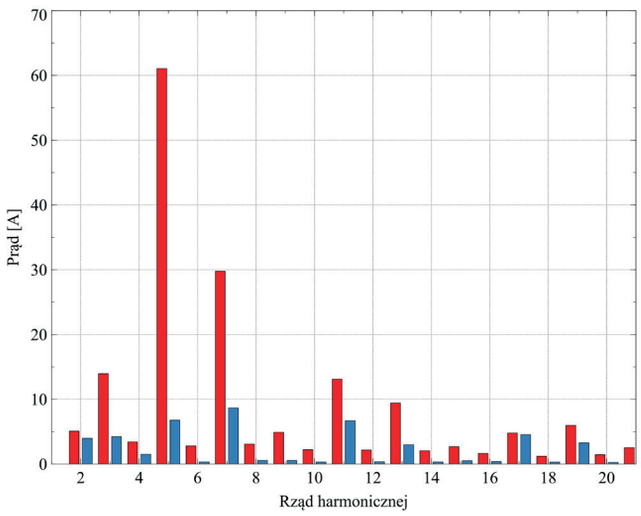


Rysunek 7. Dobór filtra pasywnego w zależności od mocy i oczekiwanej wartości współczynnika THD_i dla różnych linii produktów

Filtry te przeznaczone są do pracy z przekształtnikami trójfazowymi, sześciopulsowymi, zarówno w wykonaniu diodowym, jak i tyrystorowym. W zależności od wyboru linii produktu można, przy założeniu nominalnego obciążenia, uzyskać obniżenie wartości całkowitego współczynnika wyższych harmonicznych prądu THD_i do poziomu nawet poniżej 5%. Każdorazowo dobór właściwego rozwiązania powinien być poprzedzony pomiarami jakości energii elektrycznej, aby prawidłowo ocenić rzeczywiste zapotrzebowanie i możliwe do osiągnięcia rezultaty.



Rzeczywista skuteczność redukcji wyższych harmonicznych prądu uzależniona jest od wielu czynników, w tym od mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia instalacji, zastosowanego modelu filtra pasywnego czy spektrum wyższych harmonicznych prądu generowanych przez odbiorniki.



Rysunek 8. Porównanie spektrum wartości skutecznych wyższych harmonicznych prądu przed (kolorem czerwonym) i po (kolorem niebieskim) zastosowaniu filtra pasywnego

Przedstawione zostało porównanie pracy układu przed i po instalacji filtra pasywnego w obwodzie zasilającym wentylator o mocy znamionowej 140 kW (rys. 8). Średnia redukcja wyższych harmonicznych prądu, dla wszystkich trzech faz, w zakresie od harmonicznej rzędu drugiego do dwudziestego, wyniosła 65,58%. Wyraźnie widać, że w instalacji bez filtra dominowały harmoniczne rzędów 5, 7, 11 i 13. Zastosowanie omawianego rozwiązania pozwoliło na ograniczenie tych harmonicznych o odpowiednio: 88,46%, 72,04%, 54,48% i 68,19%.



Rysunek 9. Wygląd filtra firmy Schaffner (z linii ecosine), model FN3440



FILTRY AKTYWNE

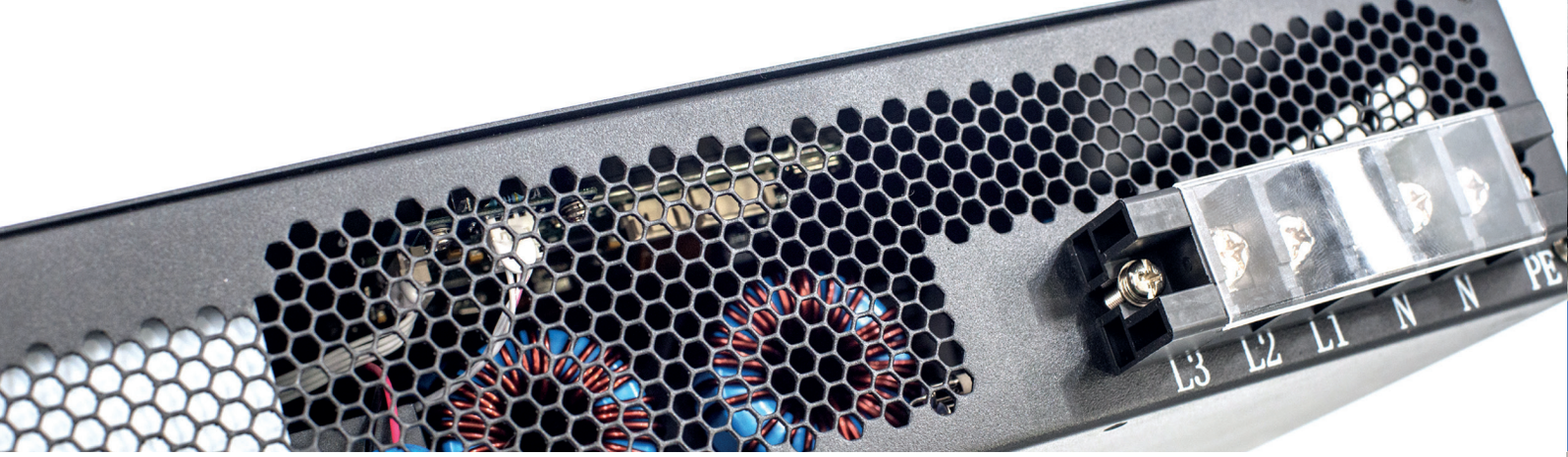
Filtry aktywne są najbardziej zaawansowanym technicznie urządzeniem, którego celem jest poprawa parametrów Jakości Energii Elektrycznej. Korzyści z zastosowania tych urządzeń obejmują między innymi:

- poprawa parametrów jakości energii elektrycznej:
  - obniżenie THD_i nawet do wartości poniżej 5%,
  - utrzymanie wymaganego THD_U,
  - ograniczenie szybkich zmian napięcia wywołanych poborem mocy biernej
  - ograniczenie migotania,
- efektywna gospodarka mocą bierną:
  - utrzymywanie żądanego, wysokiego współczynnika mocy,
  - skuteczne ograniczenie przepływu mocy biernej dzięki dynamicznej kompensacji,
  - ograniczenie strat sieciowych,
  - ograniczenie strat w transformatorach,
- symetryzacja obciążenia
- podniesienie niezawodności systemu energetycznego i jego stabilności
- wydłużenie czasu życia urządzeń elektrycznych
- uzyskanie dodatkowej mocy przyłączeniowej
- ograniczenie kosztów energii

Dotychczasowe bogate doświadczenie firmy ASTAT pozwoliło na realizację szeregu inwestycji w przemyśle związanych z dostarczeniem Filtrów Aktywnych o łącznej mocy ponad 4 MVAr. Na szczególne wyróżnienie zasługuje jeden z największych browarów w Polsce, który zamontował już ponad 2 MVAr mocy w sześciu rozdzielniach elektrycznych SN/nN.







Do najważniejszych cech tych urządzeń należą:

- wysoce efektywne ograniczenie wyższych harmonicznych prądu aż do 50 rzędu, możliwość kompensacji harmonicznych parzystych i nieparzystych,
- kompaktowy rozmiar filtru aktywnego dla obciążeń trójfazowych, zarówno w układzie z przewodem neutralnym, jak i bez niego,
- możliwa redukcja całkowitego współczynnika odkształceń prądu THD_i nawet do poziomu poniżej 5%, osiągalna nawet w przypadku najbardziej złożonych przebiegów prądów i zmieniające się profil obciążeń,
- modułowa konstrukcja z inteligentnym systemem kontroli, która pozwala na dostosowanie rozwiązania dla różnych aplikacji,
- zastosowana 3 - poziomowa topologia inwertera IGBT pozwala na zmniejszenie strat mocy,
- rozszerzony zakres temperatur pracy dla modułów do 50°C,
- dynamiczna kompensacja mocy biernej (indukcyjna i pojemnościowa),
- redukcja asymetrii obciążenia fazowego oraz odciążanie żyły neutralnej przewodów,
- możliwa redukcja migotania światła P_{lt} (spowodowanego zmianami poboru mocy biernej),
- zgodność ze standardami jakości energii, w tym m.in. IEEE 519, EN 61000-3-12
- przyjazny dla użytkownika, łatwy w instalacji i konserwacji.

Rozwiązanie modułowe oparte jest na jednostkach o prądzie znamionowym 60 A (41,5 kVAr przy napięciu 400 V AC). W pojedynczej rozdzielnicy możliwe jest podłączenie do pięciu jednostek, co pozwala na stworzenie układu kompensacyjnego o prądzie 300 A i mocy ok. 200 kVAr. Sterowanie pracą poszczególnych modułów odbywa się poprzez wyspecjalizowany moduł sterujący Sync. Reguluje on pracą każdego z modułów, tak aby równomiernie rozłożyć obciążenie. Pozwala również na pracę modułów w dwóch trybach uśpienia, tzw. hot - standby i cold - standby. Rozszerzenie mocy układu filtrów jest możliwe poprzez dołączenie kolejnych rozdzielnic. Współpraca w jednym układzie możliwa jest dla pięciu rozdzielnic, oferując prąd kompensacyjny o wartości 1 200 A (ok. 830 kVAr).



Rysunek 10. Moduł sterujący i synchronizujący pracę filtrów aktywnych Sync

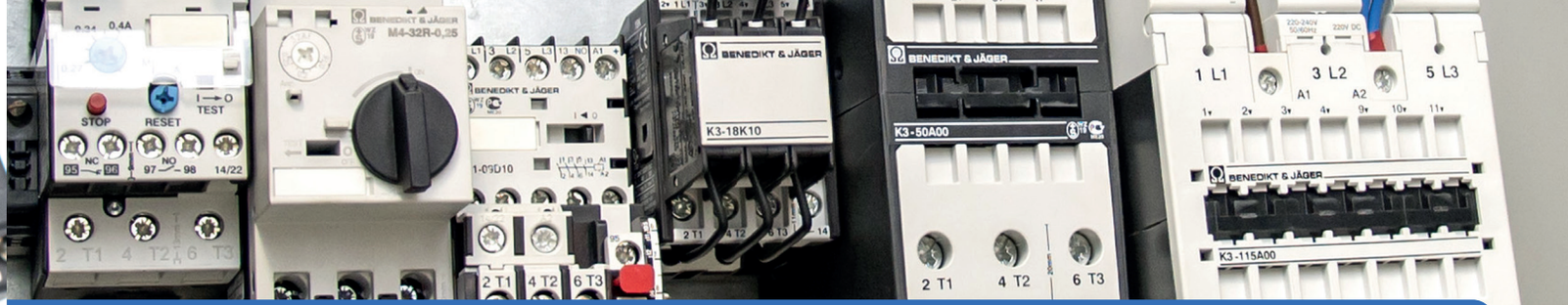
PRZEGLĄD PRODUKTÓW

ZESTAWIENIE FILTRÓW

DANE TECHNICZNE



Typ filtra	Xinus D	FN 3530 / 3531
Prąd znamionowy kompensacji	75 / 140 / 220 / 440 / 660 / 880 A	60 A
Napięcie znamionowe	400-500 V	380-480 V
Liczba modułów w pracy równoległej	do 8	do 5
Czas odpowiedzi	<125 µs	<100 µs
Układ 3/4 przewodowy	3/4 W	3/4 W
Starty mocy	<3%	<3%
Komunikacja	Modbus RTU, Ethernet	Modbus RTU, Ethernet
Stopień ochrony	IP20 / IP54	IP20 / IP54



STATYCZNE GENERATORY MOCY BIERNEJ SVG



Rysunek 7. Wygląd zewnętrzny Statycznego Generatora Mocy Biernej SVG o mocy 30 kVAr

Najważniejsze cechy układów kompensacyjnych SVG oferowanych przez Astat:

- wykonanie czteroprzewodowe,
- kompensacja mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej w jednym urządzeniu,
- symetryzacja obciążeń,
- praktycznie nieograniczona liczba cykli łączeniowych,
- prostsza konserwacja urządzenia,
- kompensacja nadążna,
- brak zjawisk rezonansowych,
- uzupełniająca filtracja nieparzystych wyższych harmonicznych prądu rzędów 3, 5, 7, 11 i 13,
- kompensacja każdej z faz niezależnie,
- czas reakcji nie dłuższy niż 10 ms.

Typowe układy kompensujące, oparte na bateriach kondensatorowych lub dławikowych sterowanych klasycznymi stycznikami, a nawet poprzez układy tyrystorowe, nie są w stanie zapewnić właściwych parametrów jakości energii, przy równoczesnym występowaniu następujących problemów:

a) szybkie zmiany zapotrzebowania na moc bierną,
b) częste zmiany wartości zapotrzebowanej mocy,
c) naprzemienne zapotrzebowanie na moc bierną pojemnościową i indukcyjną,
d) asymetryczne zapotrzebowanie na moc bierną.

Rozwiązaniem, jakie można tutaj zaproponować są statyczne generatory mocy biernej, tzw. SVG (rys. 7). Są to urządzenia energoelektroniczne, wykorzystujące do swojego działania układy tranzystorów IGBT.

Kompensatory SVG pozwalają na nadążną kompensację, niezależną dla każdej z faz, co umożliwia ograniczenie zapotrzebowania na moc bierną, także w układach, gdzie dynamika zmian obciążenia jest znaczna. Przy czasie odpowiedzi na zmiany zapotrzebowania, nie dłuższym niż 10 ms, generowana moc bierna dostarczana jest do odbiornika płynnie, praktycznie bez obciążania układu zasilającego. Dodatkowo urządzenia pozwalają na generację mocy biernej o charakterze pojemnościowym lub indykcyjnym, co ma zastosowanie w zakładach, gdzie, np. w porze nocnej lub dni wolne od pracy, charakter zapotrzebowanej mocy biernej zmienia się z indukcyjnego na pojemnościowy. Zastosowanie energoelektronicznych układów załączających pozwala na prawie nieograniczoną liczbę cykli łączeniowych. Dla porównania, styczniki łączeniowe w bateriach kondensatorów pozwalają na ok. 100 przełączeń w ciągu godziny i około 100 tys. do 400 tys. łączeń elektrycznych w cyklu życia produktu (zależnie od modelu i producenta).

NASI KLIENCI

- Zakłady przemysłowe
- Hotele
- Budynki PKP
- Wodociągi
- Lokale gastronomiczne
- Przychodnie lekarskie, kliniki
- Biurowce
- Zakłady karne
- Lotniska
- Centra przechowywania i przetwarzania danych

Cechy układu kompensacyjnego	Układy z łączeniem stycznikowym (MSC/MSR)	Układy z łączeniem elektronicznym (TSC/TSR)	Układy SVG/STATCOM
Częstość łączeń	Kilka do kilkunastu na godzinę	Nieograniczona	Nieograniczona
Liczba cykli łączeniowych	Uzależniona od łącznika mechanicznego	Nieograniczona	Nieograniczona
Charakter kompensacji	Skokowa	Skokowa	Płynna
Rodzaj kompensowanej mocy biernej	Pojemnościowa, indukcyjna lub mieszana	Pojemnościowa, indukcyjna lub mieszana	Pojemnościowa i indukcyjna
Układy z asymetrią obciążenia	Układ przeznaczony do pracy w systemach bez asymetrii. Wymagają droższych sterowników i dodatkowych stopni 1 - fazowych w układach z asymetrią		Kompensacja niezależna dla każdej z faz
Czas reakcji	Zwłoka czasowa od kilkunastu do kilkuset sekund	Natychmiastowy	Natychmiastowy
Praca w układach z wyższymi harmonicznymi	Nieodporne, konieczne zastosowanie układów filtrujących	Nieodporne, konieczne zastosowanie układów filtrujących	Niewrażliwe lub ograniczają wyższe harmoniczne
Stany przejściowe (przepięcie i/lub przetężenia)	Generują stany przejściowe	Generują stany przejściowe	Nie generują stanów przejściowych

MSC/MSR - Mechanical Switched Capacitor/Reactor;
TSC/TSR - Thyristor Switch Capacitor/Reactor; SVG/STATCOM - Static Variable Generator

Układy kompensacyjne SVG znajdują zastosowanie:

- w zakładach przemysłowych, gdzie występują częste zmiany obciążenia (załączanie/wyłączanie maszyn, etc.),
- tam, gdzie zastosowane są silniki zasilane poprzez falowniki (typowe spektrum WH zawiera 5,7, 11 i 13 h),
- jeżeli występuje naprzemienny pobór mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej,
- w małych obiektach usługowo - komercyjnych, gdzie mamy do czynienia z jedno i trójfazowymi obciążeniami,
- tam, gdzie brak stałej obsługi technicznej.

Oferowane układy SVG pozwalają również na częściową eliminację wyższych harmonicznych prądu, nawet do dwunastego rzędu. Rozwiązanie takie wyróżnia przedstawione układy, które zyskują wielki atut w zakresie poprawy Jakości Energii Elektrycznej.

Zakres ograniczania wyższych harmonicznych do trzynastego rzędu jest wystarczający dla części odbiorców energii elektrycznej. Często występują właśnie wyższe harmoniczne rzędów 5 i 7, a w układach z odbiornikami jednofazowymi także 3 rzędu. Dla takich odbiorców eliminacja tych rzędów harmonicznych prądu może okazać się wystarczająca, a przy jednoczesnej kompensacji mocy biernej układu SVG, może okazać się najwłaściwszym rozwiązaniem.

Urządzeniem charakteryzującym się najwyższym poziomem możliwości są filtry aktywne. Jako urządzenia przeznaczone do kompensacji mocy biernej i redukcji wyższych harmonicznych pozwalają osiągnąć więcej funkcji niż SVG. Na szczególną uwagę zasługują rozwiązania firmy Schaffner, zbudowane w oparciu o technologie modułową, pozwalają w prosty sposób rozszerzać moc filtrów przy minimalnym nakładzie pracy i kosztów.

ATUTY ROZWIĄZANIA

Oszczędność pieniędzy
- Brak opłat powodowanych obecnością energii biernej
- SVG ogranicza przepływ mocy biernej zapewniając prawidłowy cosφ, w przypadku każdego rodzaju obciążenia

Oszczędności czasu
- Czas zadziałania na poziomie 20 ms
- Niezwykła efektywność urządzenia zapewniona przez zastosowanie tranzystorów IBGT, prostsza konserwacja
- Brak elementów elektromechanicznych, dzięki czemu nie ma konieczności wymiany części

Oszczędność miejsca
- Niewielkie gabaryty i ciężar urządzenia
- Wymiary wynoszą od 500 x 120 x 460 mm do 500 x 220 x 558 mm

Nieograniczona liczba cykli łączeniowych

Możliwość rozbudowy układu kompensującego
- Łączenie równoległe kolejnych urządzeń

Kompensacja wyższych harmonicznych
- Oferowane układy SVG pozwalają częściowo wyeliminować wyższe harmoniczne prądu

Możliwość zdalnej obsługi
- Innowacyjność urządzenia, pozwala na wykonanie zdalnej diagnostyki urządzenia online

Połączenie przez protokół Modbus RTU



DOBÓR PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Prawidłowa praca układów dynamicznej kompensacji takich jak filtry aktywne oraz statyczne generatory mocy biernej SVG wymaga prawidłowego pomiaru prądu w instalacji elektroenergetycznej. Pomiar ten odbywa się w sposób pośredni, poprzez przekładniki prądowe niskiego napięcia. Najważniejsze parametry elektryczne charakteryzujące przekładniki to:

Przekładnia znamionowa: jest to stosunek znamionowego prądu pierwotnego do znamionowego prądu wtórnego; jest on podawany na tabliczce znamionowej jako nieskrócony ułamek,

Prąd znamionowy I_n: jest to podana na tabliczce znamionowej wartość skuteczna prądu pierwotnego i wtórnego; znormalizowanymi znamionowymi prądami pierwotnymi są następujące wartości: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100 A i ich dziesiętne wielokrotności aż do maks. 7 500 A; znormalizowanymi znamionowymi prądami wtórnymi są wartości 5 A i 1 A,

Najwyższe napięcie robocze U_m: określone jest jako najwyższa trwale dopuszczalna wartość napięcia międzyprzewodowego, dla którego obliczona została izolacja przekładnika prądowego,

Znamionowe napięcie izolacji U_n: jest to znormalizowana wartość napięcia międzyprzewodowego, na które jest wykonana izolacja pomiędzy uzwojeniem pierwotnym, a wtórnym lub uziemionymi częściami metalowymi przekładnika,

Znamionowe obciążenie wtórne przekładnika prądowego: jest to wyrażona przez wartość bezwzględną impedancji i współczynnik mocy zewnętrznego obwodu wtórnego; znamionowe obciążenie wtórne jest miarodajne dla określenia granic błędu przekładnika prądowego,

Moc pozorna: jest to wynik iloczynu znamionowego obciążenia wtórnego i kwadratu znamionowego prądu wtórnego wyrażony w VA. Wg DIN VDE 0414 znormalizowanymi dla przekładników prądowych są następujące znamionowe moce pozorne: 2,5; 5; 7,5; 10; 15 i 30 VA,

Znamionowy prąd granicznego błędu strony pierwotnej: jest to prąd, przy którym, dla znamionowego obciążenia wtórnego, dla celów ochronnych ustalone błędy całkowite nie są jeszcze przekroczone i dla przekładników prądowych całkowity błąd jest równy lub większy niż 10%; jest to wielkość odniesienia dla ustalenia wyznaczenia współczynnika ograniczenia prądu przeciążeniowego,

Znamionowa liczba przetężeniowa F_S: jest to współczynnik, przez który musi być przemnożony prąd pierwotny, aby otrzymać graniczny prąd strony pierwotnej, przy którym występuje znamionowy błąd,

Błąd całkowity przekładnika prądowego: jest to procentowy stosunek skutecznych wartości (tworzonych dla określonych okresów czasu) różnic iloczynu znamionowej przekładni i wartości chwilowych prądu wtórnego i chwilowych wartości prądu pierwotnego do wartości skutecznej prądu pierwotnego,

Błąd prądowy F_i: błąd prądowy jest różnicą pomiędzy wartością skuteczną prądu wtórnego pomnożoną przez przekładnię znamionową K_n, a wartością skuteczną prądu pierwotnego, wyrażoną w procentach,

Błąd kątowy: oznacza przesunięcie fazowe prądu wtórnego wobec prądu pierwotnego, przy tym kierunki wyjściowe są tak ustalone, że przy przekładniku wolnym od błędu uzyskuje się przesunięcie 0°; błąd kątowy podaje się w minutach kątowych lub centyradianach (1 crad = 34,4 min) i liczony jest jako dodatni, gdy wielkości wtórne (prądu) wyprzedzają wielkości pierwotne,

Klasa dokładności: to znormalizowana liczba oznaczająca umownie dopuszczalne błędy przekładnika prądowego w określonych warunkach pracy; klasy dokładności są oznaczone przez największy dopuszczalny procentowy błąd pomiarowy przy znamionowym prądzie pierwotnym przypisanym tej klasie dokładności; znormalizowane klasy dokładności to: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3,5 (tab. 1),

Znamionowy krótkotrwały prąd cieplny [I_{th}] 1 - sekundowy: wartość ta oznacza wartość skuteczną prądu pierwotnego, którą przekładnik ze zwartymi uzwojeniami wtórnymi powinien w ciągu 1 sek. wytrzymać bez uszkodzenia,

Znamionowy prąd dynamiczny [I_{dyn}]: wartość ta oznacza szczytową wartość prądu pierwotnego, której następstwo w postaci oddziaływania mechanicznego i elektromagnetycznego wytrzymuje przekładnik ze zwartym uzwojeniem wtórnym,

Cieplny znamionowy prąd ciągły I_{th}: ta wartość podaje prąd pierwotny, z którym przekładnik o podłączonym znamionowym obciążeniu może być używany bez przekroczenia przez uzwojenie wyspecyfikowanej, podanej wartości temperatury.

Tablica 1. Wartości graniczne błędów dla przekładników pomiarowych klasy 0,2s .. 3

	Błąd prądowy ± F_i				Błąd kątowy ± F_i			
Klasa dokładności	1,2 IN 1,0 IN %	0,2 IN %	0,05 IN %	0,01 IN %	1,2 IN 1,0 IN min	0,2 IN min	0,05 IN min	0,01 IN min
0,2	0,2	0,35	0,75		10	15	30	
0,2s	0,2	0,2	0,35	0,75	10	10	15	30
0,5	0,5	0,75	1,5		30	45	90	
0,5s	0,5	0,5	0,75	1,5	30	30	45	90
1	1	1,5	3		60	90	180	
3	3				120			

Przyłącza wszystkich uzwojeń pierwotnych są oznaczone przy pomocy liter K-P1 i L-P2; przyłącza wszystkich uzwojeń wtórnych oznacza się przy pomocy odpowiadających małych liter „k-s1" i „l-s2". Odczepy przy przekładnikach prądowych należy układać na stronie „L" względnie „l". Koniec uzwojenia „l" otrzymuje wtedy indeks „l1", odczepy ze zmniejszającą się ilością zwojów bieżącą indeksacją „l2", „l3", itd.

Dla sumujących przekładników prądowych z kilkoma niezależnymi uzwojeniami pierwotnymi należy rozróżnić zaciski poszczególnych uzwojeń poprzez dodanie przed duże litery „K" i „L" kolejnych dużych liter A, B, C itd. Np. „AK"-„AL" dla najwyższego obwodu pierwotnego; „BK"--„BL" dla drugiego obwodu pierwotnego itd. lub jest podana na każdej parze zacisków przekładnia względnie stosunek do siebie przekładni pojedynczych uzwojeń pierwotnych.

Podczas doboru przekładnika prądowego należy zwrócić szczególną uwagę na trzy parametry: przekładnię znamionową, moc pozorną i klasę dokładności. Dobór przekładni znamionowej związany jest w dużej mierze z wartością prądu strony pierwotnej przekładnika. Wartość tego prądu powinna odzwierciedlać rzeczywisty pobór w obwodzie pomiarowym. Należy pamiętać, że możliwe jest przeciążenie przekładnika prądowego o 20% bez wzrostu wartości błędu prądowego, a dla klas dokładności 0,2s i 0,5s, także bez wzrostu błędu kątowego.

Jednocześnie wzrost wartości znamionowego prądu pierwotnego przekładnika będzie prowadził do pogorszenia się jakości transformacji przy niskim obciążeniu. Przykładowo porównując przekładniki 400/5 o klasach 0,5 i 0,5s ten drugi zachowa swoją klasę przy pomiarze prądu na poziomie 80 A, podczas gdy dla przekładnika w klasie 0,5, w stosunku do klasy 0,5s, błąd prądowy wzrasta o ponad 30%. Jest to istotny aspekt, na który należy zwrócić uwagę podczas doboru, aby zapewnić prawidłową pracę układów kompensacyjnych także przy niskich wartościach prądu obciążenia.

Moc znamionowa przekładnika (pozorna) powinna być nie mniejsza niż całkowita moc pobierana przez przyrządy pomiarowe przyłączone do obwodów wtórnych, przy przepływie przez te obwody prądu znamionowego. Wymaganie to zakłada obciążenie przekładnika w granicach mocy znamionowej:

$$S_n > \sum_{k=1}^{m} S_k$$

gdzie:

- S_n - moc znamionowa przekładnika,
- S_k - moc k - tego urządzenia włączonego szeregowo w obwodzie wtórnym,
- k - liczba urządzeń włączonych szeregowo w obwodzie wtórnym.

Znaczne wartości mocy obciążenia związane są ze stratami występującymi na żyłach prądowych obwodów wtórnych przekładników. Straty te wyznaczyć można ze wzoru:

$$\Delta P = I_{TRMS}^2 \cdot \frac{2l}{\gamma \cdot S}$$

gdzie:

- I_{TRMS} - rzeczywista skuteczna wartość prądu obciążenia,
- l - długość żyły roboczej,
- γ - konduktywność materiału żyły,
- S - przekrój poprzeczny żyły.

lub posługując się wartościami rezystancji podanymi w katalogach producentów przewodów. Ze względu na stosowanie przekrojów przewodów znacznie większych, niż wymaganych z tytułu dopuszczalnej obciążalności prądowej, można pominąć wzrost wartości rezystancji przewodu spowodowany jego nagrzewaniem.
Straty mocy na żyłach przewodów wyznaczonych zgodnie ze wzorem przedstawiono w tablicy 2. Obliczenia te zostały wykonane przy założeniu konduktywności materiału równej 58 MS. Podczas obliczania strat mocy należy uwzględnić długości obu żył podłączonych do zacisków S1 i S2 przekładników prądowych.

Tablica 2. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu bez obecności wyższych harmonicznych, prąd wtórny 5 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,43	0,86	2,16	4,31	8,62	12,93
1,5	0,29	0,57	1,44	2,87	5,75	8,62
2,5	0,17	0,34	0,86	1,72	3,45	5,17
4	0,11	0,22	0,54	1,08	2,16	3,23
	0,07	0,14	0,36	0,72	1,44	2,16

Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu

Ponieważ przekładniki te mogą pracować w obwodach, gdzie występują znaczne odkształcenia krzywej prądu będzie prowadzić to również przenoszenia się wyższych harmonicznych na ich stronę wtórną. Odkształcone przebiegi będą powodowały większe straty mocy w żyłach roboczych obwodów wtórnych. Zgodnie z zależnością poniżej, wraz ze wzrostem wartości skutecznej kolejnych rzędów wyższych harmonicznych będzie rosła wartość skuteczna prądu w obwodzie, który to wpływa na straty mocy.

$$I_{TRMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{40} I_n}$$

Przykładowo, przyjmując udział wyższych harmonicznych na poziomie THD_i = 30%, wartość skuteczna prądu wzrośnie do poziomu:

$$I_{TRMS} = \sqrt{I_1^2 + I_H^2} = \sqrt{5^2 + 1{,}5^2} = 5{,}22\ A$$

Tym samym, wzrastać będą straty mocy w obwodzie. Straty mocy na żyłach przewodów uwzględniając wartość współczynnika THD_i na poziomie 30%, przedstawiono w tablicy 3. Straty te są o ok. 6% wyższe niż gdyby nie uwzględniać odkształcenia prądu.

Tablica 3. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu przy założeniu wartości współczynnika THD_i na poziomie 30%, prąd wtórny 5 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,46	0,91	2,28	4,57	9,14	13,71
1,5	0,30	0,61	1,52	3,05	6,09	9,14
2,5	0,18	0,37	0,91	1,83	3,66	5,48
4	0,11	0,23	0,57	1,14	2,28	3,43
6	0,08	0,15	0,38	0,76	1,52	2,28

Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu

Przy znanym lub zakładanym spektrum wyższych harmonicznych można skorzystać z wcześniejszego wzoru, w którym uwzględnione są poszczególne rzędy wyższych harmonicznych prądu. Przyjmując typowy udział harmonicznych rzędu piątego i siódmego, na poziomie odpowiednio 20% i 14% (wypadkowa wartość współczynnika THD_i ok. 28%), można wyznaczyć dokładniejsze wartości strat pochodzących od przebiegów odkształconych.

Straty mocy wyznaczone zgodnie z powyższymi zależnościami przedstawiono w tablicy 4. Straty te są o ok. 14% wyższe niż gdyby nie uwzględniać odkształcenia prądu. z powyższymi zależnościami przedstawiono w tablicy 4. Straty te są o ok. 14% wyższe niż gdyby nie uwzględniać odkształcenia prądu.

Tablica 4. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu przy założeniu obecności harmonicznej piątej i siódmej na poziomie odpowiednio 20% i 14% (THD_i ok. 28%), prąd wtórny 5 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm^2]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,49	0,99	2,46	4,93	9,85	14,78
1,5	0,33	0,66	1,64	3,28	6,57	9,85
2,5	0,20	0,39	0,99	1,97	3,94	5,91
4	0,12	0,25	0,62	1,23	2,46	3,69
6	0,08	0,16	0,41	0,82	1,64	2,46

Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu

Zaleca się w obwodach wtórnych przekładników stosowanie złączy kontrolnych, umożliwiających zwieranie tych obwodów. Pozwoli to na sprawniejsze i łatwiejsze prowadzenie prac konserwacyjnych i napraw. Dla układów filtrów aktywnych firmy Schaffner jest to wymóg producenta. Dodatkowo do strat mocy należy wliczyć obwody pomiarowe samych urządzeń kompensujących i filtrujących, czyli SVG i filtrów aktywnych. Dla układu przekładników prądowych o prądzie wtórnym równym 5 A należy przyjąć straty mocy na poziomie 1,5 VA. Straty te są właściwe dla modułów filtrów aktywnych wyposażonych w układ do pomiaru prądu, modułów sterujących i synchronizujących Sync oraz generatorów mocy biernej. Dla układu przekładników prądowych o prądzie wtórnym równym 1 A należy przyjąć straty mocy na poziomie 0,25 VA. Straty te są właściwe dla modułów filtrów aktywnych wyposażonych w układ do pomiaru prądu i modułów sterujących i synchronizujących Sync. Urządzenia SVG dedykowane są do układów pomiarowych na 5 A. Odpowiednie wartości strat mocy na żyłach przewodów obwodów wtórnych, dla przekładników o prądzie 1 A, przedstawiono w tablicach 5, 6 i 7.

Tablica 5. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu bez obecności wyższych harmonicznych, prąd wtórny 1 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm^2]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,017	0,034	0,086	0,172	0,345	0,517
1,5	0,011	0,023	0,057	0,115	0,230	0,345
2,5	0,007	0,014	0,034	0,069	0,138	0,207
4	0,004	0,009	0,022	0,043	0,086	0,129
6	0,003	0,006	0,014	0,029	0,057	0,086

Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu

Tablica 6. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu przy założeniu wartości współczynnika THD_i na poziomie 30%, prąd wtórny 1 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,019	0,038	0,094	0,188	0,376	0,564
1,5	0,013	0,025	0,063	0,125	0,251	0,376
2,5	0,008	0,015	0,038	0,075	0,150	0,226
4	0,005	0,009	0,023	0,047	0,094	0,141
6	0,003	0,006	0,016	0,031	0,063	0,094

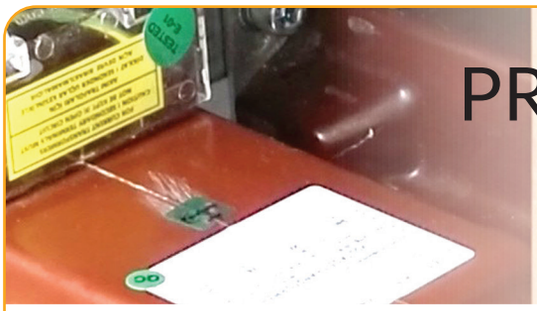
Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu

Tablica 7. Straty mocy w obwodzie wtórnym przekładników prądowych dla wybranych długości przewodu i przekroju żyły; pomiar prądu przy założeniu obecności harmonicznej piątej i siódmej na poziomie odpowiednio 20% i 14% (THD_i ok. 28%), prąd wtórny 1 A

Przekrój przewodu	Długość przewodu					
	1	2	5	10	20	30
[mm²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,020	0,039	0,098	0,197	0,394	0,590
1,5	0,013	0,026	0,066	0,131	0,262	0,394
2,5	0,008	0,016	0,039	0,079	0,157	0,236
4	0,005	0,010	0,025	0,049	0,098	0,148
6	0,003	0,007	0,016	0,033	0,066	0,098

Uwaga! Podczas obliczeń należy uwzględnić rzeczywistą, całkowitą długość żył, a nie samą długość przewodu





PRZEKŁADNIKI PRĄDOWE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

PRZEGLĄD PRODUKTÓW

Firma Esitas an ARTECHE Company ma ponad 30 lat doświadczenia w produkcji przekładników średniego napięcia oraz komponentów dla energetyki oraz partnerów biznesowych w ponad 60 krajach. Dołącz do grona zadowolonych klientów! Wysokiej jakości przekładniki średniego napięcia produkcji firmy Esitas / ARTECHE służą do pomiaru napięcia oraz prądu w sieciach elektrycznych powyżej 1 kV. Charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru oraz precyzją wykonania, dzięki czemu dają gwarancję niezawodnego działania. Przekładniki mogą być wykonane jako jedno- lub wielouzwojeniowe, do układów pomiarowych lub zabezpieczeniowych.

WNĘTRZOWE PRZEKŁADNIKI PRĄDOWE

Najwyższe napięcie znamionowe systemu [kV]	3,6-36
Prąd pierwotny [A]	5- 4 000
Prąd wtórny [A]	1-5
Częstotliwość [Hz]	50-60
Prąd I_{th}	1 000 I_n
Klasa	1; 0.5; 0.5s; 0.2; 0.2s
Temperatura pracy	od -25°C do 40°C

NAPOWIETRZNE PRZEKŁADNIKI PRĄDOWE

Najwyższe napięcie znamionowe systemu [kV]	3,6-36
Prąd pierwotny [A]	5-2 500
Prąd wtórny [A]	1-5
Częstotliwość [Hz]	50-60
Prąd I_{th}	1 000 I_n
Klasa	1; 0.5; 0.5s; 0.2; 0.2s
Temperatura pracy	od -25°C do 40°C

WNĘTRZOWE PRZEKŁADNIKI NAPIĘCIOWE

Najwyższe napięcie znamionowe systemu [kV]	3,6-36
Napięcie pierwotne [kV]	3 / √3-30 / √3
Napięcie wtórne [V]	100 / 3; 110 / 3; 120 / 3; 100/√3;110/√3;120/√3
Częstotliwość [Hz]	50-60
Klasa	5; 3; 0,5; 0,2
Temperatura pracy	od -25°C do 40°C

NAPOWIETRZNE PRZEKŁADNIKI NAPIĘCIOWE DWUBIEGUNOWE

Najwyższe napięcie znamionowe systemu [kV]	3,6-36
Napięcie pierwotne [kV]	1-35
Napięcie wtórne [V]	110; 120; 200; 220
Częstotliwość [Hz]	50-60
Moc maksymalna [VA]	800





PRZEKŁADNIKI PRĄDOWE NISKIEGO NAPIĘCIA

PRZEGLĄD PRODUKTÓW

PRZEKŁADNIKI UNIWERSALNE-SERIA ASK

- montaż na szynę płaską lub przewód,
- znamionowy prąd pierwotny od 30 A do 7 500 A,
- znamionowy prąd wtórny 5 A lub 1 A,
- klasa dokładności 3; 1; 0.5 (s) i 0.2 (s),
- do szyn prądowych płaskich o wymiarach od 20 mm x 10 mm do 130 mm x 30 mm lub do przewodów o średnicy od Ø19 mm do Ø100 mm. 28%), można wyznaczyć dokładniejsze wartości strat pochodzących od przebiegów odkształconych. Straty mocy wyznaczone zgodnie z powyższymi zależnościami przedstawiono w tablicy 4.
- Straty te są o ok. 14% wyższe niż gdyby nie uwzględniać odkształcenia prądu.

PRZEKŁADNIKI Z OTWIERANYM RDZENIEM -SERIA PRO

- znamionowy prąd pierwotny od 100 A do 300 A (typ PRO24), od 250 A do 600 A (typ PRO36),
- znamionowy prąd wtórny 5 A,
- klasa dokładności 0.5,
- moc 1,5 VA (typ PRO24),2 VA (typ PRO36),
- otwór 24 mm (typ PRO24), 36 mm (typ PRO36),
- w zestawie przewód 1 m.

PRZEKŁADNIKI DO ROZLICZEŃ Z ENERGETYKĄ-SERIA S

- montaż na szynę i przewód,
- znamionowy prąd pierwotny od 50 A do 3 000 A,
- znamionowy prąd wtórny 1 A lub 5 A,
- na szynę, przewód, z zatopioną szyną,
- małe gabaryty.

CERTYFIKATY I ZATWIERDZENIA

- Certyfikat ISO 9001:2015,
- Zatwierdzenie PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt),
- Zatwierdzenie IPH (Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik“),
- Certyfikat GL (Germanischer Lloyd),
- Certyfikat GOST,
- Certyfikat UL.



PRZEKŁADNIKI

DO ROZLICZEŃ Z ENERGETYKĄ-SERIA S

Norma	PN-EN 61869-1:2009, przekładniki -- część 1: wymagania ogólne PN-EN 61869-2:2013-06, przekładniki -- część 2: wymagania szczegółowe dotyczące przekładników prądowych
Napięcie pracy (U_n)	720 V
Temperatura pracy	od -25°C do75°C
Ciągły prąd termiczny	1,2 x I_n
Znamionowy krótkotrwały prąd cieplny (I_{th})	60 x I_n / 1 s 100 x I_n / 1 s
Znamionowy prąd dynamiczny (I_{dyn})	2,5 x I_{th} / 1 s
Obudowa	Niepalna, samogasnąca, wzmocniona włóknem szklanym
Współczynnik bezpieczeństwa (FS)	5, 10
Zaciski wtórne	Mosiądz niklowany, śruby M5
Zalecany moment dokręcania	2 Nm (dla zacisków wtórnych)
Klasa dokładności	0,2; 0,2s; 0,5; 0,5s
Moc (VA)	2,5; 5; 10

Typ analizatora jakości energii	PQ-BOX 50			PQ-BOX 150				PQ-BOX 200		PQ-BOX 300
Opcje analizatora	Basic B0	Light B1	Expert B2	Basic B3	Basic + B2	Light B0	Expert B1	T0	T1	HF
Pamięć [GB]		1			4 do 32			4 do 32		8 do 32
Częstotliwość próbkowania (napięcie)		20,48 kHz			20,46 kHz			40,96 kHz		409,6 kHz
Częstotliwość próbkowania (prąd)		20,48 kHz			20,46 kHz			40,96 kHz		40,96 kHz
Rejestrator stanów nieustalonych 200 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz	-	-	-	-	-	-	-	-	4 MHz	-
Wejścia napięciowe		4			4 (24 bit)			5 (24 bit)		5 (24 bit)
Wejścia prądowe		4			4 (24 bit)			5 (24 bit)		5 (24 bit)
Czas podtrzymania zasilania z akumulatora		2 h			4 h			4 h	3,5 h	3,5 h
Stopień ochrony		IP65			IP65			IP65		IP65
Wejście analogowe (1 000 mV)	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Wejście binarne	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Automatyczna ocena jakości zasilania zgodnie z: PN-EN50160/IEC 61000-2-2/IEC 61000-2-4 (KLASA1;2;3)/NRS048/IEEE 519/VDE N-4105 oraz Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r.	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x
Możliwość ustawienia dowolnego interwału pomiaru: 200 ms, 3s i w zakresie od 1 s do 30 min (>3 500 parametrów mierzonych równoczenie)	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
Napięcie: wartość skuteczna, minimalna (10 ms) i maksymalna (10 ms)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Prąd: wartość skuteczna, minimalna (10 ms) i maksymalna (10 ms)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Moc: P, Q, S, PF, cosØ (DPF), sinØ, tg(Ø)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Moc dystorsji, moc czynna 50Hz, moc bierna modulacji, moc bierna asymetrii.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Energia w układzie czterokwadratowym P, Q, P+, P-, Q+, Q-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fliker (Pst, Plt, Ps5)	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x
Asymetria prądów i napięć, składowa zerowa, zgodna i przeciwna	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
Harmoniczne napięcia zgodnie z IEC 61000-4-30 Klasy A Ed 3. do 50	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x
Wartości maksymalne harmonicznych napięciowych od 2 do 50 (200 ms RMS)	-	-	x	-	-	x	x	x	x	x
Kąty fazowe harmonicznych napięcia do 40	-	-	x	-	-	-	x	x	x	x
Harmoniczne w napięciu w zakresie częstotliwości 2 kHz do 9 kHz w pasmach 200 Hz	-	-	x	-	-	-	x	x	x	x
Wyższe harmoniczne w napięciu w zakresie 2 kHz-170 kHz (200 Hz / 2 kHz pasmo częstotliwości)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Harmoniczne w prądzie od 2 do 50	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x
Wartości maksymalne harmonicznych w prądzie od 2 do 50 (200 ms RMS)	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
Harmoniczne w prądzie w zakresie częstotliwości od 2 kHz do 9 kHz w pasmach 200 Hz	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Kąty fazowe harmonicznych w prądzie do 40	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x
Moc czynna, bierna i pozorna harmonicznych	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x
THD U i I; PWHD U i I; PHC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pomiar sygnałów PLC do 150 kHz. Analiza sygnałów transmisji danych z licznikami AMI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Sygnały sterujące RSC 100 Hz do 3 kHz (200 ms RMS max)	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x
Szybka Transformata Fouriera napięć i prądów do:	-	-	-	-	-	10 kHz		20 kHz		170 kHz
Częstotliwość: wartość średnia (10 s), minimalna i maksymalna	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Interwały uśredniania 10/15/30 minut dla pomiaru wartości P, Q, S, D, cosØ, sinØ, tgØ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Podgląd on-line										
Częstotliwość próbkowania rejestratora oscyloskopowego	-	-	-		20,46 kHz			40,96 kHz		409,6 kHz
Prostopadłościan mocy czynnej, biernej i dystorsji	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
Harmoniczne w napięciu i prądzie	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Grupowanie interharmonicznych (U, I)	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Harmoniczne w napięciu i prądzie dla zakresu częstotliwości 2 kHz do 9 kHz w pasmach 200 Hz	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x
Kierunek przepływu harmonicznych oraz kąt fazowy harmonicznych prądowych	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x

Funkcje wyzwalania (Rec A / Rec B)										
Wyzwalanie ręczne	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Wyzwalanie po przekroczeniu określonej wartości RMS (U, I)	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x
Wyzwalanie zmianą wartości RMS (U, I)	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x
Wyzwalanie zmianą kąta fazowego	-	-	x	-	-	x	x	x	x	x
Wyzwalanie obwiednią	-	-	x	-	-	x	x	x	x	x
Wyzwalanie czasowe	-	-	x	-	-	x	x	x	x	x
Wyzwalanie automatyczne	-	-	x	-	-	-	-	x	x	x
Wyzwalanie szybkością zmian częstotliwości df/dt	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Wyzwalanie wejściem binarnym (0- 250 V AC/DC; 10 V próg)	-	-		-	-	-		x	x	x
Opcja R1 Rejestrator napięć i prądów sygnałów sterujących RSC 100 Hz do 3 kHz	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
Opcja S1 WLAN/WiFi	-	-	-	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1





OPROGRAMOWANIE WINPQ MOBIL DLA WSZYSTKICH TYPÓW PQ-BOX

- zaawansowane i intuicyjne oprogramowanie WinPQ Mobil jest narzędziem umożliwiającym analizę danych, wizualizację zmierzonych parametrów oraz generowanie raportów,
- użytkownik może sporządzić raport zgodny z normą PN-EN50160 z dnia 4 maja 2007 r; określone interwały czasowe pozwalają na ocenę parametrów napięcia zasilającego w sposób zgodny z normami dotyczącymi sieci publicznych PN-EN50160 i IEC61000-2-2, jak i przemysłowych IEC61000-2-4,
- program nie posiada licencji i można go instalować na dowolnej ilości komputerów.

PRZENOŚNE ANALIZATORY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ PQ-BOX 50, PQ-BOX 150, PQ-BOX 200, PQ-BOX 300

- certyfikat klasy A zgodny z normą IEC61000-4-30,
- niska cena,
- konfiguracja parametrów za pomocą darmowej aplikacji w języku polskim dostępnej na iOS i Android,
- kompatybilny z mobilnym oprogramowaniem WinPQ,
- pomiar ponad 3 tys. parametrów sieci,
- interfejs WLAN, wi-fi, USB,
- niewielkie gabaryty.



DOBÓR PRZEKROJU PRZEWODU I ZABEZPIECZENIA PRZETĘŻENIOWEGO DO ZASILANIA WYBRANYCH URZĄDZEŃ

Przewody i kable zasilające filtry aktywne jak i SVG muszą spełniać wymagania w zakresie obciążalności prądowej, zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 60-364-5-52.

Dla wskazanych urządzeń elektrycznych należy zwrócić szczególną uwagę na dodatkowe obostrzenia wpływające na dobór przewodów. Obostrzenia związane są z następującymi czynnikami:

- temperaturą panująca długotrwale w pomieszczeniu, w którym zostały one zainstalowane,
- obciążeniem czterech żył prądowych,
- generacją wyższych harmonicznych, w szczególności trzeciej harmonicznej prądu.

Należy również zauważyć, że zarówno kompensatory, w postaci filtrów aktywnych i SVG, jak i filtry pasywne, mogą pracować przy obciążaniu znamionowym. Oznacza to, że nie można uwzględniać współczynników wykorzystania czy niejednoczesności przy doborze przekrojów przewodów zasilających te urządzenia.

Ze względu na typowe temperatury panujące w pomieszczeniach ruchu elektrycznego, w których montowane mogą być kompensatory, nie zaleca się stosowania współczynników korygujących w celu zwiększenia obciążalności prądowej przewodów. Należy uwzględnić rzeczywiste, średnioroczne wartości temperatur w pomieszczeniu i ewentualną wentylację lub klimatyzację pomieszczenia. Typowa temperatura pracy kompensatorów i filtrów pasywnych nie przekracza wartości 50°C. Przy tak wysokich temperaturach otoczenia należy uwzględnić ograniczenie mocy tych urządzeń, aby nie przekroczyć wartości krytycznych mogących prowadzić do automatycznego wyłączenia urządzenia, w przypadku kompensatorów lub jego przegrzania, w przypadku filtrów pasywnych. Z tego względu, przy doborze przekroju przewodów zasilających należy skorzystać z współczynników korygujących (tab. 8).

Tablica 8. Przeliczniki obciążalności długotrwałej przewodów przy temperaturze otoczenia wyższej niż 30°C

Temperatura otoczenia	Dozwolona lub zalecana temperatura pracy przy przewodzie				
[°C]	60°C	70°C	80°C	85°C	90°C
30°C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40°C	0,82	0,87	0,89	0,9	0,91
50°C	0,58	0,71	0,77	-	0,82
60°C	-	0,5	0,63	-	0,71
70°C	-	-	0,45	-	0,58
80°C	-	-	-	-	0,41

Przy pracy urządzenia w układzie czteroprzewodowym i/lub z generacją wyższych harmonicznych prądu, w szczególności trzeciej harmonicznej prądu, należy uwzględnić dodatkowo obciążenie żyły neutralnej w układzie zasilania. Zgodnie z wzorami poniżej przy obciążeniu czterech żył przewodu wielożyłowego należy uwzględnić współczynnik korekcyjny kf o wartości 0,91. Tym samym obniżamy dopuszczalną obciążalność prądową z tytułu dodatkowego nagrzewania czwartej żyły.

$$I_{zN} \geqslant \frac{I_{z1}}{\sqrt[3]{N}}$$

$$\left.\begin{aligned} I_{z1} &= I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3} \\ I_{z1} &= I_{z4} \cdot \sqrt[3]{4} \end{aligned}\right\} \Rightarrow I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3} = I_{z4} \cdot \sqrt[3]{4}$$

$$I_{z4} = \frac{I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3}}{\sqrt[3]{4}} = I_{z3} \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{4}} = I_{z3} \cdot 0{,}91$$

gdzie:

- I_{zN} - obciążalność długotrwała przewodu składającego się z N żył roboczych,
- I_{z1} - obciążalność długotrwała przewodu jednożyłowego,
- N - liczba przewodów roboczych żył,
- I_{z3} - obciążalność długotrwała przewodu składającego się z 3 żył roboczych,
- I_{z4} - obciążalność długotrwała przewodu składającego się z 4 żył roboczych.

Dobór przekroju przewodu oraz rodzaju zabezpieczenia stanowi jeden krok projektowy. Należy zapewnić równoczesne spełnienie poniższych warunków:

$$\begin{cases} I_B \leqslant I_n \leqslant I_Z \\ I_Z \geqslant \dfrac{k_2 \cdot I_n}{1{,}45} \end{cases}$$

gdzie:

- I_B - wartość prądu obciążenia,
- I_n - wartość znamionowa prądu zabezpieczenia,
- I_Z - dopuszczalna długotrwała obciążalność prądowa przewodów,
- k_2 - współczynnik zależny od rodzaju zabezpieczenia.

Wartość prądu I_B uzależniona jest od mocy zainstalowanego urządzenia. Prąd znamionowy zabezpieczenia In dobrany został jako pierwszy stopień w typoszeregu większy od prądu I_B. Dopuszczalna długotrwała obciążalność prądowa przewodów zasilających I_Z dobrana jest na podstawie danych z normy lub katalogu producenta (tab. 11). W tym miejscu należy uwzględnić współczynniki korygujące związane z obciążeniem czterech żył przewodu, jak i wyższą temperaturą otoczenia, jeżeli dotyczy. Współczynnik k_2 przyjmuje się jako 1,6 dla zabezpieczeń w postaci bezpieczników topikowych. Nie zaleca się stosowania wyłączników jako aparatów zabezpieczających, ze względu na ich mniejszą odporność na prądy rozruchowe i dodatkowe nagrzewanie.

Dobór przekroju przewodu dla izolacji PVC i wybranych mocy urządzeń kompensacyjnych przedstawiono w tablicy 9. Wartość prądu obciążenia I_B wyznaczono jak dla urządzeń trójfazowych. Korzystając z wzoru 14 i wcześniej opisanych zależności wyznaczona została wartość minimalnego przekroju przewodu przeznaczonego do zasilania kompensatora. Wyznaczono również maksymalne wykorzystanie przewodu zasilającego (ostatnia kolumna w tablicy). Analogiczne obliczenia wykonano dla przewodów wielożyłowych w izolacji XLPE (tablica 10.). Zestawienie prądów znamionowych zabezpieczeń i minimalnych przekrojów przewodów dobranych dla przewodów w izolacji PVC przedstawiono w tablicy 12.

Tablica 9. Tablica doboru przekroju przewodów dla izolacji PVC

Q	I_B	I_n	$k_2 \cdot I_n/1{,}45$	$I_n(k_f)$	$I_z$katalog	Przekrój	Wykorzystanie przewodu
[kVAr]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[mm^2]	[%]
10	14,4	16	17,7	19,4	25	2,5	77,61
15	21,7	25	27,6	30,3	34	4	89,16
20	28,9	32	35,3	38,8	43	6	90,24
25	36,1	40	44,1	48,5	60	10	80,84
30	43,3	50	55,2	60,6	80	16	75,79
50	72,2	80	88,3	97,0	101	25	96,05
75	108,3	120	132,4	145,5	153	50	95,10
100	144,3	160	176,6	194,0	238	95	81,52

Tablica 10. Tablica doboru przekroju przewodów dla izolacji XLPE

Q	I_B	I_n	$k_2 \cdot I_n/1{,}45$	$I_n(k_f)$	I_z katalog	Przekrój	Wykorzystanie przewodu
[kVAr]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[mm^2]	[%]
10	14,4	16	17,66	19,4	32	2,5	60,63
15	21,7	25	27,59	30,31	32	2,5	94,73
20	28,9	32	35,31	38,8	42	4	92,39
25	36,1	40	44,14	48,5	54	6	89,82
30	43,3	50	55,17	60,63	75	10	80,84
50	72,2	80	88,28	97,01	100	16	97,01
75	108,3	120	132,41	145,51	158	35	92,09
100	144,3	160	176,55	194,01	246	70	78,87

Tablica 11. Dopuszczalna obciążalność prądowa kabli i przewodów wielożyłowych, ułożonych w powietrzu, sposób ułożenia E

Przekrój żyły miedzianej	Izolacja PVC		Izolacja XLPE	
	2 żyły	3 żyły	2 żyły	3 żyły
[mm^2]	[A]	[A]	[A]	[A]
2,5	30	25	36	32
4	40	34	49	42
6	51	43	63	54
10	70	60	86	75
16	94	80	115	100
25	119	101	149	127
35	148	126	185	158
50	180	153	225	192
70	232	196	289	246
95	282	238	352	298
120	328	276	410	346
150	379	319	473	399

Tablica 12. Zalecane zabezpieczenia i przewody zasilające obwodu głównego (400 V AC)

Moc znamionowa urządzenia	Prąd znamionowy urządzenia	Rodzaj zabezpieczenia	Prąd znamionowy zabezpieczenia	Przekrój przewodu
[kVAr]	[A]		[A]	[mm^2]
10	14,4	NH gG	16	2,5
15	21,7	NH gG	25	4
20	28,9	NH gG	32	6
25	36,1	NH gG	40	10
30	43,3	NH gG	50	16
50	72,2	NH gG	80	25
75	108,3	NH gG	120	50
100	144,3	NH gG	160	95

Wyznaczanie dopuszczalnego spadku napięcia w obwodzie zasilającym układ do kompensacji mocy biernej musi uwzględniać fakt, że praktycznie cała moc generowana podczas kompensacji jest mocą bierną. Przy praktycznie znikomym zapotrzebowaniu na moc czynną, przeważnie nie przekraczającym 3% wartości znamionowej urządzenia, współczynnik mocy cosφ będzie miał znikomą wartość, mniejszą niż 0,1. Wyznaczanie spadku napięcia w obwodzie trójfazowym, zgodnie ze wzorem:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U} \cdot I_B \left(R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi \right)$$



Oznacza, że przy znikomej wartości reaktancji przewodów stosowanych w instalacjach elektrycznych spodziewany spadek napięcia będzie miał bardzo małą wartość.
Powyższe rozważania są słuszne w przypadku, gdy zadaniem układu kompensującego będzie wyłącznie kompensacja mocy biernej. Jeżeli pojawi się konieczność ograniczania wyższych harmonicznych prądu, należy uwzględnić dodatkowe straty mocy wynikające z tego tytułu. Straty te będą generowane w każdym elemencie toru prądowego i w szczególności należy uwzględnić zabezpieczenia topikowe. Aby zapewnić prawidłowe działanie tych zabezpieczeń należy tak dobrać ich prąd znamionowy, aby pomimo dodatkowego nagrzewania z tytułu występowania prądów odkształconych, ich charakterystyka czasowo-prądowa zapewniała właściwą ochroną przetężeniową.
Przykładowo: dla wkładki topikowej typu NH00, o prądzie znamionowym 80 A, jej znamionowe straty mocy wynoszą 6,2 W. Przyjmując typowy rozkład wyższych harmonicznych prądu, gdzie dominują harmoniczne rzędu piątego i siódmego, można wyznaczyć dodatkowe straty mocy czynnej wydzielające się w zabezpieczeniu. Przy założeniu pełnego obciążenia urządzenia o mocy 50 kVAr, układ jest w stanie wygenerować przepływ prądu o wartości skutecznej ok. 72 A, z udziałem harmonicznych na poziomach: I5 = 60 A, I7 = 40 A. Przy takich wartościach straty mocy wkładki topikowej osiągną wartość $\Delta P \approx 11{,}9$ W, czyli ok. 2,3 raza większej. Należy zastosować wkładkę topikową o prądzie znamionowym 125 A, dla której straty mocy wynoszą 9,7 W, a przy przepływie rozpatrywanego prądu mogą osiągnąć wartość ok. 7,6 W. Zastosowanie zabezpieczenia o większym prądzie będzie pociągało za sobą dobór odpowiednio większego przekroju przewodu. W takim układzie wartość nowego zabezpieczenia powinna być ok. 1,6 razy większa niż pierwotnie było planowane ($125/80 \approx 1{,}56$). Analogiczne rozważania są słuszne również podczas przeprowadzania procedury doboru przewodów i zabezpieczeń w obwodach z filtrami pasywnymi. Należy tutaj zwrócić uwagę, że prąd wejściowy filtra pasywnego jest mniejszy niż prąd wyjściowy. Przykładowe wartości przedstawiono w tablicy 13.

Ze względu na redukcję prądu wyższych harmonicznych prądu z sieci następuje obniżenie wartości skutecznej prądu na wejściu filtra pasywnego. Z tytułu udziału wyższych harmonicznych prądu pobieranych przez silnik (falownik), a w szczególności piątej i siódmej harmonicznej, prąd ten po stronie wyjściowej filtra osiąga większe wartości. Filtry pasywne najczęściej pracują w układach zasilających silniki, a więc obwody trójfazowe symetryczne. W części pomiędzy filtrem a falownikiem przeważnie brak jest dodatkowych zabezpieczeń przetężeniowych. Upraszcza to dobór, który sprowadza się tylko do właściwego określenia przekroju przewodów. Przekrój ten powinien być dostosowany do szczytowego zapotrzebowania na prąd samego falownika, uwzględniając jednocześnie udział wyższych harmonicznych. Przeważnie brak jest szczegółowych informacji dotyczących udziału wyższych harmonicznych prądów i ich spektrum częstotliwościowego dla tych urządzeń. Można przyjąć, że poziom THD_i w takich układach, przy obciążeniu znamionowym silnika, osiąga poziom 30-35%.

Tablica 13. Przykładowe wartości pobieranego prądu dla wybranych modeli filtrów pasywnych

Model filtra pasywnego	Moc znamionowa	Prąd wejściowy filtra	Prąd wyjściowy (silnika)
	[kW]	[A]	[A]
FN 3440	15,0	22,2	32
FN 3440	55,0	81,6	11
FN 3440	160,0	240	320
FN 3470	250,0	376	435
FN 3470	500,0	766	985



STACJONARNE ANALIZATORY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Szczegółowe wymagania w zakresie Jakości Energii Elektrycznej dla systemu elektroenergetycznego zawarte zostały w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dziennik Ustaw Nr 93, Poz. 623) oraz w normie przedmiotowej PN-EN 50160:2010 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych. Dodatkowe wymagania, przykładowo dotyczące pracy farm wiatrowych, zawierane są w dokumentach operatorów systemów dystrybucyjnych. Wymagane w Rozporządzeniu parametry jakościowe obejmują następujące wartości:

- średniej częstotliwości,
- skutecznej napięcia,
- wskaźnika długotrwałego migotania światła PLT,
- składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia,
- całkowitego współczynnika odkształcenia krzywej napięcia THDu oraz poszczególnych harmonicznych do 40 rzędu.

Dokumenty operatorów mogą zawierać dodatkowe wymagania, przykładowo dla farm wiatrowych przyjmuje się, że nie powinny on powodować w miejscu przyłączenia emisji pojedynczych harmonicznych napięcia rzędu od 2 do 50 większych niż 0,7 % dla sieci 110 kV oraz 1,5 dla sieci SN. Współczynnik dystorsji harmonicznych THD w miejscu przyłączenia do sieci powinien być mniejszy od 2 % dla sieci 110 kV oraz 4 % dla sieci SN.

Tablica 14. Dopuszczalne wartości poszczególnych rzędów harmonicznych napięcia dla grupy I i II odbiorców

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
Niebędące krotnością 3		Będące krotnością 3			
Rząd harmonicznej (h)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	Rząd harmonicznej (h)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	Rząd harmonicznej (h)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)
5	2 %	3	2 %	2	1,5 %
7	2 %	9	1 %	4	1 %
11	1,5 %	15	0,5 %	>4	0,5 %
13	1,5 %	>15	0,5 %		
17	1 %				
19	1 %				
23	0,7 %				
25	0,7 %				
>25	$0{,}2+0{,}5 \cdot \frac{25}{h}$				

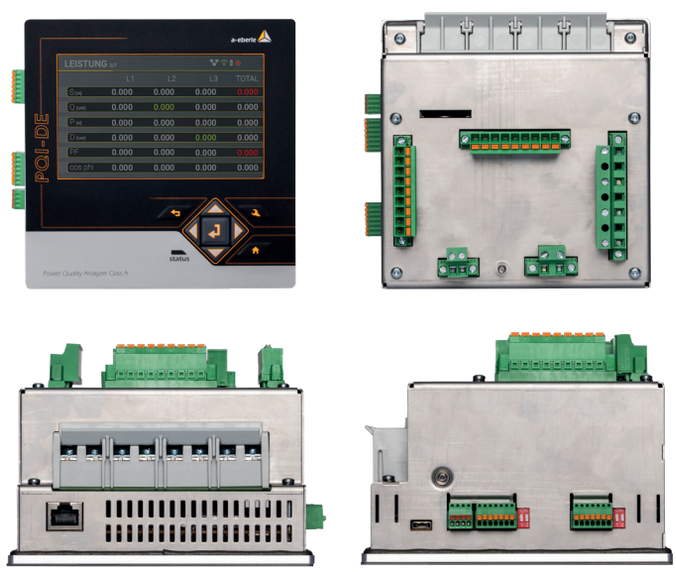
Aby móc spełnić wymagania konieczne jest prowadzenie pomiaru parametrów energii elektrycznej w sposób ciągły i na najwyższym poziomie dokładności. Rozwiązaniem takim jest zastosowanie stacjonarnych analizatora jakości energii elektrycznej typu PQI-DA Smart lub PQI-DE firmy A-Eberle. Analizatory spełniają wymagania klasy A według normy IEC 61000-4-30. Są również w pełni certyfikowanymi urządzeniami PQI-A-FI-H na podstawie normy IEC 62586. Urządzenie to wyposażone jest w cztery wejścia napięciowe i cztery lub pięć wejść prądowych. Pomiar prądu możliwy jest poprzez wykorzystanie tradycyjnych przekładników prądowych jak również dzięki wykorzystaniu cęgów pomiarowych lub Cewek Rogowskiego. Wysokiej klasy przetworniki analogowo-cyforwe pozwalają na uzyskanie szerokiego pasma przenoszenia, nawet do 20 kHz, przy błędzie pomiarowym nie większym niż 0,2% przy napięciu na poziomie nawet 150% znamionowego.

Niezwykle ważnym zagadnieniem jest współpraca analizatora z zewnętrznym systemem pozwalającym gromadzić dane pomiarowe. Urządzenia tego typu wyposażone są w złącza komunikacyjne RS232/RS485, których typ jest dowolnie konfigurowalny, oraz złącze Ethernetowe. Pozwala to na zapewnienie komunikacji po protokole Modbus RTU/TCP i włączeniu analizatora do dowolnego systemu akwizycji i analizy danych. Oprócz wspomnianego Modbus konieczna może być współpraca z protokołami IEC 60870-5-104 lub IEC 61850. Zapewnienie zdalnego dostępu jest niezbędne w sytuacji, kiedy analizator współpracuje z farmami wiatrowymi lub fotowoltaicznymi, które najczęściej zbudowane są w miejscach trudno dostępnych, gdzie osobisty nadzór jest utrudniony.



Rysunek 11. Stacjonarne analizatory energii elektrycznej: PQI-DA Smart i PQI-DE

Rejestrator musi pozwalać na ciągły zapis w wybranych interwałach czasowych, w tym n-sekundowym i n-minutowym, takich parametrów jak współczynniki THD dla prądu i napięcia, wartości asymetrii napięcia, współczynnika K, mocy czynnej, biernej składowej podstawowej pozornej dystorsji oraz energii. Pozwala na rejestrację wartości współczynników mocy cos φ oraz rzeczywistego współczynnika PF a także współczynników krótkookresowego i długookresowego migotania światła według normy IEC 61000-4-15. Oprócz zapisu parametrów w sposób ciągły urządzenie spełnia funkcję rejestratora zakłóceń, pozwalając na zapis wartości chwilowych napięć, prądów i częstotliwości. Rejestrator pozwala na zapis wartości oscyloskopowych, których rejestracja wykonywana jest przy częstotliwości 10,24 kHz lub 40,96 kHz, z czasem nawet do 16 s, i wartości T/2 z czasem zapisu nawet do 6 min.



Rysunek 12. Stacjonarny analizatory energii elektrycznej PQI-DE; widok ogólny oraz złącz pomiarowych i komunikacyjnych

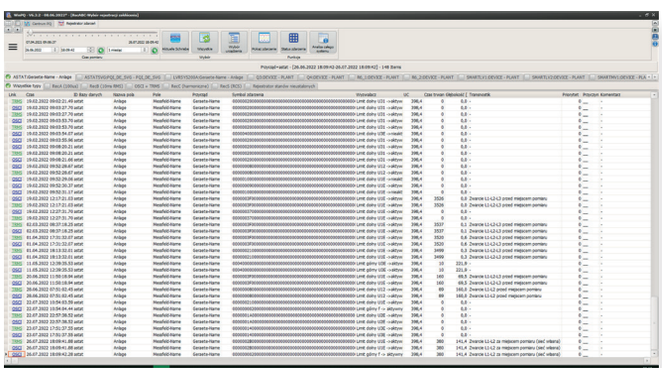
Oprogramowanie WinPQ typu klient-serwer współpracujące z bazą danych jest rozwiązaniem systemowym, które automatycznie monitoruje usterki, zdarzenia i jakość sieci równolegle za pomocą kilku urządzeń pomiarowych. Dla różnych wymagań i poziomów napięcia dostępne są różne wersje urządzeń. Oprogramowanie ewaluacyjne obsługuje wszystkie zainstalowane rejestratory zakłóceń A. Eberle. Do komunikacji z urządzeniami można wykorzystać TCP/IP, światłowody, RS-232, modemy 3G, 4G i analogowe. Ponadto wszystkie dane zmierzone przez mobilne analizatory sieci mogą być importowane do bazy danych i skorelowane z danymi z zainstalowanych urządzeń. Baza danych jest zazwyczaj instalowana na serwerze, aby zagwarantować jej ciągłe działanie. Baza danych obsługuje dowolną liczbę współbieżnych klientów WinPQ.

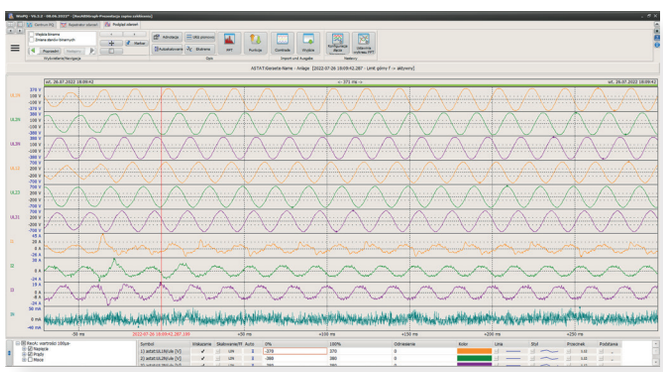
Program do analizy baz danych WinPQ umożliwia w prosty sposób tworzyć abstrakcyjne widoki wielu pomiarów, które nie mają korelacji czasowej: od wykresów czasowych danych pomiarowych do bardzo dokładnych logów błędów.
Do najważniejszych cech systemu należą:

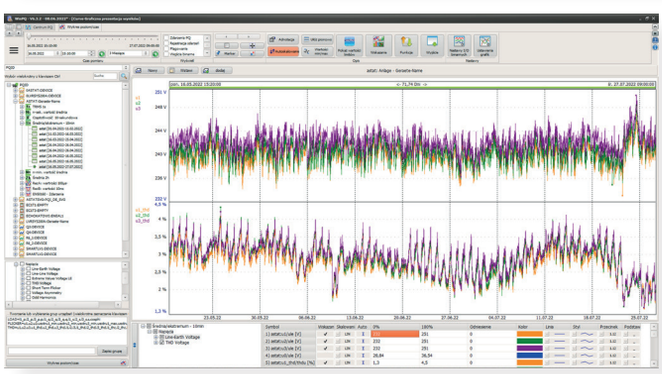
- wszystkie urządzenia są odczytywane równolegle - zapewnia to szybki czas reakcji systemu,
- automatyczne raportowanie dziennika błędów oraz automatyczne tworzenie raportów jakości zasilania, również dla dyspozytorni,
- przyjazne dla użytkownika oprogramowanie, które umożliwia łatwe monitorowanie wielu urządzeń i dużej ilości danych.

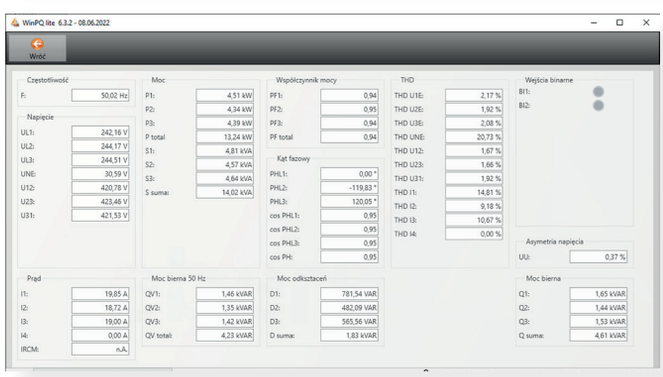
WinPQ może współpracować z Oracle PostgreSQL oraz z darmową bazą danych.

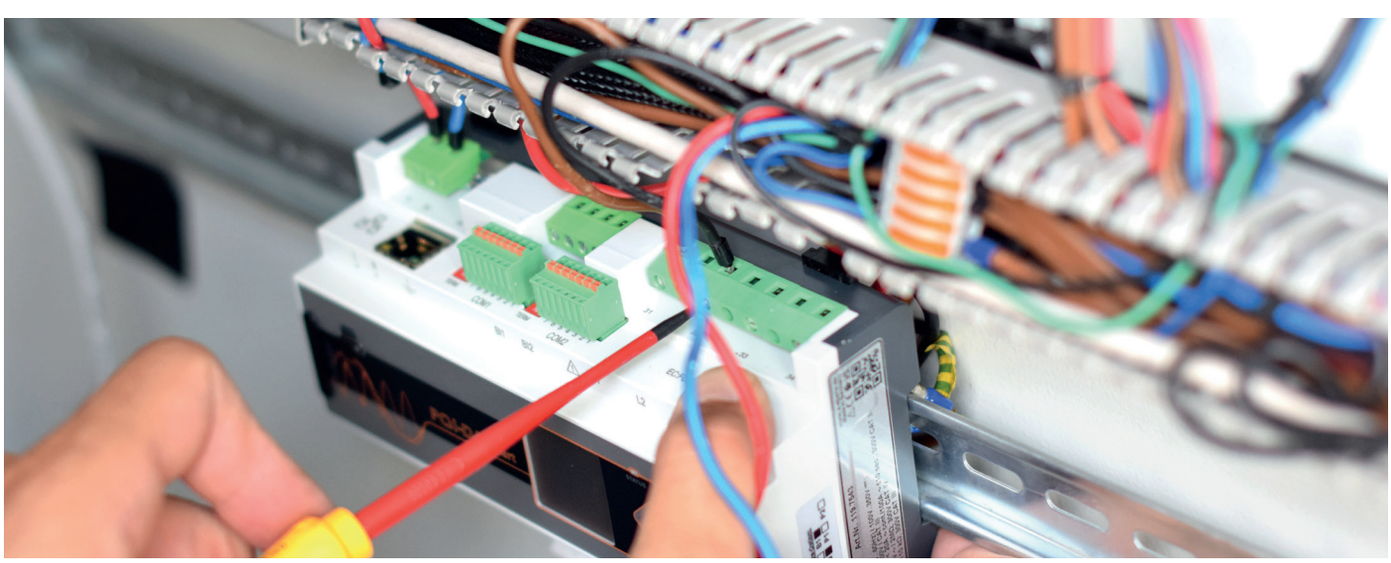
Urządzenia posiadają kilka rejestratorów zakłóceń o różnej częstotliwości próbkowania o różnym stopniu szczegółowości i długości zapisu. Istnieje rozbudowane menu kryteriów wyzwalania rejestratorów. Czas trwania i czas przed zdarzeniem są definiowane przez użytkownika. Urządzenia mają możliwość regulacji długości zapisu niezależnie od czasu trwania awarii w sieci. System WinPQ może wyświetlać na wykresie kilka logów błędów z różnych zainstalowanych i mobilnych analizatorów sieci. Komunikaty, zdarzenia PQ i sygnały binarne mogą być również wyświetlane i wykorzystywane w innych obliczeniach i korelacjach z danymi pomiarowymi.
WinPQ oferuje niezwykle szeroki zakres raportów i statystyk dotyczących jakości zasilania. Dostępne są szczegółowe raporty dla każdego punktu pomiarowego oraz raporty przeglądowe dla grupy urządzeń lub poziomu napięcia lub obszaru sieci.





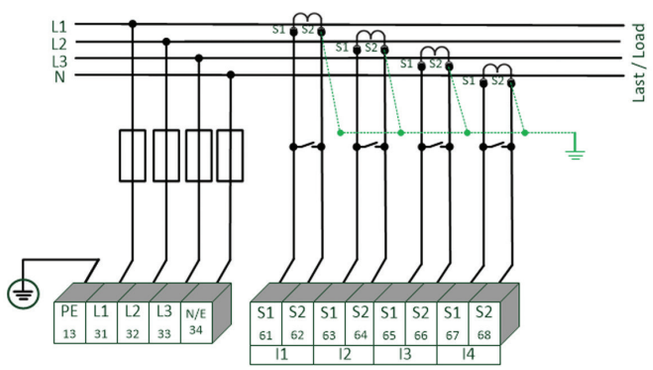






Sposoby podłączenia analizatorów PQI-DA Smart i PQI-DE

Podłączenie wejść pomiarowych analizatora PQI-DA Smart i PQI-DE zależy od rodzaju sieci, w której ma być dokonany pomiar. Analizator jest przeznaczony do bezpośredniego pomiaru w sieciach niskiego napięcia (podłączenie 3-fazowe / 4-przewodowe) w układach sieci TN, TT i IT. Szczególną formą pomiaru niskiego napięcia jest pomiar w połączeniu 4-przewodowym / 1-fazowym, za pomocą którego można mierzyć trzy niezależne obwody napięciowe i prądowe. Dla średniego i wysokiego napięcia urządzenie może być podłączone poprzez odpowiednie przekładniki prądowe i napięciowe. Możliwe jest połączenie z trzema przekładnikami napięciowymi i prądowymi, jak również połączenie poprzez obwody w układzie V lub Arona.



Rysunek 13. Podłączenie w układzie trójfazowym, czteroprzewodowym

Pomiar napięcia:

- połączenia napięciowe muszą być wykonane tak, jak pokazano na schemacie powyżej,
- jeśli nie jest dostępne połączenie z przewodem N, należy połączyć razem E i N,
- upewnij się, że tryb przełączania (4-przewodowy) jest ustawiony.

Pomiar prądu:

- w zależności od cech, PQI-DA Smart jest przeznaczony do obwodów pomiarowych (C30) lub zabezpieczeniowych (C31).

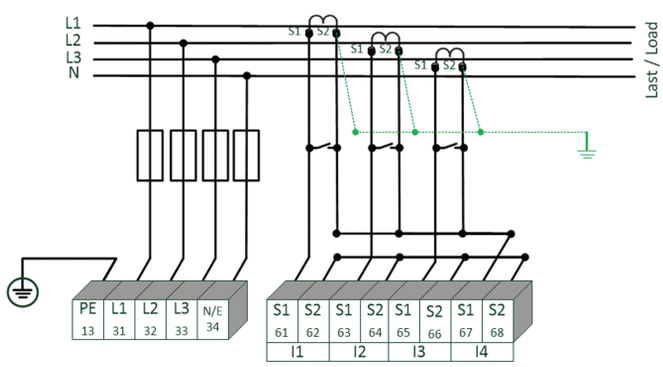
Można ustawić pola wyboru przekładników napięciowych i przekładników prądowych. Napięcie uziemienia w każdym lub prąd, który nie został podłączony, jest obliczany przez analizator. Analizatory PQI-DA Smart i PQI-DE dostępne są z następującymi funkcjami do pomiaru prądu za pomocą zewnętrznych urządzeń, takich jak cewki Rogowskiego, cęgów prądowych DC oraz cęgów prądowych AC.

- 4 wejścia dla cewek Rogowskiego-wersja C40,
- 4 wejścia niskiego poziomu AC dla mini cęgów prądowych (0.5 V AC)-wersja C44,
- 4 wejścia niskiego poziomu DC dla mini cęgów prądowych (5.6 V DC)-wersja C45.

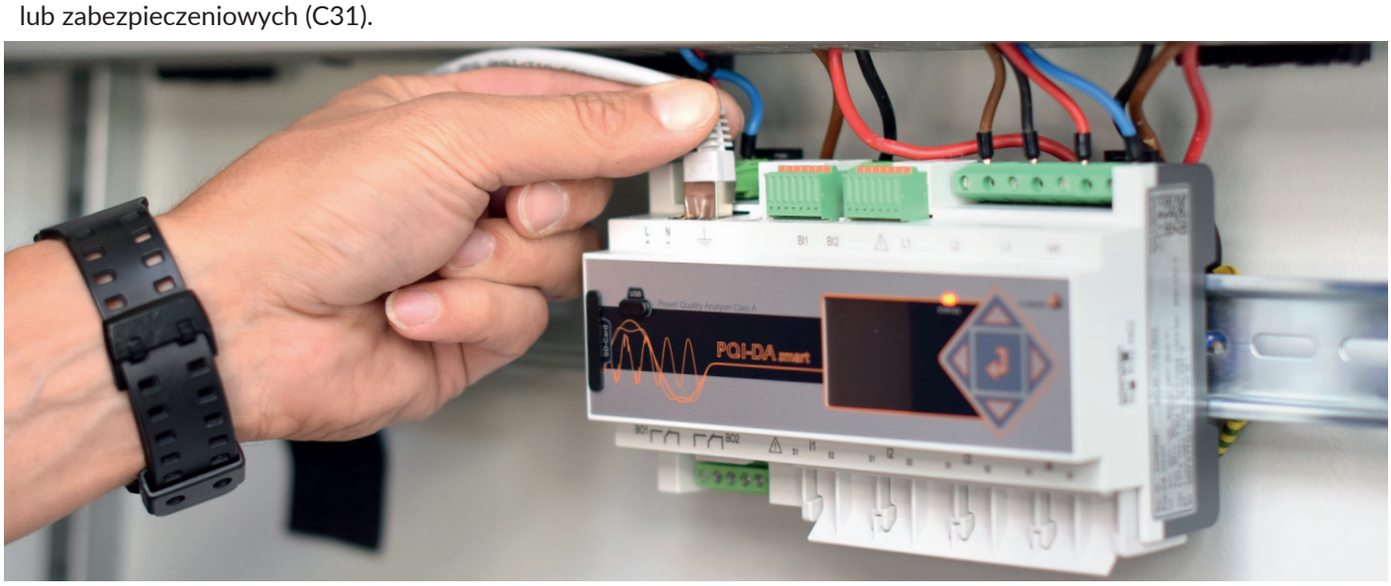
Zalety pomiaru za pomocą wejść niskopoziomowych to:

- prosty montaż w rozdzielnicy-również przy modernizacji,
- wysoka rozdzielczość dla pomiarów zgodnie z VDE-AR 4105 / 4110 / 4120 w zakresie 2-9 kHz,
- brak konieczności rozdzielania obwodów przekładnika prądowego.

Należy bezwzględnie zapewnić dopasowanie danych technicznych stosowanego urządzenia pomiarowego do charakterystyki impedancji wejść pomiarowych w analizatorze.



Rysunek 14. Podłączenie w układzie trójfazowym, trójprzewodowym





BATERYJNE MAGAZYNY ENERGII

Bateryjne magazyny energii odgrywają coraz ważniejszą rolę w nowoczesnym sektorze energetycznym, znajdując zastosowanie zarówno w przemyśle i obiektach użyteczności publicznej, jak i we współpracy z operatorami systemów dystrybucyjnych oraz właścicielami znaczących źródeł energii odnawialnej. Magazyny komercyjne, przeznaczone dla przemysłu i obiektów użyteczności publicznej, służą przede wszystkim optymalizacji zarządzania energią oraz zapewnieniu niezawodności dostaw. W przemyśle pozwalają na redukcję kosztów poprzez gromadzenie energii w okresach niższego zapotrzebowania lub tańszych taryf i jej wykorzystanie w godzinach szczytu. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą obniżyć opłaty za moc szczytową, co wpływa na ich efektywność ekonomiczną. Szczególnie istotną rolę magazyny energii odgrywają w integracji z instalacjami fotowoltaicznymi i innymi źródłami OZE. Poprzez magazynowanie energii wytwarzanej w ciągu dnia - zwłaszcza w okresach nadprodukcji - możliwe jest znaczące zwiększenie poziomu autokonsumpcji, co z kolei pozwala na zmniejszenie zależności od energii pobieranej z sieci elektroenergetycznej. Wyższy poziom autokonsumpcji oznacza lepsze wykorzystanie własnych zasobów energii odnawialnej, co przekłada się na niższe koszty operacyjne i większą niezależność energetyczną. Dodatkowo magazyny energii umożliwiają kompensację wahań w produkcji energii fotowoltaicznej, co zapewnia stabilne zasilanie w obiektach przemysłowych i użyteczności publicznej. Pełnią one również funkcję zasilania awaryjnego, umożliwiając utrzymanie ciągłości działania kluczowych procesów produkcyjnych i usług, minimalizując tym samym straty wynikające z przestojów spowodowanych przerwami w dostawie prądu. Energetyczne magazyny energii, współpracujące z operatorami systemów dystrybucyjnych oraz właścicielami dużych źródeł OZE, pełnią kluczową funkcję w stabilizacji i zarządzaniu siecią elektroenergetyczną. Umożliwiają one bilansowanie podaży i popytu na energię - szczególnie w kontekście niestabilnych źródeł odnawialnych, takich jak energia wiatrowa czy słoneczna. Poprzez magazynowanie nadwyżek energii w okresach jej nadprodukcji i uwalnianie ich w momentach zwiększonego zapotrzebowania, magazyny te wspierają płynne funkcjonowanie sieci i zwiększają jej elastyczność. Ponadto odgrywają istotną rolę w świadczeniu usług systemowych, takich jak regulacja częstotliwości i napięcia, co jest niezbędne dla utrzymania jakości i niezawodności dostaw energii elektrycznej. Współpraca z operatorami systemów dystrybucyjnych pozwala również na efektywne zarządzanie obciążeniem sieci, redukując ryzyko przeciążeń i awarii. Implementacja bateryjnych magazynów energii - zarówno w skali komercyjnej, jak i energetycznej - przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej, obniżenia kosztów operacyjnych oraz promocji zrównoważonego rozwoju poprzez integrację odnawialnych źródeł energii. Stanowią one integralny element transformacji energetycznej, wspierając dążenie do bardziej elastycznego, niezawodnego i ekologicznego systemu elektroenergetycznego. Magazyn energii oferowany przez Astat, w tym w szczególności Astat BESS by Elsta, stanowi złożony system, przeznaczony do pracy w komercyjnych zastosowaniach oraz w ramach świadczenia usług systemowych dla OSD. System ten idealnie współpracuje zarówno z instalacjami fotowoltaicznymi, jak i w obiektach pozbawionych źródeł OZE.

Dzięki systemowi zarządzania energią EMS możliwa jest realizacja takich zadań, jak: ładowanie przy wysokiej generacji mocy ze źródeł odnawialnych w celu zwiększenia autokonsumpcji; oddawanie zgromadzonej energii w chwilach najwyższego poboru w celu ograniczenia szczytowego zapotrzebowania; praca w systemach wielotaryfowych - polegająca na zakupie energii, gdy jej koszt jest niższy, i jej konsumpcji w okresach wyższych cen. System wyposażono w mechanizmy ochrony baterii z wykorzystaniem systemu BMS. Rozdzielnice elektryczne są klimatyzowane, aby zapewnić właściwą pracę ogniw, co skutkuje wydłużeniem ich żywotności i pozwala w pełni wykorzystać ich pojemność. Istnieje możliwość rozbudowy systemu o zdalne monitorowanie pracy układu oraz opomiarowanie parametrów elektrycznych z wykorzystaniem dedykowanego analizatora jakości energii elektrycznej.

Cechy produktu

1. Wielofunkcyjny system zarządzania energią (EMS):
   - ładowanie baterii podczas wysokiej generacji mocy z OZE, zwiększając autokonsumpcję energii,
   - oddawanie zgromadzonej energii w okresach szczytowego zapotrzebowania, zmniejszając obciążenie sieci,
   - obsługa systemów wielotaryfowych: ładowanie w okresach, gdy cena energii jest niższa i użytkowanie jej podczas, gdy energia kosztuje więcej.
2. Zintegrowany system ochrony baterii (BMS):
   - monitorowanie parametrów pracy ogniw (napięcie, temperatura, prąd) w celu zwiększenia bezpieczeństwa i wydłużenia żywotności baterii,
   - ochrona przed przeładowaniem i nadmiernym rozładowaniem.
3. Współpraca z systemami nadzoru SCADA:
   - zdalne monitorowanie pracy magazynu energii,
   - opomiarowanie parametrów elektrycznych za pomocą dedykowanego analizatora jakości energii.

Zastosowanie

1. Systemy zasilania obiektów z instalacjami OZE:
   - magazynowanie energii wyprodukowanej przez OZE w celu zwiększenia autokonsumpcji,
   - stabilizacja pracy systemu w obiektach z niestabilnym źródłem OZE.
2. Obiekty komercyjne i przemysłowe:
   - ograniczenie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną,
   - optymalizacja kosztów energii poprzez wykorzystanie systemów wielotaryfowych,
   - ładowanie magazynu w okresach tańszej energii i oddawanie jej w godzinach szczytu.
3. Monitoring i analiza parametrów elektrycznych:
   - użycie dedykowanego analizatora jakości energii do monitorowania i optymalizacji pracy układu.
4. Rozwiązania hybrydowe:
   - współpraca z systemami bez instalacji PV, umożliwiająca zwiększenie efektywności energetycznej w różnych zastosowaniach.

Podstawy budowy i zasady działania baterii akumulatorów opartych o technologię $LiFePO_4$

Baterie stosowane w magazynach energii są kluczowym elementem ich konstrukcji, odpowiadającym za magazynowanie i oddawanie energii w sposób efektywny i bezpieczny. Najczęściej wykorzystywaną technologią w takich systemach są baterie litowo - jonowe, w szczególności akumulatory litowo - żelazowo - fosforanowe ($LiFePO_4$, LFP). Technologia ta charakteryzuje się wysoką stabilnością termiczną, dużą liczbą cykli ładowania i rozładowania oraz bezpieczeństwem eksploatacji. Systemy te są dodatkowo wspierane przez zaawansowane systemy zarządzania baterią (BMS), które monitorują napięcie, prąd, temperaturę oraz inne kluczowe parametry pracy, co pozwala zapobiegać przeciążeniom, przegrzewaniu czy termicznej ucieczce. Zastosowanie technologii $LiFePO_4$ umożliwia osiągnięcie wysokiej efektywności energetycznej przy jednoczesnym wydłużeniu żywotności systemu.

1. Kluczowe dane techniczne baterii
   - technologia baterii: litowo - żelazowo - fosforanowa ($LiFePO_4$),
   - efektywność energetyczna: 90-95%,
   - żywotność cykliczna: nawet do 5 000 cykli ładowania i rozładowania,
   - stabilność napięcia pracy: 32 V w każdym module,
   - bezpieczeństwo: wysoka stabilność termiczna, odporność na przegrzewanie i minimalne ryzyko termicznej ucieczki,
   - zakres temperatur pracy: optymalny zakres to od 15°C do 35°C,
   - system zarządzania baterią (BMS):
     - monitorowanie napięcia, temperatury i prądu,
     - ochrona przed przeciążeniami i nadmiernym rozładowaniem,
     - dynamiczna regulacja parametrów w zależności od warunków eksploatacji.
2. Zalety technologii $LiFePO_4$
   - wysoka stabilność termiczna zapewniająca bezpieczeństwo w trudnych warunkach,
   - wysoka szybkość ładowania i rozładowania, umożliwiająca wykorzystanie w aplikacjach wymagających szybkiego dostarczania energii,
   - długowieczność, dzięki czemu koszty eksploatacji są znacząco redukowane.

Podstawową jednostką konstrukcyjną akumulatora $LiFePO_4$ jest ogniwo elektrochemiczne, składające się z następujących elementów:

- Katoda: wykonana z materiału $LiFePO_4$, który pełni rolę interkalacyjnego materiału katodowego. Struktura krystaliczna $LiFePO_4$ oparta jest na oliwinie, co zapewnia stabilność strukturalną podczas cykli ładowania i rozładowania. Oliwin to typ struktury krystalicznej charakteryzujący się sztywną i stabilną siecią atomową, która umożliwia bezpieczne i wielokrotne przemieszczanie się jonów litu, co ma kluczowe znaczenie dla trwałości i bezpieczeństwa pracy ogniwa.
- Anoda: zazwyczaj wykonana z grafitu lub innego materiału węglowego, który umożliwia wnikanie jonów litu podczas procesu ładowania.
- Elektrolit: stanowi medium przewodzące dla jonów litu między anodą a katodą. W akumulatorach $LiFePO_4$ stosuje się elektrolity ciekłe na bazie soli litu rozpuszczonych w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak węglany organiczne (np. węglan etylenu, węglan dimetylu).
- Separator: cienka, mikroporowata membrana, zazwyczaj wykonana z poliolefin (np. polipropylen, polietylen), która oddziela anodę od katody, zapobiegając zwarciom wewnętrznym, jednocześnie pozwalając na swobodny przepływ jonów litu.
- Obudowa: ogniwa są zamykane w szczelnych obudowach metalowych lub polimerowych, zapewniając ochronę przed wpływami środowiskowymi oraz utrzymanie integralności mechanicznej.

Działanie akumulatora $LiFePO_4$ opiera się na odwracalnym procesie interkalacji jonów litu między anodą a katodą podczas cykli ładowania i rozładowania.

1. Ładowanie: podczas ładowania, źródło zewnętrzne dostarcza energię elektryczną, powodując deinterkalację jonów litu z katody $LiFePO_4$ i ich migrację przez elektrolit do anody grafitowej, gdzie są interkalowane między warstwami grafitu. Reakcje chemiczne można przedstawić następująco:

- katoda: $LiFePO_4 \rightleftharpoons LiFePO_4 + Li^+ + e^-$
- anoda: $C_6 + Li^+ + e^- \rightleftharpoons LiC_6$

2. Rozładowanie: w trakcie rozładowania proces jest odwrócony. Jony litu migrują z anody grafitowej przez elektrolit do katody $LiFePO_4$ gdzie są reintegralizowane w strukturę krystaliczną $LiFePO_4$. Generowany jest prąd elektryczny przepływający w obwodzie zewnętrznym, zasilając odbiorniki.

Temperatura otoczenia ma kluczowy wpływ na wydajność, żywotność i bezpieczeństwo akumulatorów litowo-żelazowo-fosforanowych ($LiFePO_4$).

Najlepsze parametry pracy tych akumulatorów osiągane są w zakresie temperatur od 15°C do 35°C, gdzie zapewniona jest ich maksymalna efektywność oraz długowieczność. W niższych temperaturach, szczególnie poniżej 0°C, wzrasta rezystancja wewnętrzna, co prowadzi do spadku napięcia i ograniczenia prądu rozładowania. Jednocześnie spowolnione reakcje elektrochemiczne utrudniają szybkie ładowanie i rozładowanie, a dostępna pojemność ulega zmniejszeniu, co ogranicza ilość energii możliwej do wykorzystania. Dodatkowo podczas ładowania w niskich temperaturach istnieje ryzyko tworzenia dendrytów litu na anodzie, co może skutkować zwarciami wewnętrznymi. Z kolei wysokie temperatury, powyżej 40°C, przyspieszają procesy degradacji akumulatora poprzez intensyfikację reakcji bocznych w elektrolicie i na interfejsie elektroda-elektrolit, co prowadzi do szybszej utraty pojemności. Wyższe temperatury zwiększają również prąd samorozładowania, powodując szybsze zużywanie się energii w trakcie przechowywania. Mimo że akumulatory $LiFePO_4$ charakteryzują się większą stabilnością termiczną niż inne technologie litowo-jonowe, ekstremalne temperatury mogą zwiększać ryzyko termicznej ucieczki. Ponadto wysokie temperatury mogą negatywnie wpływać na komponenty systemu zarządzania baterią (BMS), co obniża precyzję monitorowania i kontroli parametrów pracy.

Ucieczka termiczna to niebezpieczne zjawisko, które może wystąpić w bateriach, zwłaszcza tych stosowanych w nowoczesnych urządzeniach. Dzieje się tak, gdy bateria zbyt mocno się nagrzewa, a nagromadzone ciepło powoduje kolejne reakcje chemiczne, które z kolei wytwarzają jeszcze więcej ciepła. W efekcie powstaje tzw. błędne koło - im cieplej, tym bardziej bateria się nagrzewa, aż może dojść do wybuchu lub pożaru.

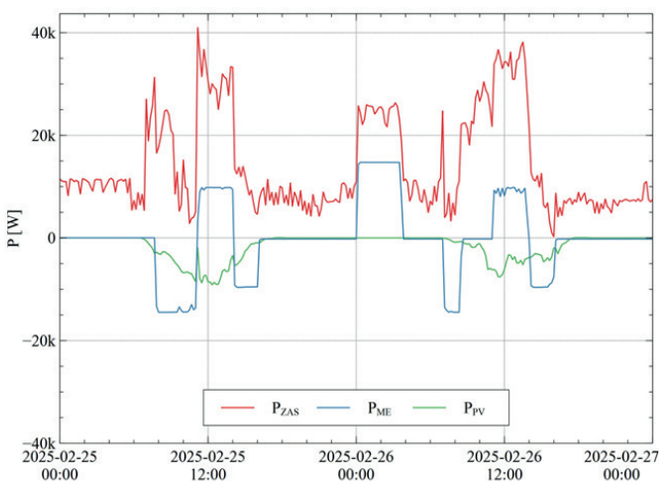
- gdy temperatura rośnie, uszkadza się cienka warstwa ochronna wewnątrz baterii,
- powoduje to reakcję pomiędzy elektrodą a elektrolitem, w wyniku której powstają trujące i łatwopalne gazy,
- gazy te zwiększają ciśnienie w baterii,
- jeśli ciśnienie jest zbyt wysokie, bateria może się rozszczelnić, a wydobywające się gazy mogą się zapalić,
- cząstki o wysokiej temperaturze mogą działać jak iskra, która wznieca pożar.

Ucieczka termiczna jest więc główną przyczyną awarii baterii i realnym zagrożeniem pożarowym. Poza optymalnym zakresem temperatur konieczne jest zastosowanie środków ochronnych, takich jak systemy chłodzenia lub ogrzewania, aby zminimalizować negatywny wpływ ekstremalnych warunków i zapewnić bezpieczne oraz efektywne działanie akumulatorów.

Zestawienie cech akumulatorów w magazynach energii

Lista cech ME	Akumulatory kwasowo - ołowiowe	Akumulatory litowo - jonowe	Akumulatory $LiFePO_4$	Akumulatory Ni - MH
Pojemność energetyczna	Średnia	Wysoka	Wysoka	Niska
Gęstość energii	Niska	Wysoka	Średnia	Niska
Moc znamionowa	Średnia	Wysoka	Wysoka	Średnia
Sprawność energetyczna	70 -85%	90-95%	90-95%	Około 70%
Żywotność cykliczna	Niska (300-500 cykli)	Wysoka (1 000-2 000 cykli)	Bardzo wysoka (>2 000 cykli)	Średnia (500-1 000 cykli)
Stabilność termiczna	Średnia	Średnia	Wysoka	Średnia
Bezpieczeństwo eksploatacji	Średnie	Wymaga systemów zabezpieczeń	Wysokie	Średnie
Szybkość ładowania i rozładowania	Niska	Wysoka	Wysoka	Średnia
Koszty inwestycyjne i operacyjne	Niskie	Wysokie	Średnie	Średnie
Wpływ na środowisko	Negatywny	Mniejszy wpływ	Niski wpływ	Negatywny

Najważniejszymi elementami składowymi kompletnego magazynu energii są systemy Battery Management System (BMS), Energy Management System (EMS), dwukierunkowy inwerter-Power Conversion System (PCS) oraz same moduły bateryjne. System BMS ma za zadanie monitorowanie parametrów pracy ogniw (napięcie, temperatura, prąd) w celu zwiększenia bezpieczeństwa i wydłużenia żywotności baterii oraz zapewnienia ochrony przed przeładowaniem i nadmiernym rozładowaniem. Wielofunkcyjny system zarządzania energią (EMS) zarządza pracą magazynu w tym ładowaniem baterii podczas wysokiej generacji energii z OZE, zwiększając autokonsumpcję energii, oddawaniem zgromadzonej energii w okresach szczytowego zapotrzebowania, zmniejszając obciążenie sieci. Może również wykorzystywać systemy taryfowe, gdzie ładowanie następuje w okresach taniej energii, a następnie użytkowanie jej przy wyższych cenach. Dla zakładu o charakterze biurowo - produkcyjnym przedstawione zostały przepływy mocy czynnej. Zakład ma moc umowną 42 kW i współpracuje z instalacją fotowoltaiczną o mocy 42 kWp oraz magazynem energii o parametrach 50 kW/100 kWh. Trzy główne części instalacji - obwód zasilający, instalacja PV oraz magazyn energii - wyposażono w stacjonarne analizatory jakości energii elektrycznej PQI-DA Smart firmy A-Eberle. Została uwzględniona praca w układzie dwutaryfowym, gdzie godziny szczytowe ustawione są od 7 do 11 i od 14 do 16. Pozostałe godziny dobry ustawione są jako pozaszczytowe. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi przesyłu mocy czynnej dla magazynu energii (ME), instalacji fotowoltaicznej (PV) oraz z układu zasilania sieci dystrybucyjnej (ZAS). Wartość mocy ze znakiem dodatnim oznacza pobór energii z sieci oraz ładowanie magazynu energii, ze znakiem minus generację energii z instalacji fotowoltaicznej oraz oddawanie energii z magazynu energii do sieci.



Rys. 15. Wykres poboru i generacji mocy dla wybranego dnia roku: PV - generacja mocy z instalacji fotowoltaicznej, ME - pobór i generacja mocy z magazynu energii, ZAS - pobór mocy z sieci dystrybucyjnej

Praca magazynu energii uwzględniała jego doładowanie w godzinach nocnych (od północy do siódmej rano). Wielkość tego doładowania była zależna od zgromadzonej energii i różniła się w poszczególnych dniach pracy (niepokazane na rysunku). W godzinach porannych następuje oddawanie energii z magazynu w celu ograniczenia porannego zapotrzebowanie na moc. W kolejnej części dnia, w godzinach od 11 do 14, następuje doładowanie magazynu energii, gdzie następuje wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej. Następnie w drugim szczytowym przedziale czasu następuje oddawanie energii z ME. Praca w takim trybie pozwala na ograniczenie zapotrzebowania na moc czynną zakupioną od spółki dystrybucyjnej, co jest szczególnie istotne przy wyższych cenach w taryfie szczytowej.



CEWKA PETERSENA-PŁYNNIE REGULOWANA (PRACA DO 2 GODZ.)

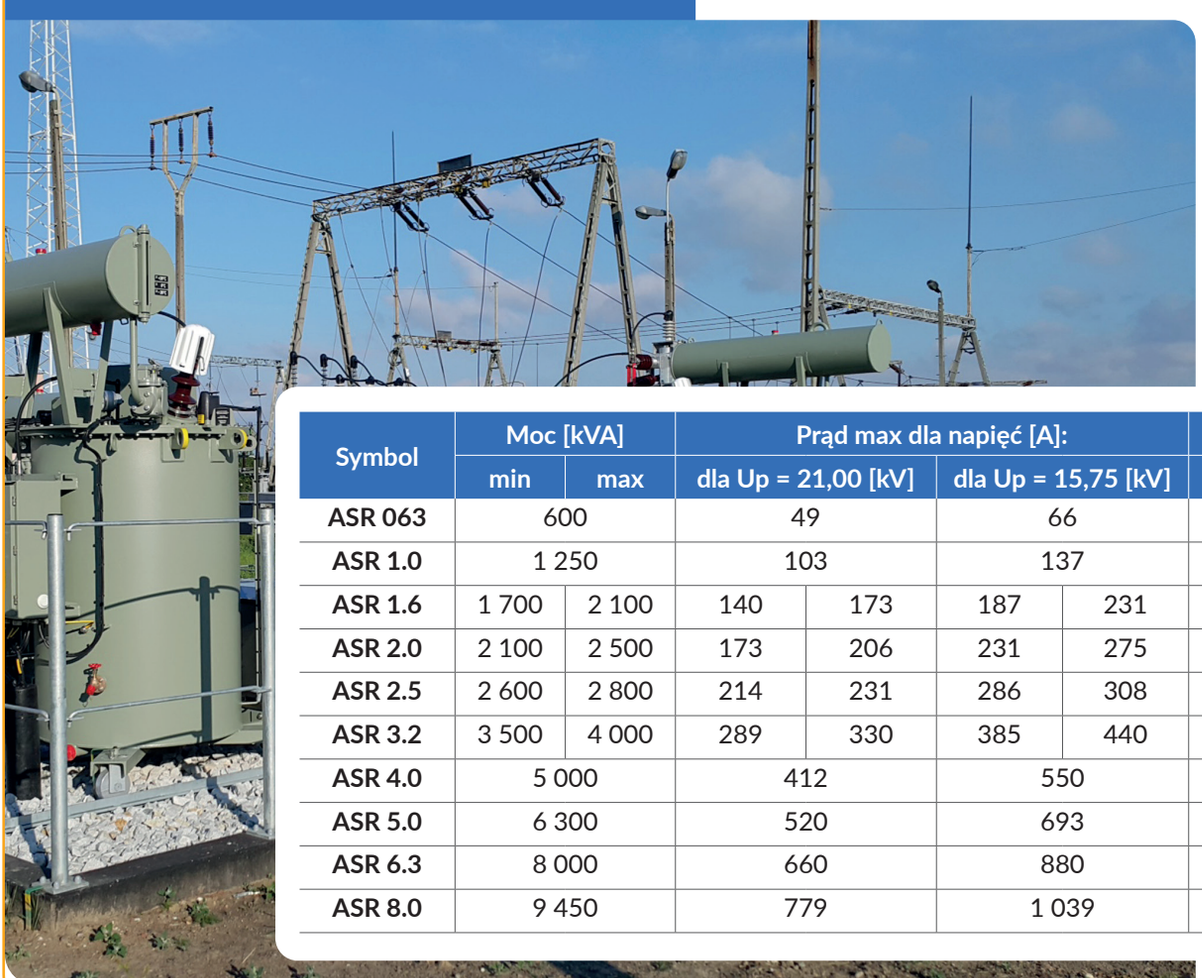
Urządzenie zespołu kompensacyjnego, kompensujące reaktancję pojemnościową sieci SN, współpracujące z transformatorem uziemiającym i automatyką elektroenergetyczną.

Co zrobić w przypadku doziemień trwałych i przemijających w liniach SN?

Rozwiązanie z uziemiającą cewką Petersena wydaje się gwarantować najwyższy poziom odporności zarówno na zjawiska przemijające, jak i ciągłe, zapewniając techniczną możliwość bezprzerwowego dostarczania energii elektrycznej nawet podczas nieprzemijających, jednofazowych zwarć doziemnych. Do charakterystycznych efektów tego rozwiązania należy płynnie narastająca stabilizacja amplitudy napięć po ustąpieniu zwarcia, szczególnie odczuwalna przy zwarciach wielokrotnie powtarzających się. Indukcyjność cewki musi być jednak tak dobrana, aby cały układ był skompensowany (dostrojony), a mówiąc językiem zabezpieczeniowców-aby prąd pojemnościowy linii był zrównoważony prądem indukcyjnym cewki. Cewka nadążna rozwiązuje również problemy ochrony przeciwporażeniowej w GPZ oraz problemy niepotrzebnych wyłączeń odbiorców energii elektrycznej.

Właściwości:

- zakres regulacji prądu: od 10% do 100% I_n,
- napięcie sieci: 6 kV do 110 kV,
- zakres mocy: do 9 450 kVA dla pracy krótkoterminowej (2 godz.).



Symbol	Moc [kVA]		Prąd max dla napięć [A]:				Masa
	min	max	dla Up = 21,00 [kV]		dla Up = 15,75 [kV]		[kg]
ASR 063	600		49		66		1 880
ASR 1.0	1 250		103		137		2 500
ASR 1.6	1 700	2 100	140	173	187	231	3 600
ASR 2.0	2 100	2 500	173	206	231	275	3 720
ASR 2.5	2 600	2 800	214	231	286	308	4 160
ASR 3.2	3 500	4 000	289	330	385	440	5 100
ASR 4.0	5 000		412		550		5 500
ASR 5.0	6 300		520		693		7 300
ASR 6.3	8 000		660		880		8 990
ASR 8.0	9 450		779		1 039		11 010



REGULATOR NAPIĘCIA SIECI NN-SERIA LVR SYS

System umożliwia regulację poziomu napięcia w zakresie ±6% lub ±20% w sieci nn. Kompaktowa budowa, wykonanie wnętrzowe lub zewnętrzne, umożliwia łatwą instalację w dowolnie wybranym punkcie sieci.

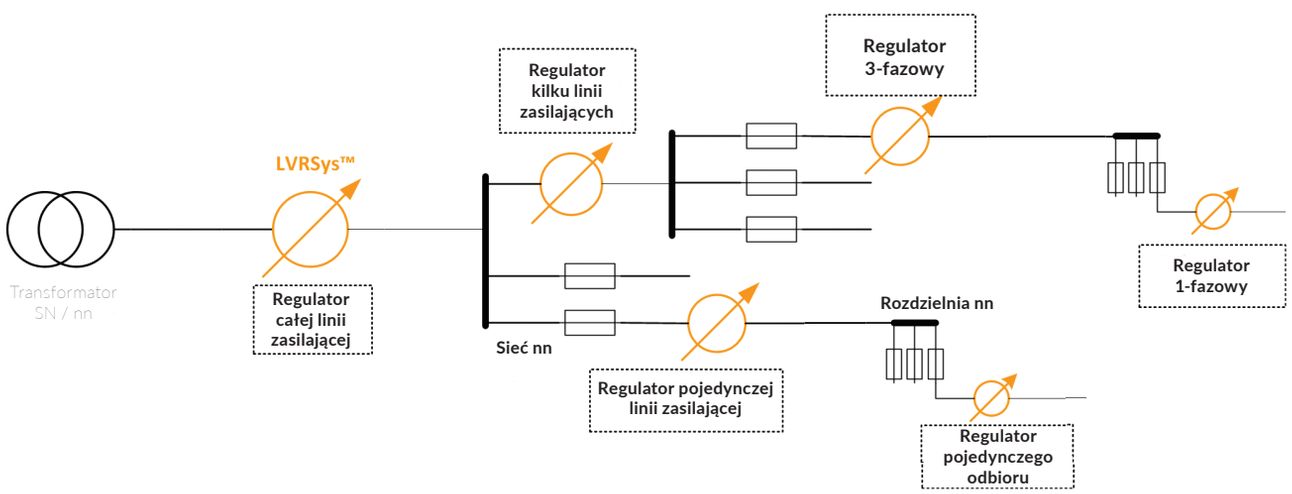
Regulacja napięcia

Bezpośrednią regulację napięcia przez LVR Sys™ porównać można z efektem stosowania transformatora z podobciążeniowym przełącznikiem zaczepów zasilającego sieć dystrybucyjną. Podstawową ideą zastosowania tego rozwiązania jest konieczność utrzymania wymaganego poziomu napięcia w całej sieci rozdzielczej.

Przykładowym źródłem występowania wahań poziomu napięcia są przydomowe generatory fotowoltaiczne-OZE przyłączone do dystrybucyjnej sieci nn.

Funkcje regulatora LVR Sys:

- system regulacji napięcia sieci nn o mocy od 7,5 kVA do 630 kVA,
- regulacja w zakresie ±6%, ±8% i ±10%,
- sprawność 99,7% przy mocy znamionowej,
- wbudowane algorytmy regulacji napięcia,
- niezależna regulacja 3 faz,
- technologia bezobsługowa,
- wykonanie wnętrzowe lub zewnętrzne,
- system 1-fazowy i 3-fazowy.



MAGAZYN ENERGII
INWESTYCJA, KTÓRA NIESIE KORZYŚCI!



Magazyny energii BESS ASTAT by Elsta

to rozwiązania przeznaczone dla konsumentów i producentów energii elektrycznej, mające na celu stabilizację dziennych wahań obciążenia sieci oraz redukcję kosztów związanych z zużyciem energii.

CO NAS WYRÓŻNIA?

Indywidualne podejście
każda inwestycja jest unikalna

Bezpieczeństwo
niezawodność instalacji
i troska o użytkowników

Polska produkcja
znajomość krajowych przepisów,
norm i mechanizmów wsparcia,
szybka reakcja serwisowa

Nowoczesne technologie
wykorzystujemy autorskie
rozwiązania Elsta

Innowacje i rozwój
współpraca z ekspertami
i ośrodkami badawczymi

Zrównoważony rozwój
dbamy o środowisko
dla przyszłych pokoleń

Najwyższa jakość
staramy się przekraczać
oczekiwania klientów

Wieloletnie doświadczenie
ponad 30 lat na rynku,
setki zrealizowanych
projektów i dostaw

WYPOŻYCZALNIA ANALIZATORÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zapraszamy do skorzystania z oferty wypożyczalni przenośnych analizatorów jakości energii

www.astat-wypozyczalnia.pl



ZAPYTAJ O OFERTĘ!
Maciej Zakrzewski
668 489 090
m.zakrzewski@astat.pl

ASTAT
ENERGETYKA

61 840 47 29 oferty.eijee@astat.pl www.astat.pl