

Zabezpieczenia i Automatyka Elektroenergetyczna



Badanie przekaźnika częstotliwościowego i układu samoczynnego częstotliwościowego odciążenia (SCO)

Zawartość

1. Wiadomości wstępne	3
1.1. Przyczyny i skutki zmian częstotliwości w systemie elektroenergetycznym.....	3
1.2. Charakterystyki częstotliwościowe czynnomocowe systemu elektroenergetycznego	4
1.3. Samoczynne częstotliwościowe odciążanie	7
1.3.1. Wymagania stawiane urządzeniom SCO	7
1.3.2. Wybór liczby stopni SCO.....	8
1.3.3. Moce wyłączane przez poszczególne stopnie SCO	9
1.3.4. Budowa i stosowane rozwiązania układów SCO	10
1.4. SPZ po SCO.....	11
1.5. Opis stanowiska laboratoryjnego	13
1.6. Działanie zamodelowanego układu SCO oraz SPZ po SCO	14
2. Przebieg ćwiczenia	15
2.1. Sprawdzenie wartości rozruchowych i powrotowych przekaźnika .	15
2.2. Przygotowanie układu SCO do pracy	17
2.3. Sprawdzenie działania układu SCO przy obniżaniu się częstotliwości.....	17
2.4. Sprawdzenie działania układu SPZ przy wzroście częstotliwości...	17
2.5. Sprawdzenie działania automatyki SPZ po SCO	18
3. Pytania i zagadnienia	19

1. Wiadomości wstępne

1.1. *Przyczyny i skutki zmian częstotliwości w systemie elektroenergetycznym*

W stanie ustalonym systemu elektroenergetycznego moc czynna oddawana przez elektrownie jest równa sumie mocy czynnej pobieranej przez odbiorców oraz mocy traconej na przesył i transformację. Niekiedy występuje deficyt mocy czynnej spowodowany: wypadnięciem z pracy generatorów, wydzieleniem się części systemu, której moc pobierana jest większa niż wytwarzana, zwarciami w linii przesyłowej. Deficyt ten może być pokryty przez wykorzystanie rezerw tkwiących w systemie. Jeżeli rezerwy okażą się niewystarczające, zmniejsza się częstotliwość w systemie. Odbiorcy otrzymują energię elektryczną o gorszej jakości.

Moc odbiorników oświetleniowych i niektórych grzejnych nie zależy od częstotliwości. Moc silników napędzających obrabiarki, młyny kulowe, pompy i sprężarki tłokowe jest proporcjonalna do pierwszej potęgi częstotliwości, a moc silników napędzających wentylatory i pompy odśrodkowe w przybliżeniu do trzeciej potęgi częstotliwości.

Przy obniżeniu częstotliwości wydajność urządzeń napędowych potrzeb własnych elektrowni, pomp i wentylatorów, znacznie maleje, co powoduje zmniejszenie mocy dyspozycyjnej elektrowni i wzrost deficytu mocy w systemie. Zmniejszeniu częstotliwości do (44 ÷ 45) Hz towarzyszy dodatkowo nadmierne obniżenie się napięcia. Moment synchroniczny, proporcjonalny do jego kwadratu, gwałtownie maleje i generatory wypadają z synchronizmu.

Czas obniżenia się częstotliwości do niebezpiecznie niskiego poziomu może być tak krótki, że dyspozycja mocy nie zdąży interweniować. Aby zapobiec poważnym zakłóceniom w pracy systemu elektroenergetycznego, stosuje się automatykę samoczynnego

częstotliwościowego odciążania (SCO). Urządzenia te, w przypadku zmniejszenia się częstotliwości, wyłączają grupy mniej ważnych odbiorców na czas potrzebny do przywrócenia normalnej pracy systemu elektroenergetycznego. Zwiększa to szanse utrzymania w ruchu odbiorców wymagających ciągłego zasilania.

1.2. Charakterystyki częstotliwościowe czynnomocowe systemu elektroenergetycznego

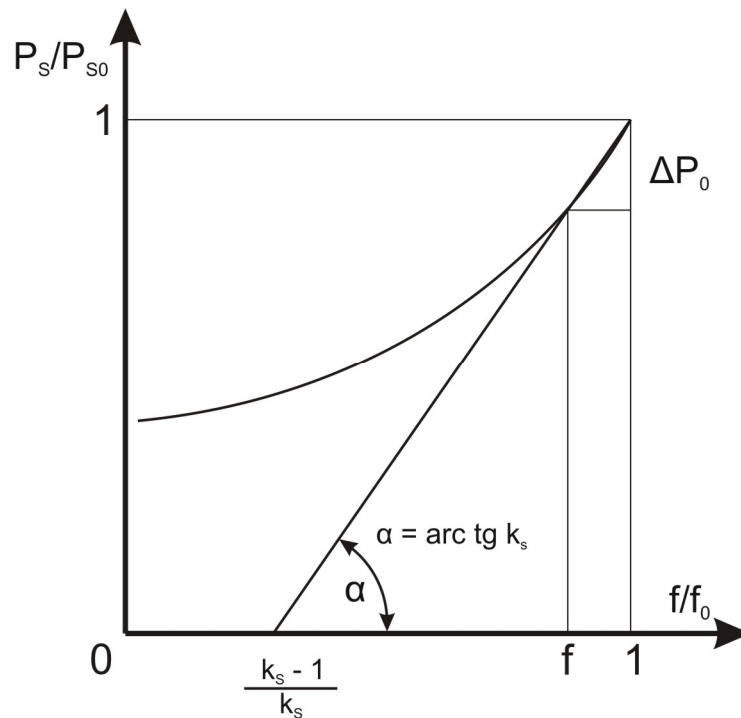
Prawidłowe ustalenie warunków pracy systemu elektroenergetycznego wymaga znajomości charakterystyk częstotliwościowych systemu elektroenergetycznego.

Moc czynna odbiorów zależy w różnym stopniu od częstotliwości. Sumaryczną moc czynną, pobieraną przez sieć zasilającą odbiory, można wyrazić jako funkcję częstotliwości, przy założeniu stałości wartości napięcia:

$$P_s = P_{s0} \left(a_0 + a_1 \frac{f}{f_0} + a_2 \frac{f^2}{f_0^2} + \dots + a_n \frac{f^n}{f_0^n} \right)$$

gdzie: f_0 - częstotliwość początkowa, odpowiadająca mocy początkowej P_{s0} , a_0, a_1, \dots, a_n - współczynniki, których suma wynosi 1.

Zależność $P_s = F(f)_{U=\text{const}}$ nosi nazwę charakterystyki częstotliwościowej czynnomocowej statycznej.



Rys. 1. Zależność mocy pobieranej od częstotliwości, w jednostkach względnych

W przypadku niezbyt wielkich zmian częstotliwości, w zakresie (45 ÷ 52) Hz, można przyjąć, że zależność mocy pobieranej od częstotliwości ma charakter liniowy i może być jednoznacznie określona przez styczną do krzywej $P_s = F(f)$, poprowadzoną przez punkt o współrzędnych (1,1).

Równanie tej stycznej można zapisać w postaci:

$$\frac{P_s}{P_{s0}} = \left(1 - k_s \frac{f_0 - f}{f_0}\right)$$

gdzie: k_s - parametr charakteryzujący nachylenie tej stycznej do osi odciętych,

$$k_s = a_1 + 2a_2 + 3a_3 + \dots + na_n$$

Jak widać z przebiegu charakterystyki podanej na rys. 1 moc P_s pobierana przez sieć maleje wraz ze zmniejszaniem się częstotliwości. Wobec tego, że zmniejszenie się częstotliwości jest spowodowane deficytem mocy

czynnej wytwarzanej, moc P_s niejako dostosowuje się, likwidując częściowo deficyt mocy. Styczna opisana równaniem przecina oś odciętych w punkcie odpowiadającym częstotliwości względnej:

$$\frac{f_s}{f_0} = \frac{k_s - 1}{k_s}$$

Położenie tego punktu na osi f/f_0 zależy wyłącznie od wartości parametru k_s , która zależy od charakteru odbiorów i waha się w przedziale $(1,4 \div 1,6)$.

Moc czynna oddawana przez generatory synchroniczne do systemu elektroenergetycznego, w różny sposób zależy od częstotliwości. Jeżeli generatory pracują przy częstotliwości roboczej w warunkach niedociążenia, to nieznaczne nawet zmniejszenie się częstotliwości, narzucone z zewnątrz przez system elektroenergetyczny, spowoduje dociążenie tych generatorów rezerwą wirującą wskutek działania regulatorów obciążenia. Dalsze zmniejszenie się częstotliwości nie może spowodować już wzrostu mocy oddawanej.

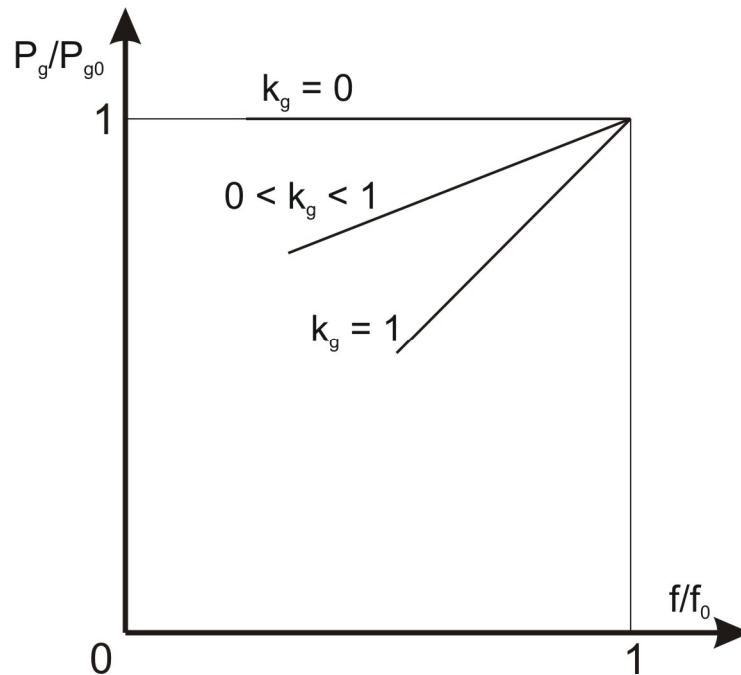
Charakterystykę częstotliwościową statyczną mocy czynnej generowanej $P_g = F(f)$, dla niewielkich zmian częstotliwości można również uważać jako liniową (rys. 2), opisaną wzorem:

$$\frac{P_g}{P_{g0}} = \left(1 - k_g \frac{f_0 - f}{f_0}\right)$$

gdzie: P_{g0} - maksymalna moc czynna wytwarzana przy częstotliwości f_0 ,
 P_g - moc czynna wytwarzana przy częstotliwości f ,
 k_g - współczynnik mocy wytwarzanej, określający nachylenie charakterystyki $P_g = F(f)$ względem osi odciętych.

Jeśli założyć, że moc wytwarzana w generatorach synchronicznych jest proporcjonalna do częstotliwości, to współczynnik $k_g = 1$. Jeżeli natomiast założyć, że moc ta jest stała, to współczynnik $k_g = 0$. Zazwyczaj

przyjmuje się wartość pośrednią $0 < k_g < 1$.



Rys. 2. Zależność mocy wytwarzanej przez generatory synchroniczne P_g od częstotliwości, wyrażona w wartościach względnych odniesionych do mocy wytwarzanej P_{g0} , przy częstotliwości początkowej f_0 .

1.3. Samoczynne częstotliwościowe odciążanie

1.3.1. Wymagania stawiane urządzeniom SCO

Przed urządzeniami do SCO stawiane są pewne ogólne wymagania, które mają na celu zapewnienie prawidłowego i niezawodnego ich działania:

1. Zadziałanie urządzeń do SCO powinno następować po wyczerpaniu się mocy tkwiącej w rezerwie wirującej systemu elektroenergetycznego, a więc przy częstotliwości poniżej $(48,5 \div 49)$ Hz.
2. Czas działania urządzeń SCO powinien być dłuższy od czasu reagowania regulatorów obciążenia na spadek częstotliwości, natomiast krótszy od czasu, po upływie którego przewiduje się odcięcie elektrowni od szyn zbiorczych, w celu zapobieżenia wypadnięciu z pracy urządzeń

potrzeb własnych.

3. Moce wyłączane winny być możliwie duże, ale nie może dojść do wzrostu częstotliwości ponad wartość znamionową.

4. Moce podlegające wyłączaniu w poszczególnych stopniach częstotliwości oraz czasy zadziałania SCO powinny być wybrane w taki sposób, aby zapobiec zmniejszeniu się częstotliwości poniżej 46 Hz.

5. Działanie urządzeń SCO powinno być uzgodnione z działaniem innych urządzeń automatyki zabezpieczeniowej. W szczególności wyłączenie odbiorów przez rządenia SCO nie powinno powodować zadziałania urządzeń SPZ lub SZR. Nie dotyczy to urządzeń częstotliwościowego SPZ.

6. Urządzenie SCO powinno być zablokowane w przypadku, gdy częstotliwość zmniejszyła się, po oddzieleniu się jakiegokolwiek urządzenia odbiorczego od źródła zasilającego, po którym występuje udar obciążenia mocą czynną spowodowany zadziałaniem urządzenia SPZ lub SZR.

7. Urządzenia SCO nie powinny działać w przypadkach kołysań mocy synchronicznych lub asynchronicznych.

8. Urządzenia SCO nie powinny działać przy znacznym obniżeniu się napięcia.

1.3.2. Wybór liczby stopni SCO

Wskazane jest stosowanie możliwie dużej liczby stopni SCO, rzędu $4 \div 5$. Dzięki temu przy zadanym zakresie częstotliwości, w którym przewiduje się działanie urządzeń SCO, uzyskuje się możliwie dużą wartość ogólnej mocy podlegającej łączeniu. Jeśli natomiast założona jest ogólna wartość mocy przewidzianej do wyłączania, uzyskuje się minimum zakresu częstotliwości, objętego działaniem SCO. Górną granicę liczby stopni SCO stanowi dokładność przełączników częstotliwościowych. Odległość między dwoma sąsiednimi stopniami rozruchowymi Δf_r powinna

wynosić co najmniej:

$$\Delta f_r = 2\Delta f_\delta + \Delta f_b$$

gdzie: $2\Delta f_\delta$ - błąd przekładników częstotliwościowych,

Δf_b - zmniejszenie się częstotliwości, które może wystąpić w czasie odpowiadającym czasowi własnemu urządzenia SCO (ok. 0,15s).

Liczba stopni SCO powinna spełniać warunek:

$$n \leq \frac{f_1 - f_n}{\Delta f_r} + 1$$

gdzie: f_1 - częstotliwość rozruchowa odpowiadająca I stopniowi SCO,

f_n - częstotliwość rozruchowa ostatniego stopnia SCO.

Częstotliwość rozruchową przyjmuje się możliwie dużą jednak mniejszą niż granica, odpowiadająca normalnej pracy systemu (ok. 48,5 ÷ 49 Hz), a częstotliwość rozruchową f_n ostatniego stopnia większą niż częstotliwość, przy której następuje wypadanie z pracy urządzeń potrzeb własnych w elektrowniach.

1.3.3. Moce wyłączane przez poszczególne stopnie SCO

Odbiory przewidziane do wyłączeń poprzez SCO są zgrupowane według ważności i wyłączane w ustalonej kolejności przez odpowiednie stopnie SCO. Wartości mocy przewidzianych do wyłączeń w poszczególnych stopniach SCO wyznacza się przez rozdzielenie na poszczególne stopnie ogólnej wartości mocy przewidzianej do wyłączenia, wynoszącej (30 ÷ 50)% mocy dyspozycyjnej. Przy wyższych stopniach SCO wyłącza się mniejsze wartości mocy niż przy niższych stopniach. Wyłączenie mocy w dowolnym stopniu nie może spowodować wzrostu

częstotliwości ponad wartość roboczą. Moce wyłączane dla poszczególnych stopni SCO można wyznaczyć z następującego wzoru:

$$\Delta p_{wk} = 2 \cdot (k_s - k_g) \cdot (50 - f_k) \cdot \left(1 - \sum_1^{k-1} \frac{\Delta p_w}{100}\right)$$

gdzie: Δp_{wk} - względna wartość mocy wyłączonej dla k-tego stopnia SCO,

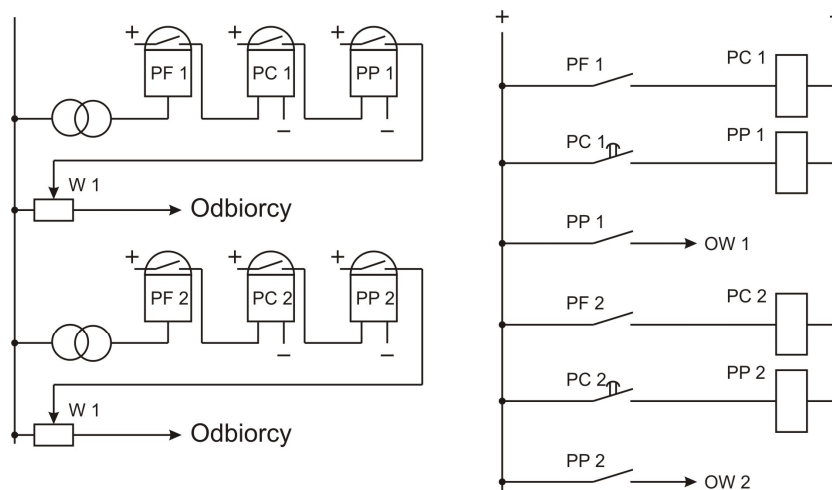
f_k - częstotliwość rozruchowa k-tego stopnia SCO,

Δp_w - względna wartość mocy wyłączanych dla poszczególnych stopni.

1.3.4. Budowa i stosowane rozwiązania układów SCO

Najszersze zastosowanie znalazły układy SCO reagujące na wartość bezwzględną częstotliwości.

Zasadniczym elementem automatyki SCO jest przekaźnik podczęstotliwościowy, kontrolujący stale częstotliwość napięcia w danej sieci elektroenergetycznej. Zasilany jest on z przekładnika napięciowego, przyłączonego do szyn zbiorczych stacji. Dla każdego stopnia SCO jest stosowany oddzielny przekaźnik częstotliwościowy. W celu zapewnienia należytej niezawodności działania układu SCO, wprowadza się w jego działaniu zwłokę czasową rzędu (0,3 ÷ 0,5) s. Zapewnia ona niewrażliwość układu na stany nieustalone.



Rys. 3. Schemat dwustopniowego układu SCO: a) schemat ideowy,
b) schemat rozwinięty

W przypadku wielokrotnego układu SCO ilość zastosowanych przekaźników podczęstotliwościowych oraz ich częstotliwości rozruchowe odpowiadają przyjętym kolejnym stopniom SCO. Układy sterujące wyłączeniem odpowiednich wyłączników liniowych mogą być przyłączone do wybranego stopnia SCO (rys. 3).

Ze względu na szybkość działania rozróżnia się urządzenia szybkiego SCO (zwłoka ok. 0,5 s), powolnego SCO (czas zadziałania ok. 10 ÷ 30 s) oraz zależno-zwłocznego SCO (czas zadziałania SCO zależy od szybkości zmian częstotliwości w sieci).

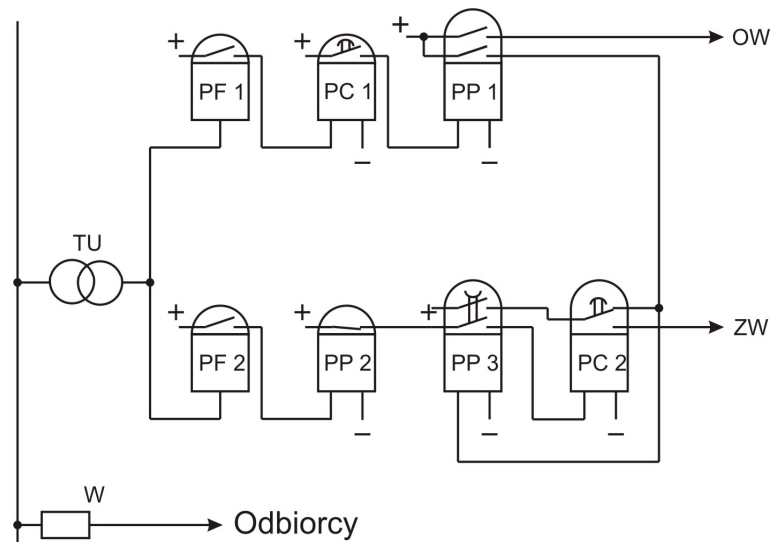
1.4. SPZ po SCO

W systemie elektroenergetycznym, w którym zastosowano urządzenia SCO, celowe jest uzupełnienie ich urządzeniami SPZ, które przy wzroście częstotliwości ponad określoną wartość, samoczynnie załączają odbiory (wszystkie lub część), wyłączone uprzednio działaniem SCO. Rozwiązanie takie jest szczególnie celowe w bezobsługowych stacjach elektroenergetycznych zasilających sieci średnich napięć, ponieważ przyczynia się do skrócenia czasu przerw w zasilaniu odbiorów wyłączonych działaniem SCO. Urządzenie SPZ powinno być uruchomione

po SCO, jeżeli częstotliwość powróci do poziomu co najmniej 49,5 Hz, przy czym powinno załączać tylko te odbiory, które zostały wyłączone przez SCO.

Głównym elementem układu SPZ po SCO jest przekaźnik podczęstotliwościowy, nastawiony na częstotliwość rozruchową 49,5 Hz. Aby zapobiec zbędnemu zadziałaniu układu SPZ, wprowadza się dużą zwłokę czasową w jego działaniu.

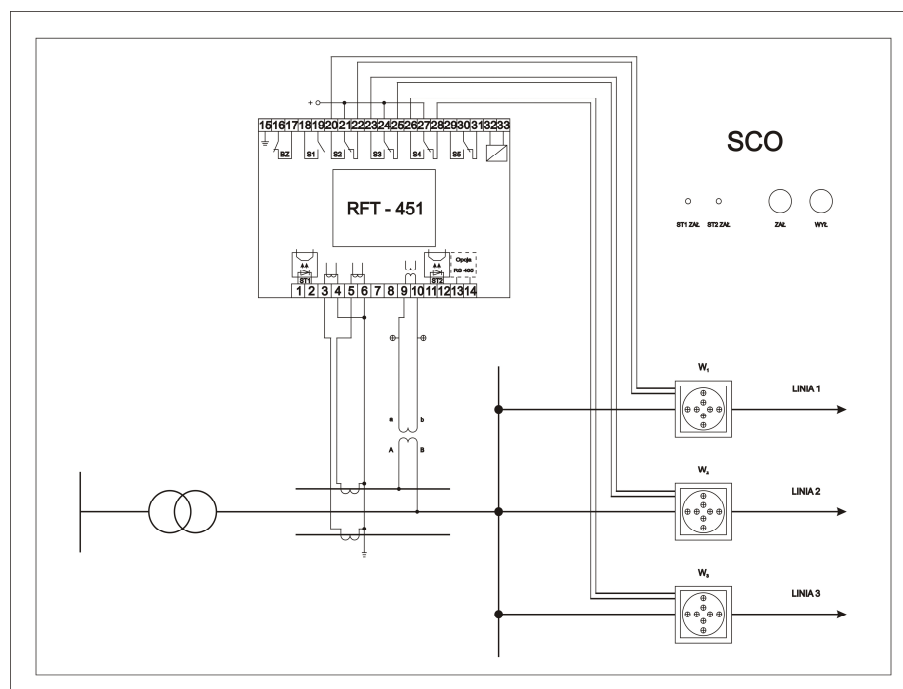
Układ SPZ przygotowuje do działania I stopień SCO (rys. 4). Przy obniżeniu się częstotliwości w systemie poniżej wartości rozruchowej przekaźnika PF2 następuje jego pobudzenie, a następnie przekaźnika pomocniczego PP2. Dalsze obniżanie częstotliwości, poniżej wartości rozruchowej przekaźnika PF1, prowadzi do wyłączenia grupy odbiorów, przyporządkowanej pierwszemu stopniowi SCO. Jednocześnie zostaje pobudzony przekaźnik PP3 układu SPZ, co przygotowuje ten układ do działania. Gdy wzrastająca częstotliwość osiągnie wartość powrotu przekaźnika PF2, odzwbudzą się przekaźniki PF2 oraz PP2. Zostaje wówczas pobudzony przekaźnik PC2. Po nastawionym na nim czasie zostanie wysłany impuls na załączenie wyłączonych wcześniej przez SCO odbiorów. W momencie zadziałania przekaźnika PC2 zostaje przerwane wzbudzenie przekaźnika PP3. Po zwłoce czasowej, równej opóźnieniu powrotu tego przekaźnika, układ powraca do stanu spoczynkowego.



Rys. 4. Schemat układu SPZ/SCO

1.5. Opis stanowiska laboratoryjnego

Zrealizowane stanowisko laboratoryjne przedstawia układ trzystopniowego SCO i częstotliwościowego SPZ pracuje w sieci zasilającej trzy grupy odbiorców. Głównym elementem stanowiska jest zabezpieczenie częstotliwościowe RFT – 451 realizujące automatykę SCO i SPZ po SCO.



Rys. 5. Wygląd zewnętrzny stanowiska laboratoryjnego

1.6. Działanie zamodelowanego układu SCO oraz SPZ po SCO

Zabezpieczenie częstotliwościowe RFT-451, jest urządzeniem cyfrowym przeznaczonym do stosowania w układach przemysłowej i elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej w których wymagana jest kontrola częstotliwości oraz w układach samoczynnego częstotliwościowego odciążania (SCO), dla utrzymania stabilnej pracy systemu.

Zabezpieczenie typu RFT - 451 jest cyfrowym urządzeniem kontrolno-pomiarowym. Wielkością mierzoną jest częstotliwość, jej pochodna i średnia prędkość zmian częstotliwości, wyznaczana na podstawie przebiegu sygnału napięciowego (gdy napięcie pomiarowe spełnia warunek: $U > 0,1U_n$) lub prądowego (gdy jeden z prądów pomiarowych spełnia warunek: $I > 2I_n$). W normalnych warunkach pracy częstotliwość i jej zmiany wyznaczone są na podstawie sygnału napięciowego, w sytuacjach awaryjnych wyznaczenie tych wielkości możliwe jest na podstawie sygnału prądowego.

Jeżeli wartość częstotliwości przekroczy wartość nastawczą wprowadzoną przez użytkownika to, w zależności od konfiguracji, następuje odpowiednia reakcja zabezpieczenia. Urządzenie wyposażono w programowalne wyjścia (przełączniki wyjściowe: S1, S2, S3, S4, S5). Dodatkowy przełącznik BZ sygnalizuje uszkodzenie zasilacza lub brak napięcia pomocniczego.

Do załączenia części stanowiska obrazującej działanie automatyki SCO służy przycisk „ZAŁ” wskaźniki stanu łącznika podłączone są do wyjść S2, S3, S4 odpowiadają kolejno liniom 1, 2, 3. Jako źródło napięcia o zmiennej częstotliwości i amplitudzie używamy elektronicznego generatora napięcia sinusoidalnego który przyłączamy do zacisków opisanych „Generator” na bocznym panelu stanowiska, częstotliciomierz podłączamy do zacisków na przednim panelu

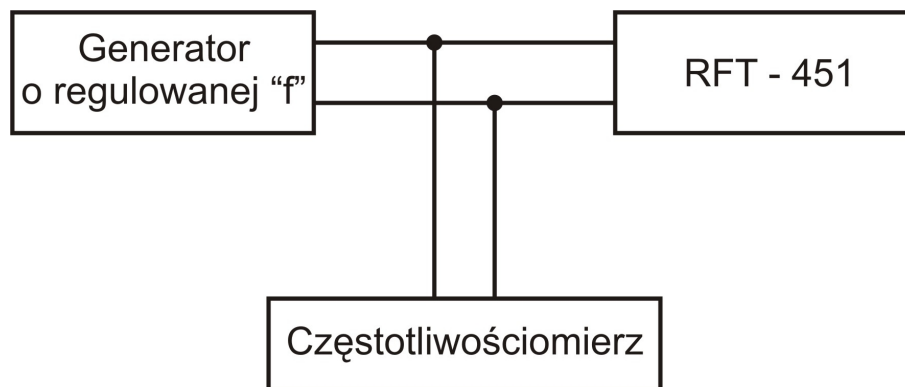
stanowiska. Wartości częstotliwości zadziałania poszczególnych stopni i opóźnień czasowych programujemy dla każdego stopnia zabezpieczenia, oddzielnie programujemy częstotliwość przy której następuje zadziałanie automatyki SCO. Włączniki ST1 i ST2 to sygnały dodatkowe dla zabezpieczenia, możliwe jest programowanie określonych reakcji w zależności od ich położenia, włącznik ST2 od momentu włączenia automatyki SCO pełni funkcje wejścia kasującego.

2. Przebieg ćwiczenia

2.1. Sprawdzenie wartości rozruchowych i powrotowych przekaźnika

Sprawdzenie tych wartości polega na porównaniu wartości częstotliwości rozruchowej mierzonej częstotliczomierzem z wartością nastawioną przekaźnika oraz na wyznaczeniu wartości powrotowych i współczynnika powrotu.

Jako źródło napięcia o zmiennej częstotliwości i amplitudzie używamy elektronicznego generatora napięcia sinusoidalnego (rys. 6.). Częstotliwość napięcia zasilającego przekaźnik mierzymy za pomocą cyfrowego miernika częstotliwości. Generator napięcia sinusoidalnego przyłączamy do zacisków opisanych „Generator” na bocznym panelu stanowiska, częstotliczomierz podłączamy do zacisków na przednim panelu stanowiska.



Rys. 6. Układ pomiarowy do badania przełącznika podczęstotliwościowego

Dla wybranych wartości nastaw przełącznika RFT - 451 wyznaczamy częstotliwość rozruchową i powrotową. Utrzymując stałą wartość napięcia zasilającego $U = 100 \text{ V}$, zmniejszamy powoli jego częstotliwość aż do zadziałania przełącznika, które jest sygnalizowane zapaleniem się lampki „ZADZIAŁANIE”. Wyznaczamy w ten sposób częstotliwość rozruchową. Następnie zwiększamy częstotliwość napięcia zasilającego aż do zgaśnięcia lampki „ZADZIAŁANIE” - w ten sposób wyznaczamy częstotliwość powrotową. Pomiar powtarzamy 3 - krotnie dla każdego nastawienia. Wyniki pomiarów zestawiamy w tabeli 1.

Tabela 1.

Nastawienie skali	Częstotliwość rozruchowa f_{rozr}	$f_{\text{rozr}}^{\text{sr}}$	Częstotliwość powrotowa f_{pow}	$f_{\text{pow}}^{\text{sr}}$	Współczynnik powrotu	Rozrzut względny r	Uchyb względny podziałki Δp
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	-	%	%

rozrzut względny

$$r = \frac{f_{\text{rpm max}} - f_{\text{rpm min}}}{f_{\text{nast}}} \cdot 100\%$$

uchyb względny podziałki

$$\Delta p = \frac{f_{\text{rozrsr}} - f_{\text{nast}}}{f_{\text{nast}}}$$

współczynnik powrotu

$$k_p = \frac{f_{\text{powsr}}}{f_{\text{rozrsr}}}$$

2.2. Przygotowanie układu SCO do pracy

Zasilić układ z generatora napięciem o wartości $U = 100 \text{ V}$ i częstotliwości $f = 50 \text{ Hz}$. Załączyć napięcia pomocnicze przemienne. Zamknąć stycznik, umożliwiając podanie napięcia na szyny stacji.

2.3. Sprawdzenie działania układu SCO przy obniżaniu się częstotliwości

Zaobserwować działanie układu przy:

- długotrwałym obniżaniu się częstotliwości poniżej nastawy I stopnia SCO,
- długotrwałym obniżaniu się częstotliwości poniżej nastawy II stopnia SCO,
- krótkotrwałym obniżaniu się częstotliwości poniżej I stopnia SCO,
- krótkotrwałym obniżaniu się częstotliwości poniżej II stopnia SCO,

2.4. Sprawdzenie działania układu SPZ przy wzroście częstotliwości

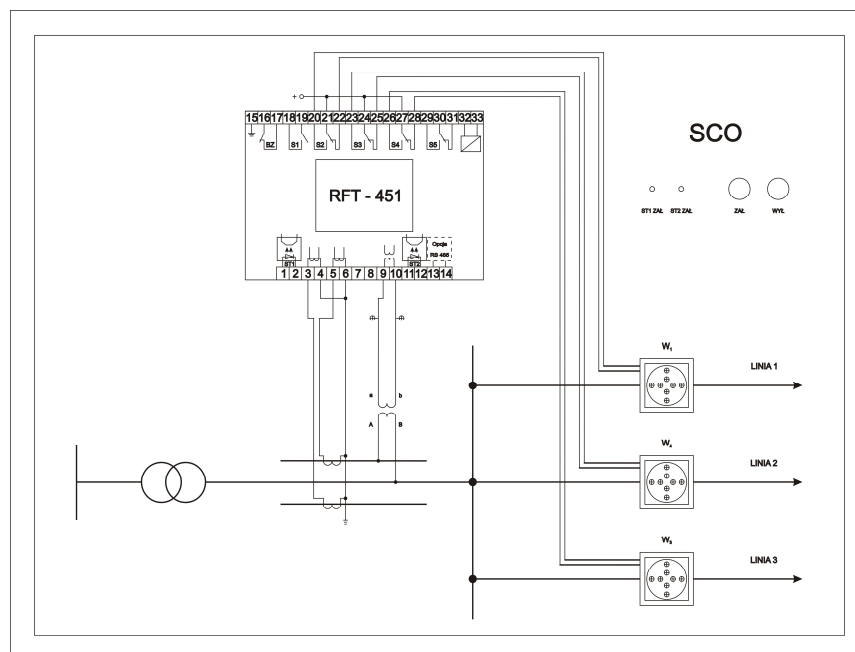
Zaobserwować działanie układu przy:

- trwałym wzroście częstotliwości, po uprzednim zadziałaniu tylko I stopnia SCO,

- b) trwałym wzroście częstotliwości, po uprzednim zadziałaniu I i II stopnia SCO,
- c) krótkotrwałym wzroście częstotliwości.

2.5. Sprawdzenie działania automatyki SPZ po SCO

Sprawdzenie działania układu SCO i SPZ po SCO przeprowadzamy na modelu (rys. 7.). Generator napięcia sinusoidalnego przyłączamy do zacisków opisanych „Generator” na bocznym panelu stanowiska. W modelu zastosowano trzystopniowy układ SCO a nastawione częstotliwości rozruchowe tych stopni wynoszą 48,8 Hz, 46,6 Hz, 45 Hz. Przy obniżeniu się częstotliwości poniżej: 48,8 Hz następuje wyłączenie jednej linii - działa I-szy stopień układu.



Rys. 7. Układ do badania samoczynnego powtórnego włączenia po samoczynnym częstotliwościowym odciążeniu

Jeśli będziemy dalej obniżać częstotliwość napięcia zasilającego, nastąpi pobudzenie II-go stopnia SCO i wyłączenie drugiej linii. Zwiększamy teraz częstotliwość aż do ponownego załączenia obu linii, które następuje przy częstotliwości 49,5 Hz. Na tę częstotliwość nastawiono układ kontroli częstotliwości, który pobudza układ samoczynnego powtórnego załączenia

obu linii. Po załączeniu tych linii przez układ SPZ przestawiamy ST1 w pozycje "włączone" i obniżamy częstotliwość napięcia zasilającego aż do zadziałania I i II stopnia SCO. Następnie zwiększamy częstotliwość powyżej wartości, przy której poprzednio nastąpiło działanie układu SPZ. Tym razem układ SPZ nie działa, gdyż przestawienie sterownika w pozycję "włączone" może być uważane za planowe wyłączenie pola i wtedy nie powinien działać układ SPZ.

3. Pytania i zagadnienia

1. Uzasadnić dlaczego od przekaźnika podczęstotliwościowego wymagamy współczynnika powrotu bliskiego jedności.
2. Narysować układ obrazujący działanie automatyki SPZ po SCO.