



**Stowarzyszenie Elektryków  
Polskich Oddział Olsztyński  
w Olsztynie**



**Warminsko-Mazurska  
Okręgowa Izba Inżynierów  
Budownictwa**

# **KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ OBIEKTÓW Z INSTALACJĄ PV**

**dr inż. Grzegorz Hołdyński**

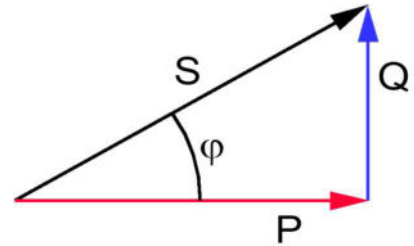
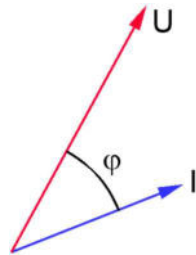
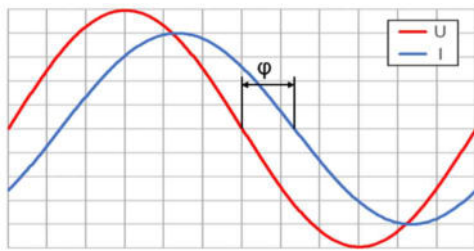
**Olsztyn, 2024**

# SPIS TREŚCI

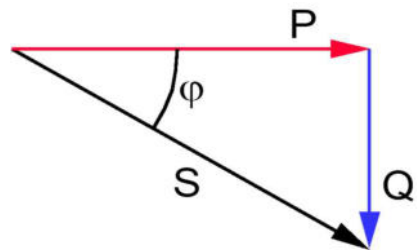
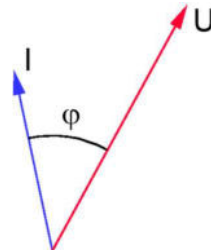
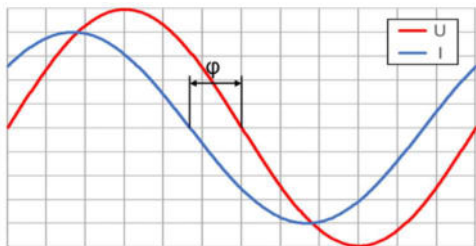
<b>1. MOC BIERNA W UKŁADACH ELEKTROENERGETYCZNYCH.....</b>	<b>3</b>
1.1. Pojęcie mocy biernej .....	3
1.2. Odbiorniki mocy biernej .....	3
1.3. Wymagania przepisów .....	4
<b>2. BILANSOWANIE MIĘDZYFAZOWE.....</b>	<b>6</b>
<b>3. ZASADY I METODY KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ .....</b>	<b>8</b>
3.1. Wprowadzenie.....	8
3.2. Urządzenia do kompensacji mocy biernej.....	9
3.2.1. Automatyczne baterie kondensatorów .....	9
3.2.2. Automatyczne baterie dławików.....	9
3.2.3. Automatyczne baterie hybrydowe .....	10
3.2.4. Hybrydowe kompensatory z członem indukcyjnym TCR.....	11
3.2.5. Asymetryczne baterie kondensatorów .....	11
3.2.6. Asymetryczne baterie hybrydowe.....	12
3.2.7. Statyczne kompensatory mocy biernej .....	12
3.2.8. Energetyczne filtry aktywne .....	13

# 1. MOC BIERNA W UKŁADACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

## 1.1. Pojęcie mocy biernej



Przebiegi prądów i napięć oraz wykresy wskazowe dla odbiornika o charakterze indukcyjnym



Przebiegi prądów i napięć oraz wykresy wskazowe dla odbiornika o charakterze pojemnościowym

Wartość zespoloną mocy pozornej można wyznaczyć ze wzoru:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P \pm jQ$$

gdzie:

$\underline{U}$  – wartość zespolona napięcia zasilającego,

$\underline{I}^*$  – wartość zespolona sprzężona prądu odbiornika,

$P$  – moc czynna,

$Q$  – moc bierna.

## 1.2. Odbiorniki mocy biernej

Urządzenia pobierające moc bierną indukcyjną	Urządzenia pobierające moc bierną pojemnościową
Silniki indukcyjne	Przekształtniki energoelektroniczne (prostowniki, falowniki)
Transformatory, dławiki	Zasilacze awaryjne (UPS)
Spawarki, zgrzewarki	Sprzęt RTV (telewizory, DVD, audio)
Wtryskarki	Sprzęt komputerowy (komputery, monitory, drukarki)
Piece indukcyjne	Sprzęt biurowy (kserokopiarki, faksy)
Sprzęt AGD (pralki, lodówki, zamrażarki, agregaty chłodnicze, zmywarki)	Oświetlenie (światówki kompaktowe, lampy LED)
Wentylacja, klimatyzacja	Automatyka budynkowa (monitoring, kontrola dostępu, ochrona przeciwpożarowa)

### 1.3. Wymagania przepisów

Dokumenty określające zasady rozliczeń za energię bierną:

- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 29 listopada 2022 r. w sprawie sposobu kształtowania i kalkulacji taryf oraz sposobu rozliczeń w obrocie energią elektryczną. (Dz.U. 2022 poz. 2505)
- Taryfa dla usług dystrybucji energii elektrycznej PGE Dystrybucja S.A.

Według aktualnie obowiązujących przepisów krajowych, nie ma obowiązku kompensacji mocy biernej. Jednakże pobór mocy biernej może być obciążony karami finansowymi naliczanymi przez operatorów sieci dystrybucyjnych.

Rozliczeniami za pobór energii biernej są objęci :

- odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym powyżej 1 kV (taryfa A i B),
- odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym do 1 kV o mocy przyłączeniowej powyżej 40 kW (taryfa C2X),
- w uzasadnionych przypadkach odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym do 1 kV o mocy przyłączeniowej do 40 kW (taryfa C1X), o ile zostało to określone w warunkach przyłączenia lub w umowie o świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej.

Wartość umownego współczynnika mocy przyjmuje się w wysokości  $\text{tg}\phi_0 = 0,4$ , chyba, że ekspertyza uzasadnia wprowadzenie niższej wartości, jednak nie mniej niż  $\text{tg}\phi_0 = 0,2$ . Jeżeli wartość współczynnika  $\text{tg}\phi_0$  nie została określona w warunkach przyłączenia lub w Umowie, do rozliczeń przyjmuje się wartość  $\text{tg}\phi_0 = 0,4$ .

Wartość współczynnika mocy  $\text{tg}\phi$  określa się jako iloraz energii biernej pobranej całodobowo lub w strefach czasowych, w których jest dokonywana kontrola poboru energii biernej wyrażonej w Mvarh lub kvarh i energii czynnej pobranej całodobowo lub w strefach czasowych, w których jest dokonywana ta kontrola, wyrażonej w MWh lub kWh.

Przez ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorcę uważa się ilość energii biernej odpowiadającą:

- współczynniki mocy wyższemu od umownego współczynnika ( $\text{tg}\phi > 0,4$ ) i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika umownego (niedokompensowanie);
- indukcyjnemu współczynnikowi ( $\text{tg}\phi > 0$ ) mocy przy braku poboru energii czynnej;
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy ( $\text{tg}\phi < 0$ ) zarówno przy poborze energii czynnej, jak i przy braku takiego poboru (przekompensowanie).

Według aktualnie obowiązujących przepisów krajowych, nie ma obowiązku kompensacji mocy biernej. Jednakże pobór mocy biernej może być obciążony karami finansowymi naliczanymi przez operatorów sieci dystrybucyjnych.

Rozliczeniami za pobór energii biernej są objęci :

- odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym powyżej 1 kV (taryfa A i B),
- odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym do 1 kV o mocy przyłączeniowej powyżej 40 kW (taryfa C2X),

- w uzasadnionych przypadkach odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym do 1 kV o mocy przyłączeniowej do 40 kW (taryfa C1X), o ile zostało to określone w warunkach przyłączenia lub w umowie o świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej.

Wartość umownego współczynnika mocy przyjmuje się w wysokości:

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,4 \quad (\cos\varphi = 0,928)$$

Opłatę za ponadumowny pobór energii biernej oblicza się według zależności:

$$\begin{cases} O_b = k \cdot C_{rk} \cdot A_P \cdot \left( \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2\varphi}{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_0}} - 1 \right) & \text{dla } \operatorname{tg}\varphi > 0,4 \\ O_b = k \cdot C_{rk} \cdot A_{QC} & \text{dla } \operatorname{tg}\varphi < 0 \\ O_b = k \cdot C_{rk} \cdot A_{QL} & \text{dla } \operatorname{tg}\varphi = \infty (\cos\varphi = 0) \end{cases}$$

gdzie:

$O_b$  – opłata za nadwyżkę energii biernej,

$C_{rk}$  – cena energii elektrycznej,

$k$  – współczynnik krotności ceny energii,

$\operatorname{tg}\varphi$  – współczynnik mocy wynikający z energii biernej pobranej (indukcyjnej),

$\operatorname{tg}\varphi_0$  – umowny współczynnik mocy,

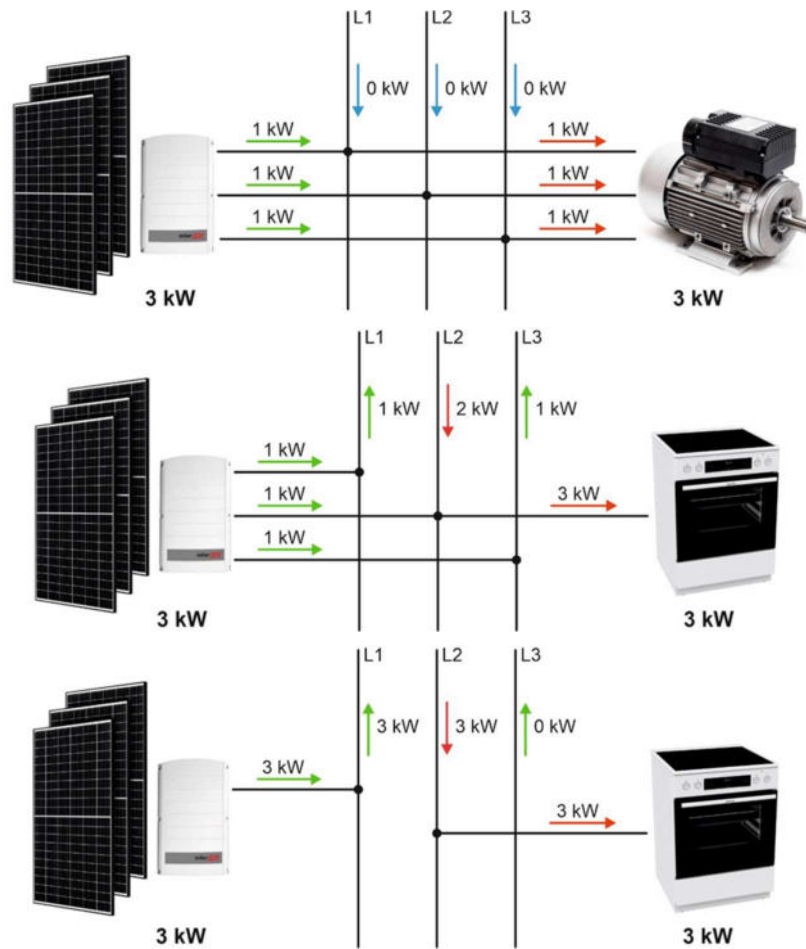
$A_P$  – energia czynna pobrana w analizowanym okresie,

$A_{QC}$  – energia bierna oddana (pojemnościowa) w analizowanym okresie.

Współczynnik krotności „k” osiąga następujące wartości:

- $k_{WN} = 0,50$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci wysokiego napięcia,
- $k_{SN} = 1,00$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci średniego napięcia,
- $k_{nn} = 3,00$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci niskiego napięcia.

## 2. BILANSOWANIE MIĘDZYFAZOWE

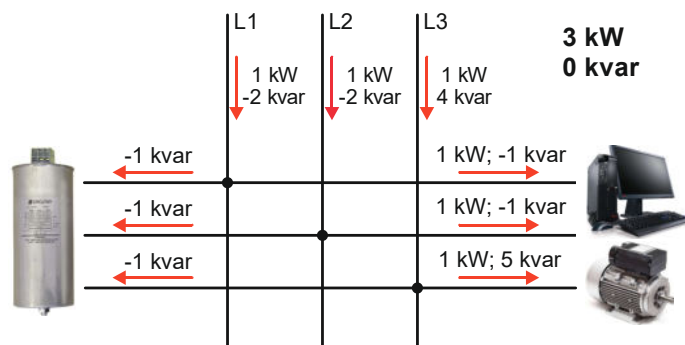
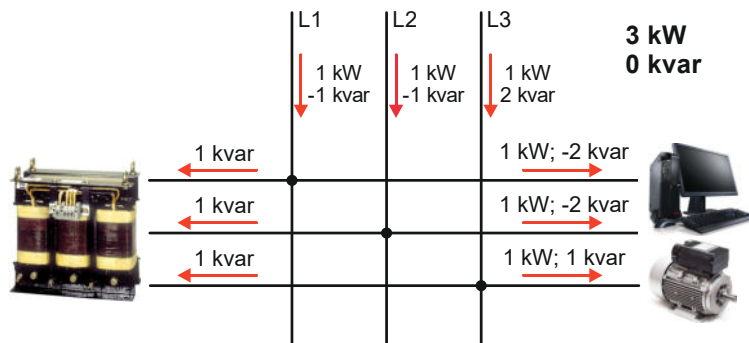
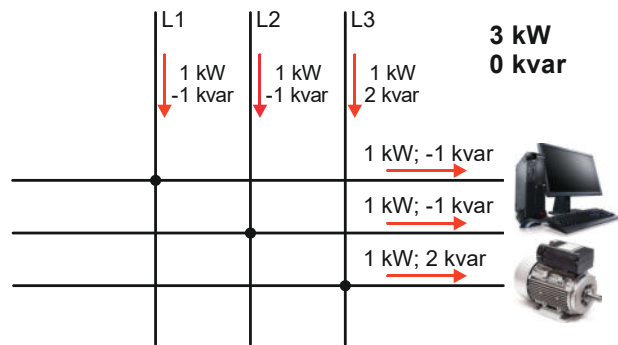


Bilansowanie międzyfazowe mocy czynnej

Czas pracy 300 h  
 Cena energii czynnej pobranej 1,15 zł/kWh  
 Cena energii czynnej oddanej 0,40 zł/kWh

Symulowane opłaty

Przypadek	Licznik algebraiczny	Licznik wektorowy
	zł	zł
1	0	0
2	450	0
3	675	0



Czas pracy 300 h  
 Cena energii biernej 0,84 zł/kvarh

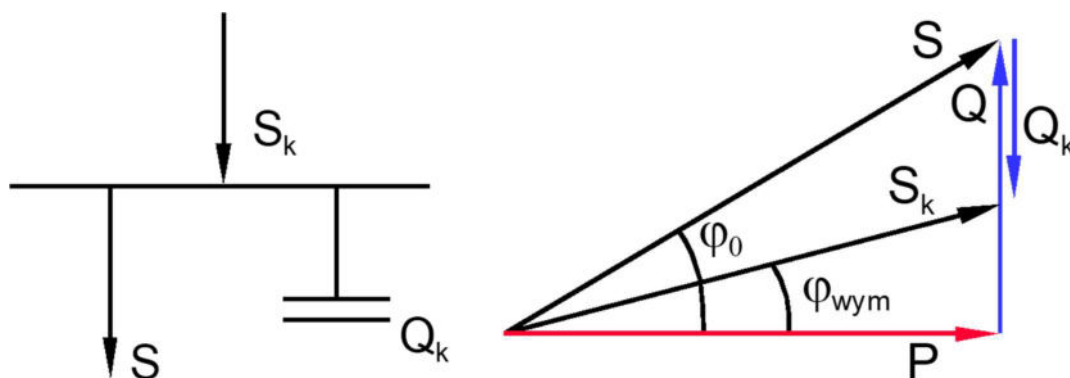
Symulowane opłaty

Przypadek	Licznik algebraiczny	Licznik wektorowy
	zł	zł
1	705	0
2	705	0
3	1713	0

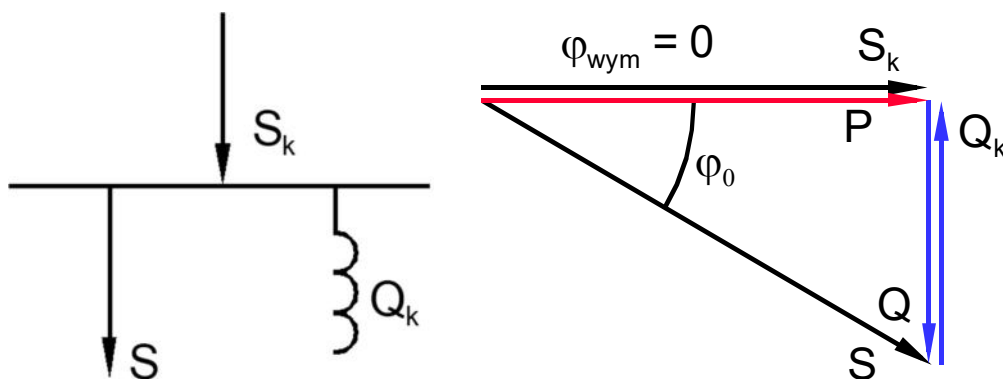
### 3. ZASADY I METODY KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ

#### 3.1. Wprowadzenie

Kompensacja mocy biernej (poprawa współczynnika mocy) polega na wprowadzeniu pewnej mocy biernej  $Q_k$ , która skompensuje wartość przesunięcia fazowego istniejącego obciążenia sieci elektroenergetycznej. W zależności od charakteru mocy biernej odbiorników przyłącza się różne urządzenia kompensacyjne. Dla kompensacji mocy biernej indukcyjnej (moc bierna pobrana) przyłącza się urządzenia o charakterze pojemnościowym (najczęściej kondensatory), natomiast dla kompensacji mocy biernej pojemnościowej (moc bierna oddana) przyłącza się urządzenia o charakterze indukcyjnym (najczęściej dławiki).



Idea kompensacji mocy biernej indukcyjnej



Idea kompensacji mocy biernej pojemnościowej

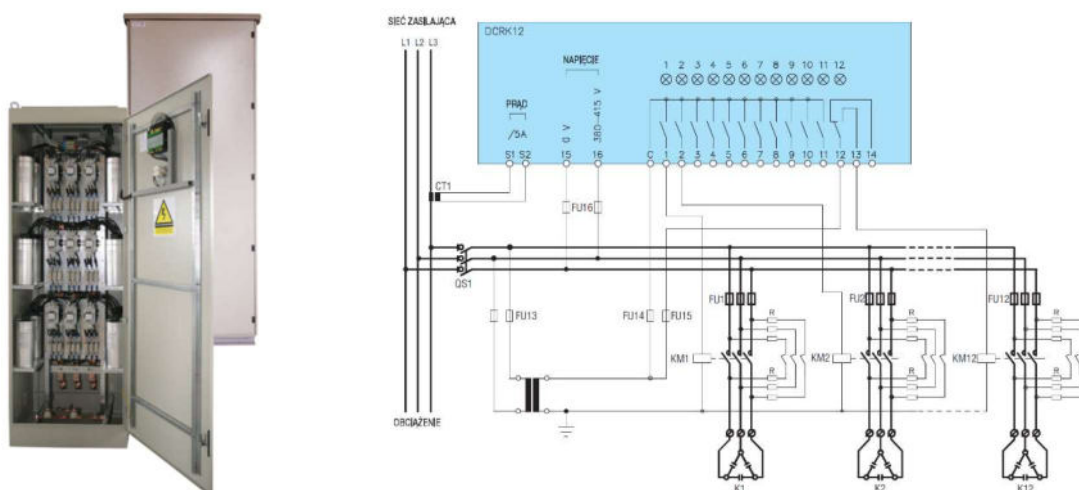


## 3.2. Urządzenia do kompensacji mocy biernej

### 3.2.1. Automatyczne baterie kondensatorów

Automatycznie regulowane baterie kondensatorów składają się z kilku członów kondensatorowych trójfazowych, regulatora współczynnika mocy (najczęściej z pomiarem prądu w jednej fazie) oraz osprzętu pomocniczego ( styczniki lub łączniki tyrystorowe i zabezpieczenia).

Przy obecnym systemie rozliczeń prosumentów (pomiar algebraiczny) stosowanie trójfazowych baterii kondensatorów z pomiarem prądu w jednej fazie nie daje prawidłowych efektów kompensacji a w wielu przypadkach może doprowadzić do zwiększenia opłat za energię bierną. Dodatkowo bateria nie pozwala na skompensowanie energii biernej pojemnościowej (oddanej), która występuje już coraz częściej w obiektach przemysłowych.



Widok i układ połączeń automatycznej baterii kondensatorów

### 3.2.2. Automatyczne baterie dławików

Automatycznie regulowane baterie dławików składają się z kilku członów indukcyjnych trójfazowych (dławików), regulatora współczynnika mocy (najczęściej z pomiarem prądu w jednej fazie) oraz osprzętu pomocniczego ( styczniki lub łączniki tyrystorowe i zabezpieczenia).

Przy obecnym systemie rozliczeń prosumentów (pomiar algebraiczny) stosowanie trójfazowych baterii kondensatorów z pomiarem prądu w jednej fazie nie daje prawidłowych efektów kompensacji a w wielu przypadkach może doprowadzić do zwiększenia opłat za energię bierną. Dodatkowo bateria nie pozwala na skompensowanie energii biernej indukcyjnej (pobranej).

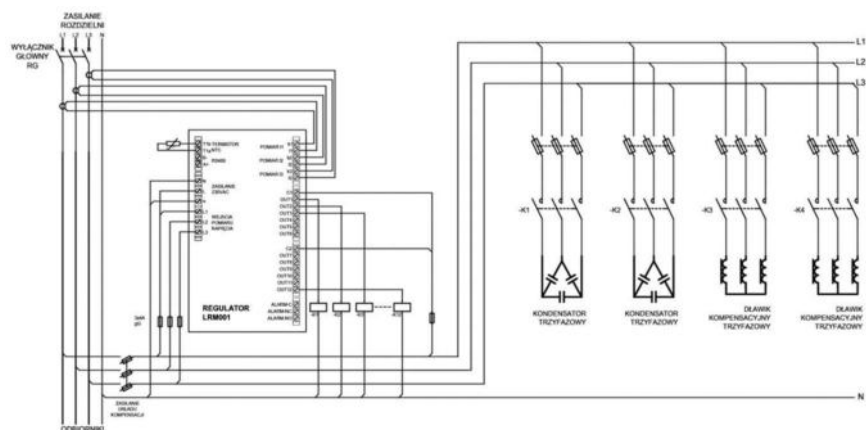


Widok automatycznych baterii dławików

### 3.2.3. Automatyczne baterie hybrydowe

Automatyczne baterie hybrydowe składają się z kondensatorów i dławików (trójfazowych) oraz regulatora współczynnika mocy (najczęściej z pomiarem prądu w trzech fazach) oraz osprzętu pomocniczego ( styczniki lub łączniki tyrystorowe i zabezpieczenia). Baterie hybrydowe dedykowane są do obiektów o zmiennym charakterze mocy biernej (biura, urzędy, budynki użyteczności publicznej, niektóre obiekty przemysłowe).

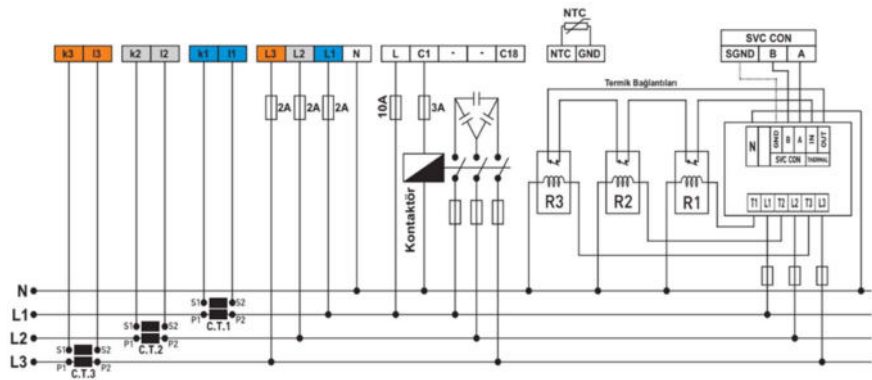
Baterie hybrydowe umożliwiają kompensację mocy biernej indukcyjnej oraz pojemnościowej, co w porównaniu z bateriami kondensatorów daje lepsze efekty kompensacji, jednak stosowanie trójfazowych kondensatorów czy dławików nawet z pomiarem w trzech fazach przy rozliczaniu algebraicznym również nie daje prawidłowych efektów kompensacji a w wielu przypadkach może doprowadzić do zwiększenia opłat za energię bierną.



Widok i układ połączeń kompensatora hybrydowego

### 3.2.4. Hybrydowe kompensatory z członem indukcyjnym TCR

Automatyczne baterie hybrydowe z członem indukcyjnym TCR składają się kilku członów kondensatorowych oraz dławika z płynną regulacją mocy a także regulatora (najczęściej z pomiarem prądu w trzech fazach) i osprzętu pomocniczego. W zależności od zapotrzebowania na moc bierną regulator automatycznie załącza odpowiednią liczbę członów kondensatorowych i reguluje moc dławika.

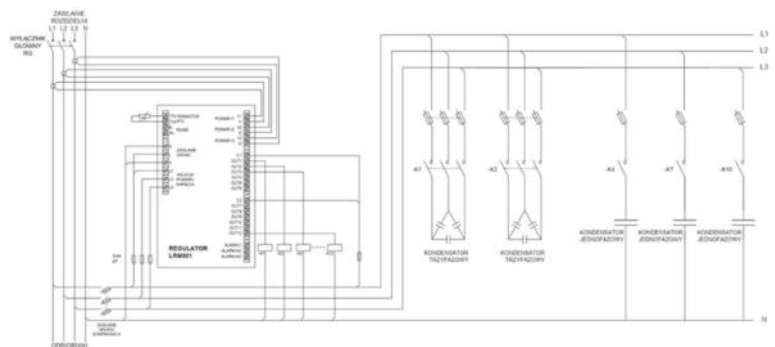


Widok i układ połączeń kompensatora hybrydowego z członem TCR

### 3.2.5. Asymetryczne baterie kondensatorów

Asymetryczne baterie kondensatorów składają się z członów kondensatorowych jednofazowych, regulatora współczynnika mocy (najczęściej z pomiarem prądu w trzech fazach) oraz osprzętu pomocniczego ( styczniki lub łączniki tyrystorowe i zabezpieczenia). Baterie przeznaczone są do pracy w obiektach, gdzie występuje duża asymetria w obciążeniu, dlatego kondensatory załączane są niezależnie w każdej fazie.

Asymetryczne baterie kondensatorów umożliwiają dając lepsze efekty kompensacji mocy biernej indukcyjnej w układach z asymetrią obciążeń przy rozliczaniu algebraicznym, w porównaniu z bateriami trójfazowymi, jednak bateria nie pozwala na skompensowanie energii biernej pojemnościowej (oddanej).

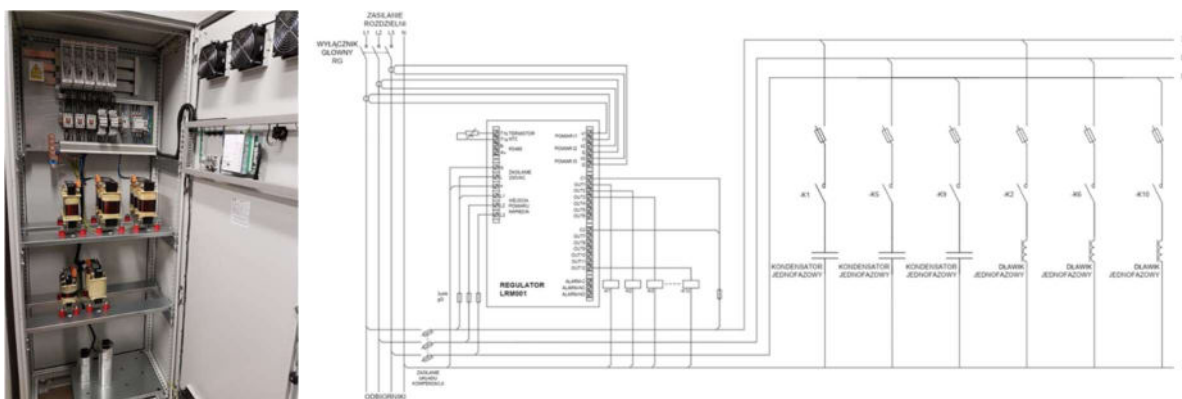


Widok i układ połączeń asymetrycznej baterii kondensatorów

### 3.2.6. Asymetryczne baterie hybrydowe

Asymetryczne baterie hybrydowe składają się z członów kondensatorowych i dławików jednofazowych, regulatora współczynnika mocy (najczęściej z pomiarem prądu w trzech fazach) oraz osprzętu pomocniczego ( styczniki lub łączniki tyrystorowe i zabezpieczenia). Baterie przeznaczone są do pracy w obiektach, gdzie występuje duża asymetria w obciążeniach, dlatego kondensatory i dławiki załączane są niezależnie w każdej fazie.

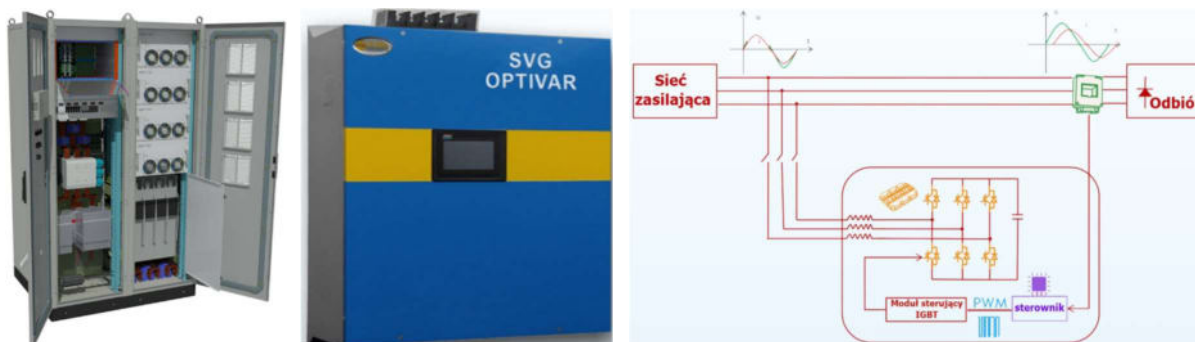
Spośród wszystkich baterii automatycznych asymetryczne baterie hybrydowe dają najlepsze efekty kompensacji mocy biernej, zarówno indukcyjnej jak i pojemnościowej, w układach z asymetrią obciążeń przy rozliczaniu algebraicznym.



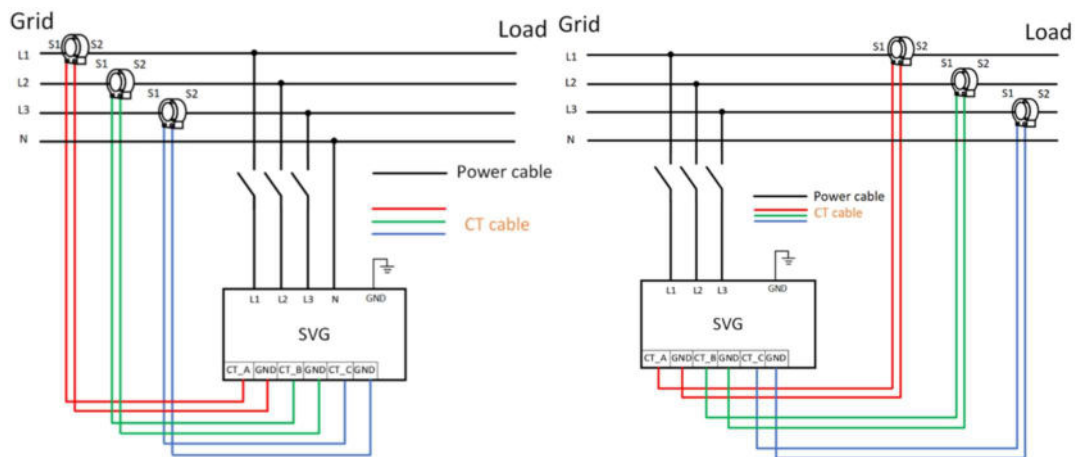
Widok i układ połączeń asymetrycznej baterii hybrydowej

### 3.2.7. Statyczne kompensatory mocy biernej

Bezstopniowe kompensatory statyczne mocy biernej (SVG, STATCOM) zrealizowane są jako falownikowe źródło napięciowe, które może dostarczać zarówno moc bierną pojemnościową jak i indukcyjną. Kompensatory te charakteryzują się płynną kompensacją mocy biernej w całym zakresie mocy oraz możliwością kompensacji dla każdej fazy indywidualnie. Dodatkowo niektóre kompensatory SVG posiadają także funkcję symetryzacji obciążeń.



Widok i układ połączeń statycznych kompensatorów mocy biernej



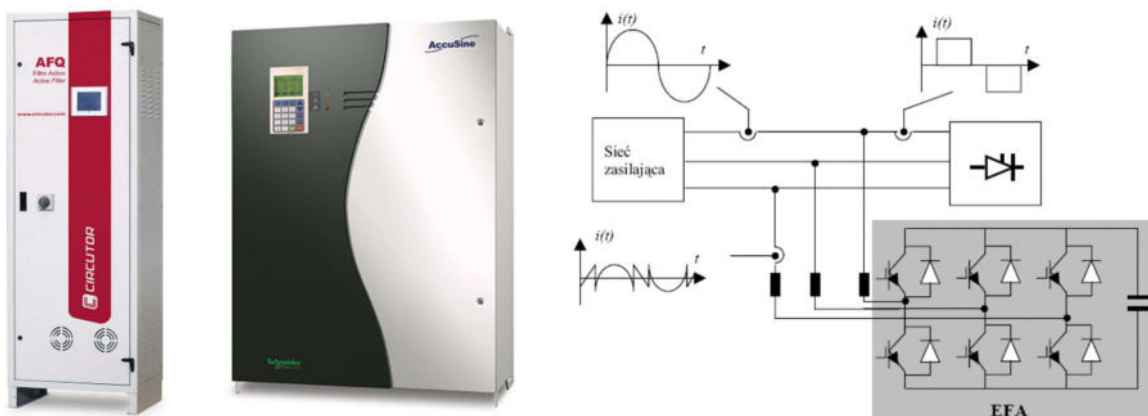
Podłączenie kompensatora w pętli zamkniętej i otwartej

Do wyboru jedna z dostępnych opcji:

- Q - kompensacja mocy biernej,
- Q + B - kompensacja mocy biernej oraz symetryzacja obciążenia,
- Tryb testu - tylko dla serwisu,
- B + Q - symetryzacja obciążenia i kompensacja mocy biernej,
- B - symetryzacja obciążenia,
- Stała wartość Q - ustawienie generacji stałej wartości mocy biernej pojemnościowej lub indukcyjnej

### 3.2.8. Energetyczne filtry aktywne

Energetyczne filtry aktywne (EFA) zrealizowane są jako falownikowe źródło napięciowe, które oprócz kompensacji mocy biernej (pojemnościowej i indukcyjnej), redukuje harmoniczne prądu. Układ energoelektroniczny generuje przebieg czasowy prądu będącego w przeciwfazie względem niepożądanego składowego w prądzie odbiornika. Tym samym sprawia, że w sieci zasilającej płynie prąd czynny (w fazie z napięciem) i sinusoidalny.



Widok i układ połączeń energetycznych filtrów aktywnych