

Zygmunt PILCH

USPRAWNIENIE DZIAŁANIA AUTOMATYKI SCO W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH Z WŁASNĄ ELEKTROCIĘPŁOWNIĄ

Streszczenie. W artykule omówiono możliwość poprawy działania automatyki SCO w systemach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych posiadających własną elektrociepłownię dla przypadków utraty zasilania z zewnętrznego systemu elektroenergetycznego. Zaproponowano zastosowanie kryterium df/dt dla usprawnienia działania tej automatyki.

1. Wprowadzenie

Automatyka samoczynnego częstotliwościowego odciążenia (SCO) stosowana jest dla odbiorów w systemach elektroenergetycznych (SE) dla ograniczenia występujących w nich deficytów mocy czynnej. Zmiany częstotliwości wymuszone przez deficyt mocy czynnej w całym, integralnie połączonym SE, zachodzą stosunkowo wolno i są wystarczające kryterium deficytu mocy czynnej, dla działania automatyki SCO, przyjmowane są bezwzględne wartości częstotliwości oraz zwłoki czasowe działania [1, 4].

W skład SE wchodzi zakład przemysłowy z własnymi elektrociepłowniami (EC), w których zdarzają się zakłócenia polegające na utracie zasilania zewnętrznego. W takim przypadku odbiory zakładu zasilane będą wyłącznie z EC, a bilans mocy czynnej z reguły zostanie zachwiany. W tych warunkach zmiany częstotliwości mogą zachodzić szybciej i sam pomiar wartości częstotliwości może być niemiernodajny dla sprawnego działania automatyki SCO, której działanie ma zapewnić zbilansowanie mocy w wyizolowanym SE i utrzymanie zasilania w energię elektryczną dla najważniejszych odbiorów w zakładzie przemysłowym.

2. Dynamika zmian częstotliwości

Jako charakterystykę częstotliwościową dynamiczną SE przyjmuje się zależność częstotliwości od czasu, przy braku zrównoważenia między mocą czynną wytwarzaną i odbieraną z tego SE.

Najbardziej niekorzystne warunki zachwiania bilansu mocy czynnej mogą wystąpić w przypadkach odciążenia pewnej części SE (np. zakładu przemysłowego z własną EC) od zewnętrznego systemu zasilania. Nie wnikając w przy-

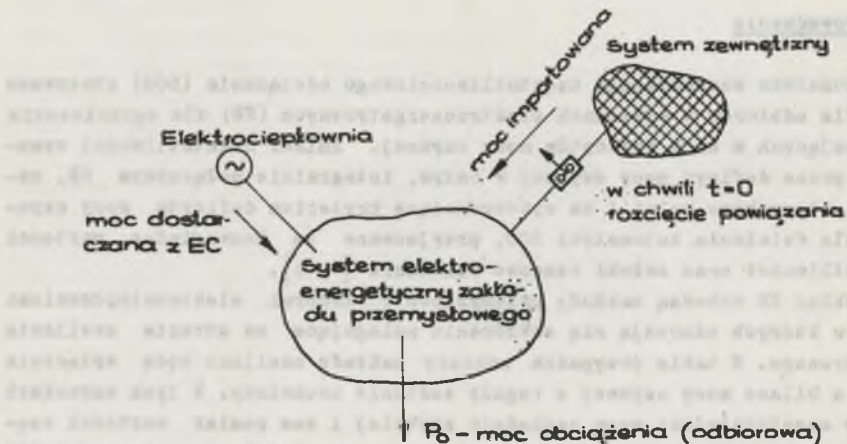
czyny tego rozłączenia, do rozważań można przyjąć warunki wyjściowe zobrażowane na rys. 1. W chwili $t=0$ zostaje przerwany import mocy czynnej z zewnętrznego SE, a ponadto prawie natychmiast zostaje wykorzystana rezerwa wirująca EC. Jeśli rezerwa ta nie pokryje w pełni deficytu mocy uprzednio importowanej, pozostały deficyt ΔP może być pokryty jedynie kosztem energii kinetycznej wirujących mas turbozespołów i silników w wyizolowanym SE, co można wyrazić równaniem:

$$\Delta P dt = -d \sum_{i=1}^n \frac{I_i \omega_i^2}{2}, \quad (1)$$

gdzie:

I_i - moment bezwładności i -tej maszyny wirującej,

ω_i - prędkość kątowna i -tej maszyny.



Rys. 1. Warunki wyjściowe przyjęte do rozważań dynamiki zmian częstotliwości w wyizolowanym SE zakładu przemysłowego

W rozważaniach praktycznych dogodniej jest posługiwać się pojęciem mechanicznej stałej czasowej maszyny T_m lub stałą bezwładności H zamiast pojęciem momentu bezwładności.

Stała czasowa T_m definiowana jest jako czas potrzebny do nadania maszynie znamionowej prędkości obrotowej pod warunkiem przyłożenia do tej maszyny momentu mechanicznego równego momentowi znamionowemu, czyli:

$$T_{mi} = I_i \frac{\omega_{ni}^2}{p_{ni}} = \frac{2 A_{ki}}{p_{ni}} = 2 H_i, \quad (2)$$

gdzie:

P_{ni} - moc znamionowa i-tej maszyny,

$A_{ki} = \frac{1}{2} I_i \omega_{ni}^2$ - energia kinetyczna i-tej maszyny.

Typowe wartości stałych bezwładności dla turbozespołów w elektrociepłowniach wynoszą (3÷7)s [2].

Po zastąpieniu we wzorze (1) momentów bezwładności stałymi czasowymi lub stałymi bezwładności zgodnie z zależnością (1) otrzymamy wyrażenie:

$$\Delta P = - \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} T_{mi} P_{ni} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 = - \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n H_i P_{ni} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \quad (3)$$

Jeżeli w zależności (3) stosunek pulsacji ω/ω_n zastąpić stosunkiem częstotliwości f/f_0 (po przyjęciu, że $\omega_0 = \omega_n$), to po wykonaniu różniczkowania otrzymujemy równanie:

$$\frac{df}{dt} = - \frac{\Delta P f_n^2}{f \sum_{i=1}^n T_{mi} P_{ni}} \quad (4)$$

Wprowadzając pojęcie mechanicznej stałej czasowej systemu elektroenergetycznego

$$T_s = \frac{\sum_{i=1}^n T_{mi} P_{ni}}{P_0} = 2 H_s, \quad (5)$$

gdzie: P_0 - suma mocy pobieranej z wyizolowanego SE, otrzymamy:

$$\frac{df}{dt} = - \frac{f_n^2}{f T_s} \cdot \frac{\Delta P}{P_0} \quad (6)$$

Uwzględniając fakt, że w SE pracują z reguły odbiory silnikowe, należy liczyć się z tym [2], że mechaniczne stałe czasowe wyizolowanych SE będą większe od stałej mechanicznej turbozespołów EC, $T_s = (1,5 \div 1,8) T_{MG}$.

W pierwszej chwili po wystąpieniu deficytu spełnione są równości $f = f_n$ i $\Delta P = \Delta P_0$, stąd zależność (6), określająca szybkość zmiany częstotliwości, przyjmie postać:

$$\frac{df}{dt} = - \frac{f_n}{T_s} \cdot \frac{\Delta P_0}{P_0}, \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta P_0/P_0$ - względny początkowy deficyt mocy w wyisolowanym SE.

Biorąc pod uwagę zarówno zależności zmiany mocy pobieranej, jak i wytwarzanej od częstotliwości [1], wartość mocy deficytowej również będzie zależała od częstotliwości (rys. 2), przy czym będzie ona maleć ze zmniejszaniem się częstotliwości zgodnie z zależnością:

$$\Delta P = \Delta P_0 - \frac{f_0 - f}{f_0} P_0 k, \quad (8)$$

gdzie:

$\Delta P_0, \Delta P$ - deficyty mocy odpowiadające odpowiednio częstotliwości $f_0 = f_n$ i f ,

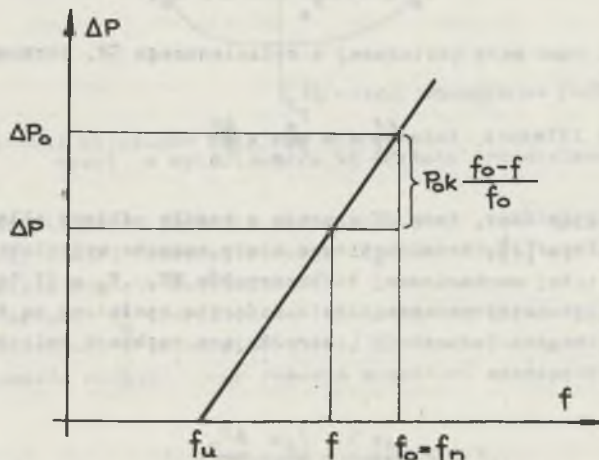
k - współczynnik częstotliwościowej charakterystyki wyisolowanej części SE.

Ze wzoru (8) wynika, że teoretycznie przy pewnej częstotliwości tzw. ustalonej $f = f_u$, deficyt ΔP zmaleje do zera, czyli częstotliwość ta będzie równa:

$$f_u = f_0 \left(1 - \frac{\Delta P_0}{k P_0}\right), \quad (9)$$

a zależność (8), opisująca deficyt mocy wywołujący zmianę częstotliwości, przybierze postać:

$$\Delta P = k P_0 \frac{f - f_u}{f_0} \quad (10)$$



Rys. 2. Zależność deficytu mocy ΔP od częstotliwości

Korzystając z relacji (6) po wprowadzeniu (10) otrzymujemy:

$$dt = -T_f \frac{f df}{f_n(f-f_u)} \quad (11)$$

gdzie:

$T_f = T_n/k$ - tzw. częstotliwościowa stała czasowa SE, która z reguły jest mniejsza od T_n , ponieważ $k > 1$ [1].

Po scałkowaniu równania (11) otrzymujemy:

$$t = -\frac{T_f}{f_n} (f - f_u + f_u \ln \frac{f-f_u}{f_n-f_u}) \quad (12)$$

Przy pewnych niesnacznym uproszczeniach, słusznych dla zakresu zmian f do 45 Hz, zależność (12) można zapisać:

$$t = -T_f \ln \frac{f-f_u}{f_n-f_u} \quad (13)$$

Bardziej interesująca jest zależność odwrotna, tzn. funkcja zmian częstotliwości w czasie, która na podstawie wzoru (13) ma postać:

$$f = f_u + (f_n - f_u) \exp(-t/T_f) \quad (14)$$

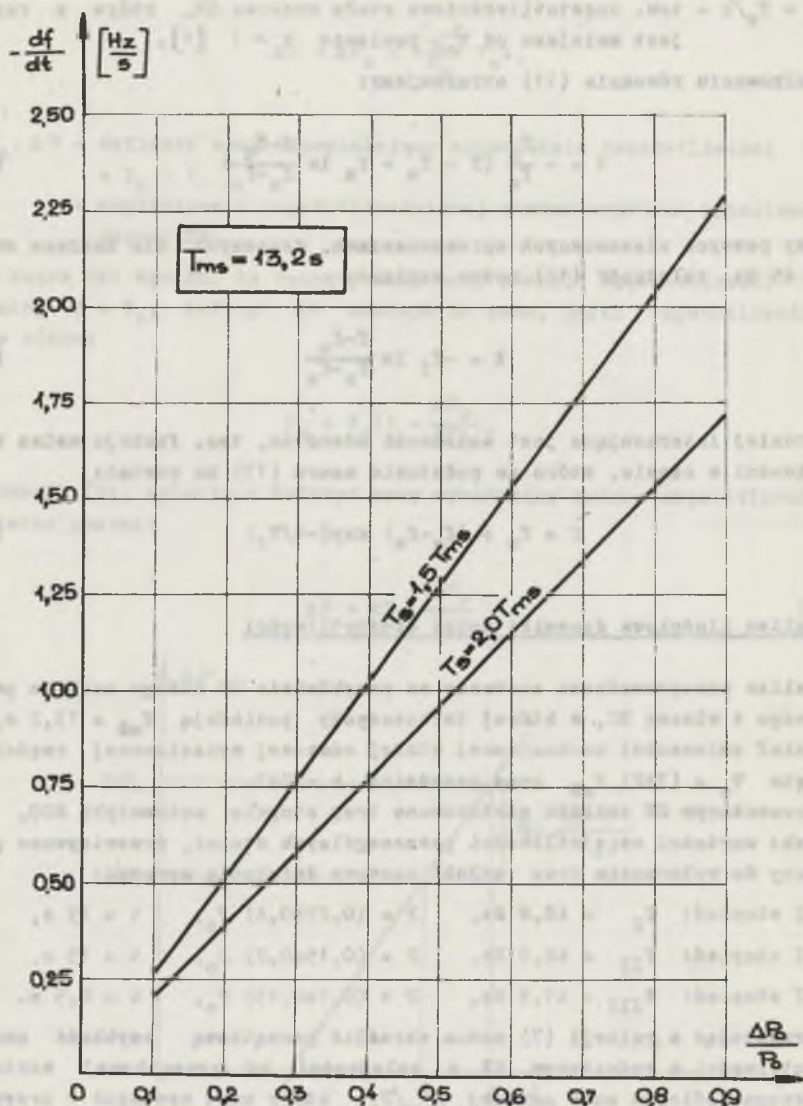
3. Analiza ilościowa dynamiki zmian częstotliwości

Analiza przeprowadzona zostanie na przykładzie SE dużego zakładu przemysłowego z własną EC, w której turbospoły posiadają $T_{MG} = 13,2$ s, a przedział sminności mechanicznej stałej czasowej wyizolowanej części SE przyjęto $T_n = (1\pm 2) T_{MG}$ oraz przedział $k = 2\pm 3$.

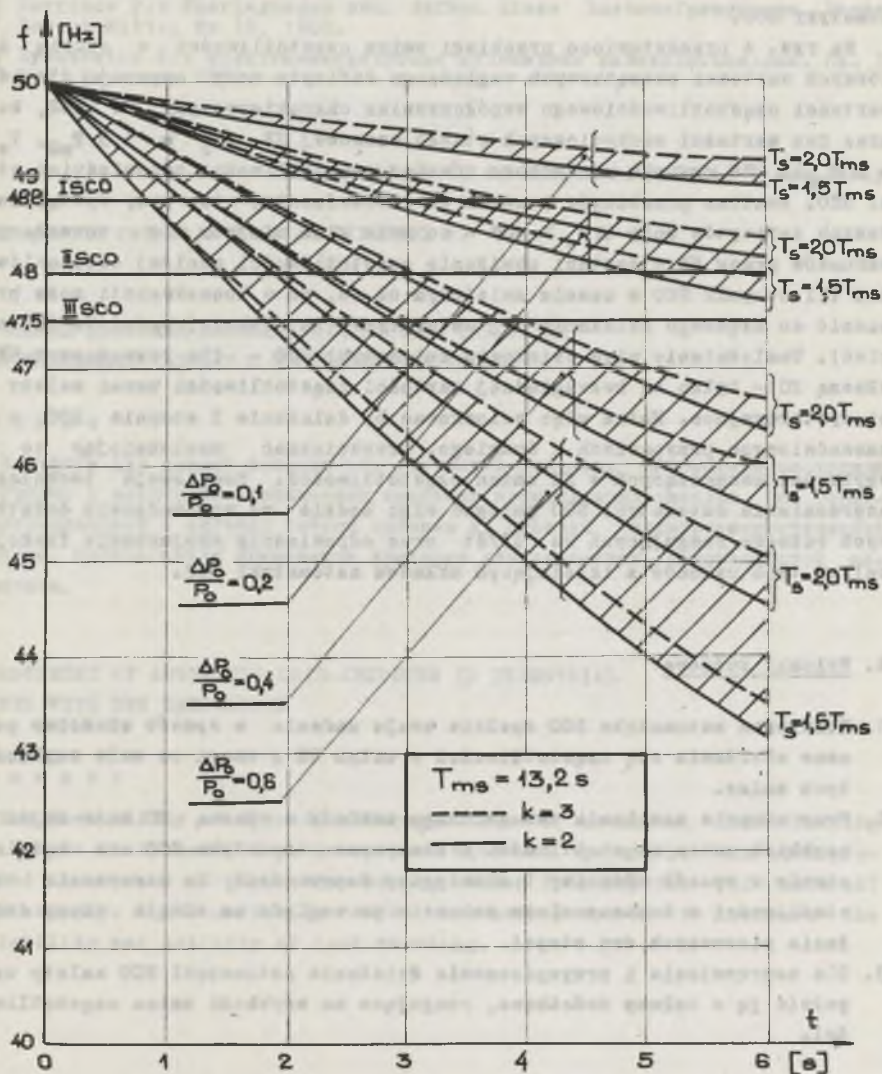
W rozważanym SE zakładu zastosowano trzy stopnie automatyki SC0, dla których: wartości częstotliwości poszczególnych stopni, przewidywane porcje mocy do wyłączenia oraz zwłoki czasowe działania wynoszą:

I stopień:	$f_I = 48,8$ Hz,	$P = (0,25\pm 0,4) P_0$,	$t = 15$ s,
II stopień:	$f_{II} = 48,0$ Hz,	$P = (0,15\pm 0,2) P_0$,	$t = 15$ s,
III stopień:	$f_{III} = 47,5$ Hz,	$P = (0,1\pm 0,15) P_0$,	$t = 0,5$ s.

Korzystając z relacji (7) można określić początkową szybkość zmiany częstotliwości w rozważanym SE w zależności od początkowej wartości względnego deficytu mocy czynnej $\Delta P_0/P_0$, który może wystąpić w przypadku odciążenia tego SE od zewnętrznego systemu zasilania. Na rys. 3 podano odpowiednie charakterystyki obrazujące szybkość zmiany częstotliwości dla dwóch wartości T_n . Z przebiegu tych charakterystyk można wysnuć wniosek,



Rys. 3. Szybkość zmian częstotliwości w funkcji względnego deficytu mocy $\Delta P_0/P_0$



Rys. 4. Przebieg zmian częstotliwości w czasie w zależności od powstałego deficytu mocy czynnej $\Delta P_0/P_0$

że szybkość zmiany częstotliwości informuje nas w pewnym sensie o wartości powstałego deficytu mocy czynnej. Mierząc wartość szybkości tej zmiany można w krótkim czasie określić wielkość powstałego deficytu, a tym samym wytypować, jaką porcję mocy odbiorowej należy wyłączyć, by ograniczyć lub sniwelować proces obniżania częstotliwości. Informację powyższą można wykorzystać dla usprawnienia pracy klasycznej wielostopniowej automatyki SCO.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi zmian częstotliwości w czasie dla różnych wartości początkowych względnego deficytu mocy czynnej dla dwu wartości częstotliwościowego współczynnika charakterystyki SE ($k=2$, $k=3$) oraz dwu wartości mechanicznych stałej czasowej SE ($T_s = 1,5 T_{mg}$, $T_s = 2 T_{mg}$). Na rysunku zaznaczono również częstotliwości odpowiednich stopni SCO. Analiza przebiegów pozwala na stwierdzenie, że przy wystąpieniu dużych deficytów mocy $\Delta P_0 > 40\%$ - co może mieć miejsce dla rozważanych warunków pracy SE - nastąpi obniżenie częstotliwości poniżej częstotliwości III stopnia SCO w czasie mniejszym od 4s, co w konsekwencji może prowadzić do błędnego działania tej automatyki (najszybciej zadziała III stopień). Usależnienie więc działania automatyki SCO - dla rozważanych SE z własną EC - tylko od bezwzględnej wartości częstotliwości usnać należy za niewystarczające. Można więc wnioskować by działanie I stopnia SCO, a w uzasadnionych przypadkach i drugiego, przyspieszać usależniając to od szybkości zachodzących w SE zmian częstotliwości. Realizacja techniczna usprawnienia automatyki SCO polegać więc będzie na wprowadzeniu dodatkowych członów reagujących na df/dt oraz odpowiednim skojarzeniu funkcjonalnym tych członów z istniejącym układem automatyki SCO.

4. Wnioski końcowe

1. Klasyczna automatyka SCO spełnia swoje zadania w sposób właściwy podczas obniżania się częstotliwości w całym SE z uwagi na małe szybkości tych zmian.
2. Przy utracie zasilania zewnętrznego zakładu z własną EC może dojść do szybkich zmian częstotliwości i klasyczna automatyka SCO nie będzie w stanie w sposób właściwy i elastyczny doprowadzić do utrzymania częstotliwości w dopuszczalnym zakresie ze względu na długie czasy działania pierwszych dwu stopni.
3. Dla usprawnienia i przyspieszenia działania automatyki SCO należy usupchnić ją o człony dodatkowe, reagujące na szybkość zmian częstotliwości.

LITERATURA

- [1] Jasicki Z. i inni: Praca układów elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1965.
- [2] Jasicki Z.: Zjawiska niestabilne w układach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1969.
- [3] Harrison P.: Überlegungen zum Aufbau eines Lastwurfprogramms. Brown Boveri Mitt., Nr 10, 1980.
- [4] Żydanowicz J.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa. Cz. I WNT, Warszawa 1979.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Wiszniewski

Wpłynęło do redakcji dnia 24.VII.1982 r.

УЛУЧШЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИКИ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАВОДАХ С ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

Р е з ю м е

В статье дан анализ возможности улучшения действия автоматики частотной разгрузки в электроэнергетических системах промышленных заводов с теплоэлектростанцией в случаях потери питания из внешней электроэнергетической системы. Предлагается применение критерия для улучшения действия этой автоматики.

IMPROVEMENT OF AUTOMATIC LOAD-SHEDDING IN INDUSTRIAL
PLANTS WITH OWN GENERATION

S u m m a r y

The possibility of operational improvement of automatic load-shedding facilities in industrial power systems with own generation has been presented as a means of protection during sudden interruption of external power supply. A new criterion df/dt has been proposed to increase the reliability and activity of load shedding.