



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI



KATEDRA URZĄDZEŃ
ELEKTRYCZNYCH I
TECHNIKI WYSOKICH
NAPIĘĆ

LABORATORIUM

Urządzenia elektryczne i łączeniowe

Ćwiczenie nr 2

Badanie układów kompensacji mocy biernej

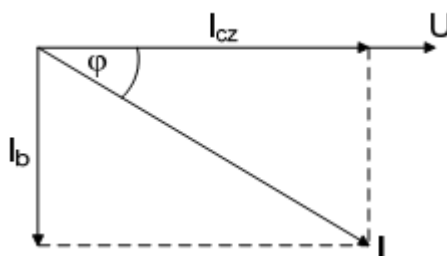
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z ideą stosowania kompensacji mocy biernej, poznanie jej pozytywnych jak i negatywnych skutków a także przybliżenie sposobów kompensacji i urządzeń temu służących.

2. Wprowadzenie

2.1. Moc bierna, czynna i pozorna, współczynnik mocy

W sieciach energetycznych urządzenia elektryczne i odbiorniki pobierają energię elektryczną czynną i bierną. Odpowiadają temu pojęcia składowych czynnej i biernej prądu elektrycznego zgodnie z rysunkiem:



Rys. 2.1 Składowe prądu elektrycznego I_{cz} — prąd czynny, I_b — prąd bierny

Energia elektryczna czynna jest wynikiem przemian energetycznych określonego surowca energetycznego i może być zamieniona w inną postać energii wykorzystywanej w urządzeniu przemysłowym.

Moc czynną pobieraną przez urządzenie z sieci zasilanej napięciem trójfazowym wyraża się wzorem:

$$P = \sqrt{3}UI_{cz} \quad (2.1)$$

Energia elektryczna bierna nie może być zamieniona w inną postać energii oraz użyteczną pracę i występuje wyłącznie w obwodach prądu przemiennego, niemniej jednak jest ona konieczna do funkcjonowania urządzeń elektrycznych (jest potrzebna do wzbudzenia zmiennych pól magnetycznych silników, magnesowania rdzeni transformatorów oraz ładowania pojemności linii przesyłowych napowietrznych i kablowych). Energia bierna przepływa pomiędzy źródłami i odbiorami prądu przemiennego i pobierają ją tylko idealne cewki i kondensatory, a pobór przez inne odbiorniki jest ograniczony (poprawa $\cos\varphi$).

Moc czynną, bierną i pozorną można przedstawić graficznie w postaci trójkąta mocy (rys 2.2). Z trójkąta tego wynika, że $\cos\varphi$ jest stosunkiem mocy czynnej do pozornej.



Rys. 2.2 Trójkąt mocy.

Wyróżnia się:

moc bierną indukcyjną, związaną z elementami indukcyjnymi np. silniki, piece indukcyjne

moc bierną pojemnościową, związaną z kondensatorami lub długimi odcinkami kabli, będących pod napięciem.

Moc bierną wyraża się wzorem:

$$Q = \sqrt{3}UI_B \quad (2.2)$$

Jednostką mocy biernej jest var.

$$[Q] = 1 \text{ var} \quad (2.3)$$

Suma geometryczna mocy czynnej i biernej nosi nazwę mocy pozornej:

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2} = \sqrt{3}UI \quad (2.4)$$

Stosunek mocy czynnej do mocy pozornej nosi nazwę współczynnika mocy:

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad (2.5)$$

Przy zasilaniu napięciem i prądem sinusoidalnym współczynnik mocy równy jest cosinusowi kąta fazowego między prądem a napięciem w danym punkcie sieci i dlatego często jest określany jako tzw. $\cos\varphi$

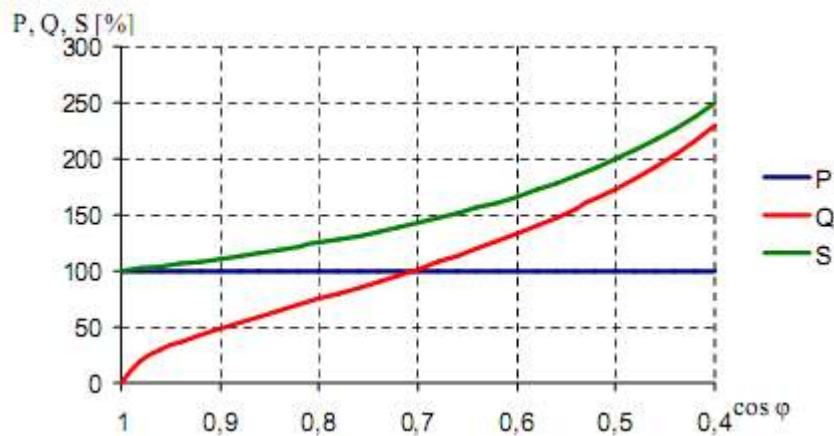
$$\cos\varphi = \lambda \quad (2.6)$$

Współczynnik mocy $\cos \varphi$ jest ogólnie przyjętym wskaźnikiem gospodarki energetycznej i parametrem odbiorników energii elektrycznej, chociaż bardziej przydatny przy bilansowaniu energii jest stosunek mocy biernej i czynnej urządzeń $\tan \varphi$).

$$Q = P * \tan \varphi \quad (2.7)$$

Znamionowy współczynnik mocy $\cos \varphi$ jest to współczynnik mocy odbiornika energii elektrycznej przy znamionowych warunkach pracy. Jest on podawany w katalogach.

Wpływ wartości współczynnika mocy na zmianę mocy biernej i pozornej, przy stałej mocy czynnej, przedstawia wykres:



Rys. 2.3 Zależność poboru mocy biernej i pozornej przy stałym poborze mocy czynnej w zależności od współczynnika mocy

2.2. Kompensacja mocy- wprowadzenie

Kompensacja mocy biernej polega na jej wytworzeniu w miejscu zapotrzebowania. Dzięki temu nie trzeba jej przysyłać od wytwórcy do odbiorcy, powoduje to zmniejszenie natężenia prądu w sieci, a co za tym idzie - zmniejszenie spadku napięcia i straty mocy w liniach przesyłowych. Jednak zmienność obciążenia w ciągu doby może doprowadzić do przekompensowania sieci, dlatego też ważny jest prawidłowy dobór mocy urządzeń kompensacyjnych (np. kondensatorów) do jej zmiennego zapotrzebowania.

Źródłem mocy biernej są przede wszystkim generatory w elektrowniach. Wytwarzanie energii biernej niesie za sobą wiele negatywnych skutków zarówno dla dostawców energii, jak i dla jej odbiorców. Dostawcy energii elektrycznej rekompensują swoje straty poprzez narzucenie odbiorcom energii limitów mocy biernej, których przekroczenie wiąże się z poniesieniem dodatkowych opłat.

W celu poprawy negatywnych skutków udziału mocy biernej stosuje się różne metody jej kompensacji które dzielimy na:

- naturalne metody poprawy współczynnika mocy biernej
 - właściwy dobór mocy silników do mocy urządzenia napędzanego
 - ograniczenie pracy jałowej silników i odbiorników
 - stosowanie przełącznika „trójkąt – gwiazda
 - stosowanie silników zwartych zamiast pierścieniowych a także szybkoobrotowych i unikanie silników wolnoobrotowych
 - zastępowanie dużych silników asynchronicznych silnikami synchronicznymi
 - należyta konserwacja i remonty silników.
 - dobór mocy znamionowych transformatorów odpowiadających przewidywanym obciążeniom oraz wyłączenie transformatorów niedociążonych
 - wymiana trwale nie obciążonych silników na silniki o mniejszej mocy
- metoda poprawy współczynnika mocy za pomocą urządzeń kompensujących (głównie kondensatory i baterie kondensatorów)

Przepływ mocy biernej przez elementy systemu elektroenergetyce powoduje zwiększenie wartości prądów roboczych i tym samym ograniczenie wartości przesyłu mocy czynnej, czego następstwem są:

- zmniejszenie zdolności przesyłowej linii i transformatorów
- zwiększenie strat wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej
- zmniejszenie zdolności produkcyjnej mocy czynnej generatorów a przez co konieczność stosowania urządzeń o większych prądach znamionowych
- zwiększenie spadków napięcia.

Z przedstawionych tutaj względów poprawa współczynnika mocy ma bardzo duże znaczenie.

2.3. Kondensatory do kompensacji mocy

Urządzenia kompensujące w sposób sztuczny moc bierną, wykorzystują efekt wytwarzania mocy biernej przez kondensatory energetyczne. Kondensatory jako urządzenia do kompensacji mocy biernej mają istotne pozytywne cechy, takie jak:

Głównym zadaniem kondensatorów jest poprawa współczynnika mocy w danym punkcie sieci do wartości wymaganej przez dostawcę energii.

Kondensatory energetyczne produkowane jako urządzenia do kompensacji mocy biernej mają wiele pozytywnych cech, można tu wymienić między innymi:

- bardzo małe straty mocy czynnej na wytworzenie 1 kvar mocy biernej (0,003 – 0,005 kW/kvar);
- możliwości tworzenia baterii kondensatorów o dowolnych mocach;
- małe rozmiary a przez co niewielkie zapotrzebowanie na miejsce a także prosty montaż i obsługa.
- możliwość instalowania w dowolnym punkcie sieci i praktycznie przy dowolnym napięciu znamionowym;
- budowa jednostek kondensatorowych o różnych napięciach i mocach znamionowych;

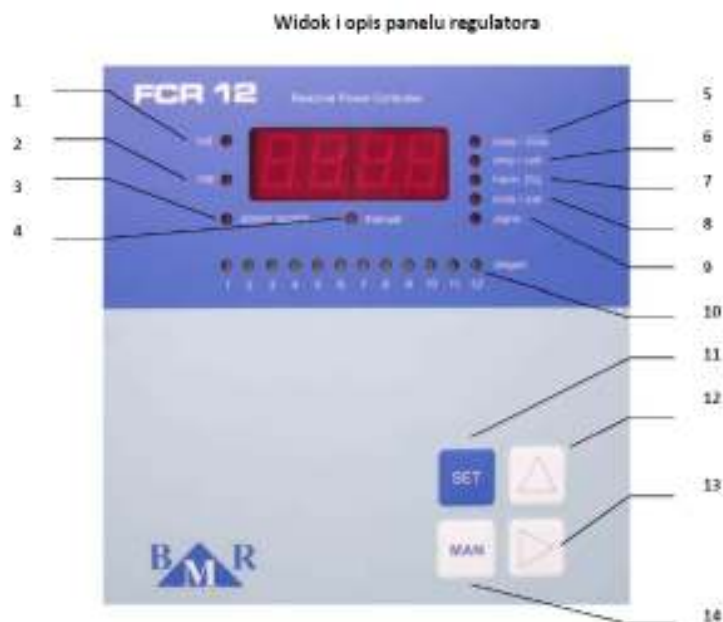
Kondensatory nie są jednak pozbawione właściwości niekorzystnych, do których można zaliczyć:

- niewielkie moce znamionowe jednostek kondensatorowych;
- silną zależność mocy od napięcia;
- możliwość występowania przetężeń i przepięć przy załączaniu baterii oraz występowanie przepięć przy wyłączaniu.
- wrażliwość na występowanie wyższych harmonicznnych w napięciu zasilającym;
- zależność mocy od temperatury i częstotliwości;

3. Opis stanowiska laboratoryjnego

3.1 Regulator FCR-1

Zasada działania regulatora FCR-12 polega na cyklicznym wykonywaniu pomiarów obciążenia sieci mocą bierną i określaniu jej charakteru. Pomiary wykonywane są najczęściej dzięki zastosowaniu układu Arona który mierzy prąd w jednej fazie i napięcie pomiędzy fazą drugą i trzecią. Na podstawie zmierzonych parametrów sieci regulator dokonuje obliczeń i porównuje je z danymi wprowadzonymi przez użytkownika. Następnie jeżeli jest to konieczne dokonuje załączeń odpowiednich kondensatorów w celu przeprowadzenia procesu kompensacji.



Rys.3.1 Panel przedni regulatora FCR-12.

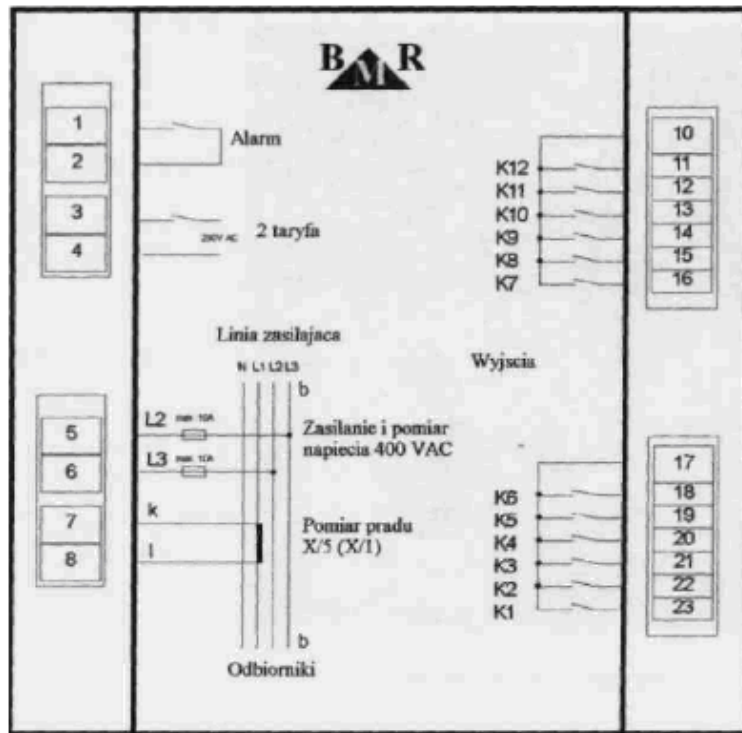
Objaśnienia oznaczeń:

1. LED IND - wskazanie indukcyjnego $\cos \phi$;
2. LED CAP - wskazanie pojemnościowego $\cos \phi$;
3. LED POWER SUPPLY - jest aktywna przy załączonym zasilaniu (aktywna na nastawę COCO –konfiguracja zasilania);
4. LED MANUAL - wskazuje ręczną kontrolę stopni kondensatorowych;
5. LED $\cos \phi$ - świeci podczas wyświetlania mierzonego lub średniego $\cos \phi$;

-
6. LED AMP/VOLT - świeci podczas wyświetlania napięcia lub prądu;
 7. LED HARM. - świeci podczas wyświetlania zniekształceń harmoniczných napięcia lub prądu;
 8. LED kvar/kW - świeci, jeśli na wyświetlaczu jest przedstawiana jakakolwiek moc;
 9. LED ALARM - błyska podczas alarmu;
 10. LED STAGES - wyświetlanie stanów pojedynczych stopni;
 11. Przycisk potwierdzenia nastaw;
 12. Przycisk przesunięcia do przodu ▲;
 13. Przycisk przesunięcia do tyłu ►;
 14. Przycisk trybu ręcznego załączania stopni.

Regulator, poza współczynnikiem mocy biernej, mierzy i wyświetla następujące wielkości:

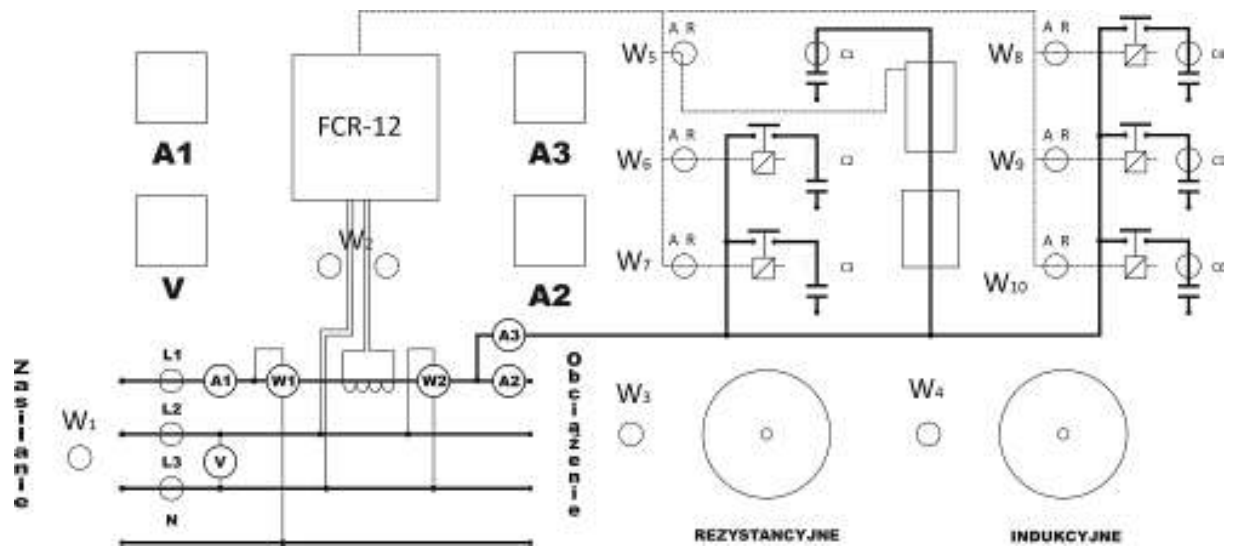
- napięcia między mierzonymi fazami;
- prąd w trzeciej fazie;
- częstotliwość napięcia sieciowego;
- moc bierną;
- nieparzyste harmoniczne prądu (1. -19.) w %;
- współczynnik harmonicznego odkształcenia prądu THDI;
- nieparzyste harmoniczne napięcia (1.-19.) w %;
- współczynnik harmonicznego odkształcenia napięcia THDU;
- liczbę załączonych indywidualnych stopni.



Rys.3.2. Regulator FCR-12 Panel tylny

W stanowisku pomiarowym wykorzystywanych jest 6 jednostek kondensatorowych podłączonych do wejść K1-K6. Zasilanie regulatora jest podłączone dokładnie jak na zdjęciu (Rys3.2.).

3.2. Schemat układu



Oznaczenie przycisków:

W₁ - wyłącznik zasilania

W₂ - wyłącznik zasilania regulatora FCR-12

W₃ - wyłącznik obciążenia rezystancyjnego

W₄ - wyłącznik obciążenia indukcyjnego

W₅ :- W₁₀ - wybór rodzaju pracy kondensatorów A- praca automatyczna (za pomocą regulatora mocy), R- praca ręczna.

Pomiar:

V - pomiar napięcia międzyfazowego L2-L3

A₁ - pomiar natężenia prądu sieci w fazie pierwszej

A₂ - pomiar natężenia prądu w gałęzi z indukcyjnością

A₃ - pomiar natężenia prądu w gałęzi z pojemnością

W₁ - pomiar mocy czynnej

W₂ - pomiar mocy biernej indukcyjnej

W układzie rozróżniamy dwa tryby pracy:

Wyłączniki $W_5 \div W_{10}$ w pozycji „A” – praca w trybie automatycznym
(praca regulatora FCR)

Wyłączniki $W_5 \div W_{10}$ w pozycji „R” – praca w trybie ręcznym

Stopnie kondensatorowe zastosowane w układzie:

$C1 = 16\mu\text{F } 420\text{V}$

$C2 = 10\mu\text{F } 500\text{V}$

$C3 = 13\mu\text{F } 500\text{V}$

$C4 = 7,5\mu\text{F } 450\text{V}$

$C5 = 6\mu\text{F } 475\text{V}$

$C6 = 3\mu\text{F } 475$

4. Sposób przeprowadzenia pomiarów

4.1. Wyznaczanie charakterystycznych wielkości układu odbiorczego bez kompensacji i z częściową kompensacją mocy dla stałej wartości obciążenia mocą bierną indukcyjną

Zadaniem pomiarów w tym punkcie jest wyznaczenie napięć, prądów oraz mocy czynnej, biernej i pozornej pobieranej przez układ odbiorczy o stałym obciążeniu bez stosowania kompensacji oraz z kompensacją mocy biernej.

Wyłączniki $W_5 \div W_{10}$ ustawić w pozycji „0” (wyłączony, pomiędzy „A” i „R”). Następnie należy zasilić układ wyłącznikiem W_1 , a także zasilić regulator FCR-12 wyłącznikiem W_2 (w tym punkcie ćwiczenia potrzebny tylko do odczytania współczynnika mocy i porównania jego wartości z wartością obliczoną).

Do układu za pośrednictwem autotransformatora należy podłączyć odbiornik rezystancyjny (pobierający moc czynną) wyłącznikiem W_3 , a następnie obciążyć układ tak, aby wartość prądu pobieranego z sieci (wskazania amperomierza A_1) była równa 0,5A (współczynnik mocy około 0,99). Kolejnym krokiem jest włączenie odbiornika indukcyjnego (pobierającego moc bierną indukcyjną) wyłącznikiem W_4 .

Regulując obciążenie indukcyjne ustawić natężenie prądu w gałęzi z amperomierzem A_2 do wartości 3,5A. Dla tak ustalonego obciążenia należy odczytać i zanotować w tabeli 1. Wskazania mierników ($W_1, W_2, A_1, A_2, A_3, V$, oraz wartość $\cos \varphi$ z regulatora mocy).

Następnie załączać kondensatory $C_1 \div C_6$ przestawiając kolejno wyłączniki $W_5 \div W_{10}$ na pozycję „R”. Po dołączeniu każdego kolejnego kondensatora należy odczytać wskazania mierników oraz $\cos \varphi$. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawiamy w tabeli 1. Po skończonym pomiarze zmniejszyć obciążenie do zera a następnie wyłączyć W_3 i W_4 .

Zaobserwować zjawisko odchylenia się wskazówki watomierza W_2 w przeciwną stronę przy pełnym obciążeniu układu mocą bierną pojemnościową a także zaobserwować charakter obciążenia wyświetlany na sterowniku (diody „ind”, „cap”), wnioski zawrzeć w sprawozdaniu.

W sprawozdaniu należy również ocenić jaka łączna pojemność kondensatorów była optymalna do skompensowania zadanej mocy biernej indukcyjnej.

Tabela 1. Wyznaczanie charakterystycznych wielkości układu odbiorczego bez kompensacji i z częściową kompensacją mocy biernej dla stałej wartości obciążenia indukcyjnego.

Lp.	Pomiar								Obliczenia						
	U_s	I_1	I_2	I_3	P'	Q'_1	Q'_2	$\cos \varphi$	I_0	S	P	Q_1	Q_2	Q_C	$\cos \varphi$
	V	A	A	A	W	var	var	-	A	VA	W	var	var	var	-
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															

4.2. Wyznaczanie charakterystycznych wielkości układu odbiorczego bez kompensacji i z częściową kompensacją mocy dla zmiennej wartości obciążenia mocą bierną indukcyjną

Wyłączniki $W_5 \div W_{10}$ ustawić w pozycji „0” (wyłączony, pomiędzy „A” i „R”). Następnie należy zasilić układ wyłącznikiem W_1 , a także zasilić regulator FCR-12 wyłącznikiem W_2 (potrzebny tylko do odczytania współczynnika mocy i porównania jego wartości z wartością obliczoną).

Do układu za pośrednictwem autotransformatora należy podłączyć odbiornik indukcyjny wyłącznikiem W_4 . Załączyć obciążenie rezystancyjne wyłącznikiem W_3 , a następnie obciążyć układ tak, aby wartość prądu pobieranego z sieci (wskazania amperomierza A_1) była równa 0,5A.

Regulując obciążenie indukcyjne ustawić wskazanie watomierza W_2 na wartości 200W. Dla tak ustalonego obciążenia należy dokonać kompensacji mocy biernej za pomocą odpowiednio dobranych stopni kondensatorowych $C_1 \div C_6$ (należy zwracać uwagę na kierunek wychylania się wskazówki watomierza W_2). Przy prawidłowej kompensacji wskazówka watomierza powinna wskazać wartość „0”. Czynność tą wykonać dla wartości mocy od 200W do 1600W z krokiem co 200W, przy każdym pomiarze zapisać wyniki bez kompensacji i z kompensacją.

Podczas pomiarów należy odczytać i zanotować w tabeli 2 wskazania mierników (W_1 , W_2 , A_1 , A_2 , A_3 , V , oraz wartość $\cos \varphi$ z regulatora mocy) bez kompensacji oraz przy pełnej kompensacji a także obliczyć wartość pojemności potrzebną do skompensowania poszczególnych mocy. Po skończonym pomiarze zmniejszyć obciążenie do zera a następnie wyłączyć W_3 i W_4 .

Tabela 2. Wyznaczanie charakterystycznych wielkości układu odbiorczego bez kompensacji i z częściową kompensacją mocy biernej dla zmiennej wartości obciążenia indukcyjnego

Lp.	Pomiar								Obliczenia						
	U	I ₁	I ₂	I ₃	P'	Q' ₁	Q'	cos	I ₀	S	P	Q ₁	Q ₂	Q _C	cos
	V	A	A	A	W	var	var	-	A	VA	W	va	va	va	-
1						200									
komp.															
2						400									
komp.															
3						600									
komp.															
4						800									
komp.															
5						1000									
komp.															
6						1200									
komp.															
7						1400									
komp.															
8						1600									
komp.															

Oznaczenia:

U_s – napięcie międzyfazowe sieci zasilającej (wskazanie woltomierza V)

I_1 – prąd pobierany z sieci (wskazania amperomierza A_1)

I_2 – prąd obciążenia (wskazania amperomierza A_2)

I_3 – prąd baterii kondensatorów (wskazania amperomierza A_3)

P' – wskazania watomierza W_1

Q'_1 – wskazania watomierza W_2 bez kompensacji (otwarte wyłączniki W_5 - W_{10})

Q'_2 – wskazania watomierza W_2 z kompensacją (zamknięte wyłączniki W_5 - W_{10})

I_0 – prąd pobierany przez odbiorniki

S – moc pozorna układu

$$S = \sqrt{3} U_s I_1 \quad (4.1)$$

P – moc czynna pobierana przez układ

$$P = 3 * P' \quad (4.2)$$

Q_1 – moc bierna układu bez kompensacji

$$Q_1 = \sqrt{3} Q'_1 \quad (4.3)$$

Q_2 – moc bierna układu przy częściowej kompensacji

$$Q_2 = \sqrt{3} * Q'_2 \quad (4.4)$$

Q_C – moc bierna baterii kondensatorów

$$Q_C = \sqrt{3} U_s * I_3 \quad (4.5)$$

$\cos \varphi$ – współczynnik mocy układu

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (4.6)$$

$\operatorname{tg} \varphi$ - stosunek mocy biernej i czynnej

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (4.7)$$

4.3. Programowanie regulatora FCR 12

Po włączeniu regulatora wyłącznikiem W₂, na wyświetlaczu powinna się pojawić wartość współczynnika mocy lub znak „----”. Teraz, aby przeprowadzić wstępne programowanie regulatora, należy postępować zgodnie z punktami 1 ÷ 7:

1. Przytrzymać klawisz SET w stanie wciśniętym przez co najmniej 8 sekund. Na wyświetlaczu pojawi się „COS1”.
2. Po powtórnym naciśnięciu klawisza SET na wyświetlaczu ukaze się zaprogramowana wartość $\cos \varphi$. Za pomocą klawiszy [▲] lub [▶] ustawić zadaną przez Prowadzącego wartość $\cos \varphi$.
3. Klawiszem SET potwierdzić wprowadzoną wartość. Na wyświetlaczu znowu pojawi się „COS1”.
4. Następnie można skontrolować zapisane w pamięci regulatora pojemności poszczególnych stopni. Przyciskać klawisz [▲] tyle razy, aż pojawi się na wyświetlaczu „ST_P”. Nacisnąć SET, zaświeci się dioda 1 (pierwszy stopień) w linii LED STAGES. Po ponownym naciśnięciu SET na wyświetlaczu pojawi się moc bierna 1 stopnia [kvar]. W przypadku stopni kondensatorowych powinna świecić się dioda LED CAP (na lewo od wyświetlacza).
5. Następnie przycisnąć SET i na wyświetlaczu znowu pojawi się „ST_P”. Naciskając [▲] przejść do następnego stopnia, w linii LED STAGES zaświeci się dioda drugiego stopnia. Dalej postępować identycznie aż do zanotowania mocy biernej wszystkich sześciu stopni. Po zakończeniu nacisnąć SET tyle razy, aż na wyświetlaczu pojawi się wartość współczynnika mocy biernej. Wartości mocy biernej poszczególnych stopni wpisać do tabeli 1.
6. Wyjście z trybu ustawiania parametrów następuje samoczynnie po jednoczynowej „bezczynności” klawiatury, albo po naciśnięciu SET zaraz po potwierdzeniu nastawy dowolnego parametru.
7. Wyświetlacz wskazuje chwilową wartość skuteczną współczynnika $\cos \varphi$. Regulator jest przygotowany do pracy.

INNYCH WARTOŚCI NIE NALEŻY REGULOWAĆ!!

Tabela 3. Wyniki odczytów

Stopień	1	2	3	4	5	6
Q_{cx} , [kVar]						

Wybór wielkości, która ma być pokazywana na wyświetlaczu, jest całkowicie niezależny od pracy regulatora. Świecenie jednej z diod, umieszczonych po prawej stronie wyświetlacza, wskazuje, która z wielkości jest aktualnie wyświetlana. Wyświetlane wielkości są podzielone na 18 poziomów. Do przechodzenia pomiędzy poziomami służy klawisz [▲], natomiast do przełączania wyświetlanych wielkości w ramach jednego poziomu służy klawisz [▶]. Powracamy do wyświetlania cos przyciskiem SET.

Tabela 4. Parametry programowalne

Skrót nazwy parametru	Określenie	Nastawa fabryczna	Zakres zmian
COS1	Zadany $\cos \varphi$	ind 0,98	od kap 0,30 do ind 0,80, w krokach po 0,01
COS2	Zadany $\cos \varphi$ przy 2 taryfie(*)	ind 0,90	od kap 0,80 do ind 0,80, w krokach po 0,01
I_tr	Przełożenie przekładnika prądowego	1	od 1 do 6000, w krokach po 1
U_tr	Przełożenie przekładnika napięciowego(*)	1	od 1 do 300, w krokach po 1
AUTO	Autodetekcja stopni kompensacyjnych	off	on/off
Shsd	Szybkość regulacji przy nadkompensacji	60	od 0 - 9999s, w krokach po 1 s, zalecana wartość 60
ST_P	Ręczna nastawa lub korekta stopni kompensacyjnych	0	Od 999,9kVAr kap. do 999,9 kVAr ind., w krokach po 0,1
DITI	Czas rozładowania stopnia stycznikowego	60	od 5 do 900s, w krokach po 5s
DIPA	Opóźnienie odłączenia stopnia stycznikowego	15	od 5 do 900s, w krokach po 5 s
RSST	Ilość przelazów stopnia stycznikowego(*)	99,99x1000	
FiST	Blokada stopni	auto	on/off/auto
COCO	Konfiguracja zasilania(*)	0	od 0° do 300°, w krokach po 60°
H03T	Poziom 3. harmonicznej napięcia	4	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H05T	Poziom 5. harmonicznej napięcia	5	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H07T	Poziom 7. harmonicznej napięcia	4	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H09T	Poziom 9. harmonicznej napięcia	1,2	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H11T	Poziom 11. harmonicznej napięcia	3	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H13T	Poziom 13. harmonicznej napięcia	2,1	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H15T	Poziom 15. harmonicznej napięcia	1,2	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H17T	Poziom 17. harmonicznej napięcia	1,5	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
H19T	Poziom 19. harmonicznej napięcia	1,2	od 0 do 20 %, w krokach po 0,1 %
THDI	Całkowite harmoniczne odkształcenie prądu	1,3	od 1 do 3, w krokach po 0,05
ULAL	Alarm podczas „podnapięcia”	off	on/off
UHAL	Alarm podczas „nadmapięcia”	off	on/off
ILAL	Alarm przy spadku sygnału mierzonego poniżej czułości regulatora	off	on/off
IHAL	Alarm przy przekroczeniu prądu	off	on/off
COAL	Alarm przy $\cos \varphi$ wykraczającym trwale poza zadaną wartość	off	on/off
HTAL	Alarm przy odkształceniu harmonicznym U, I	off	on/off
OTAL	Alarm przy wysokiej temperaturze wewnątrz regulatora	off	on/off
RSAL	Alarm przy przekroczeniu zadanej maksymalnej liczby łazców	off	on/off
iCOS	Regulacja „na średni współczynnik”	on	on/off
CODE	Hasło dostępu do trybu ustawień(*)	0	dowolna czterocyfrowa liczba 0000-9999
RES	Reset – powrót do ustawień fabrycznych(*)		

4.4. Automatyczna kompensacja mocy biernej w układzie o zmiennym obciążeniu

W tym punkcie należy przeprowadzić obserwacje i pomiary układu samoczynnej kompensacji mocy biernej przy zastosowaniu regulatora FCR-12.

Wyłączniki W_5 - W_{10} ustawić w pozycji „A”(praca automatyczna). Zamknąć kolejno wyłączniki W_1 , W_2 , a następnie obciążyć rezystancją badany układ tak, aby wartość prądu pobieranego z sieci (wskazania amperomierza A_1) była równa 0,5A (współczynnik mocy około 0,99). Następnie układ obciążyć mocą indukcyjną, pokrętle autotransformatora należy regulować stopniowo, wówczas widoczny będzie spadek współczynnika mocy. Przy każdym przełączeniu stopni należy zapisać wskazania mierników i wartość $\cos \varphi$. Załączenie poszczególnych stopni baterii kondensatorów sygnalizowane jest zaświeceniem odpowiednich diod LED na obudowie regulatora w szeregu „stages” oraz lampek na tablicy. Pomiar należy przeprowadzać aż do takich ustawień, przy których będą włączone wszystkie człony kompensacyjne, a wartość współczynnika mocy będzie znacznie odbiegać od zadanej. Następnie wyłączyć obciążenie i ustawić drugą wartość współczynnika mocy(zadaną przez prowadzącego) i powtórzyć powyższe ćwiczenie. W tym momencie można sprawdzić działanie alarmu „COAL” (należy jednak tu nadmienić iż alarm ten zostanie wyzwolony, jeśli nie będzie można osiągnąć zadanej wartości współczynnika $\cos \varphi$ przez 15 minut).

Jednocześnie z prowadzonymi pomiarami wielkości elektrycznych, należy zwrócić uwagę na czas pracy regulatora od zmiany charakteru obciążenia do pełnej kompensacji.

Wyniki pomiarów należy zapisać w tabeli 5.

Tabela 5. Tabela wyników dla pomiarów w układzie samoczynnej kompensacji mocy biernej

$\cos\varphi_{\text{nast.}} =$														
Lp.	Pomiary								Obliczenia					
	U_s	I_1	I_2	I_3	P'	Q'_1	Q'_2	cos	I_0	S	P	Q_1	Q_2	Q_C
	V	A	A	A	W	var	var	-	A	VA	W	var	var	var
1														
2														
...														
$\cos\varphi_{\text{nast.}} =$														
Lp.	Pomiary								Obliczenia					
	U_s	I_1	I_2	I_3	P'	Q'_1	Q'_2	cos	I_0	S	P	Q_1	Q_2	Q_C
	V	A	A	A	W	var	var	-	A	VA	W	var	var	var
1														
2														
...														

5. Opracowanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy:

- wykonać obliczenia w tabeli 1;
- narysować wykresy wskazowe mocy oraz prądów i napięć ilustrujące wpływ włączenia stałego stopnia baterii kondensatorów (punkt 3.1.);
- wykonać obliczenia w tabeli 2;
- narysować charakterystyki $\cos w = f(I_r)$ i $\cos z = f(I_r)$ i wyjaśnić przebieg wyznaczonych charakterystyk;
- wykonać obliczenia w tabeli 3;
- dokonać oceny (podać wady i zalety) samoczynnej kompensacji mocy biernej przy zastosowaniu regulatora FCR-12;
- uzasadnić słuszność stosowania nowoczesnych rozwiązań w kompensacji mocy biernej.

6. Literatura

- [1] Barchwie P., Dąbrowski K.: *Zagrajmy w kompensację*. Elektroinstalator 05-1997.
- [2] Dąbrowski K.: *Jak sobie radzić z kompensacją na nn*. Elektroinstalator 11-1997.
- [3] Dąbrowski K.: *Kompensacja mocy biernej*. Elektroinstalator 07-1997
- [4] Koziej E.: *Elektrotechnika ogólna*. PWN. Warszawa 1971.
- [5] Morandi G., Dąbrowski K.: *Jakość i niezawodność na miarę XXI wieku*. Elektroinstalator 06-1997.
- [6] Regulator mocy biernej FCR-12 instrukcja obsługi.
- [7] Strojny J.: *Kondensatory w sieci zakładu przemysłowego*. WN6T. Warszawa 1976.
- [8] Strojny J., Strzałka J.: *Projektowanie urządzeń elektroenergetycznych*. AGH Kraków 1980.
- [9] Sulkowski M.: *Kompensacja mocy biernej – cel oraz skutki nieprawidłowego doboru urządzeń*. Politechnika Białostocka.
- [10] Walędzik T.: *Kondensatory energetyczne niskich i średnich napięć*. ELMA Olsztyn.