ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: ELEKTRYKA z.160 Nr kol.1373

Marian HYLA
Andrzej LATKO
Kazimierz GIERLOTKA
Andrzej WOLSKI

SYSTEM AUTOMATYCZNEJ REGULACJI MOCY BIERNEJ W DUŻYM ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM

Streszczenie. Artykuł przedstawia koncepcję układu kompleksowej regulacji mocy biernej w dużym zakładzie przemysłowym, w którym występują zarówno niedobory, jak i nadwyżki mocy biernej w różnych porach dnia lub dniach tygodnia. System opiera się na centralnym sterowniku programowalnym, współpracującym z układem sumatora zainstalowanym w miejscu przyłączenia do sieci 110 kV i lokalnymi regulatorami mocy biernej przy silnikach synchronicznych. Właściwy algorytm rozdziału zadanej mocy biernej do poszczególnych sterowników lokalnych umożliwia zoptymalizowanie niekorzystnych przepływów mocy w sieci wewnątrzzakładowej.

REACTIVE POWER FLOW CONTROL SYSTEM INALARGE INDUSTRIAL PLANT

Summary. The paper presents conception of a complex control system of reactive power flow in a large industrial plant in which periods of reactive power deficiency or its excess occur at different time of a day or a week. The control system is based on a central PLC working with local controllers for synchronous motors. PLC acquires data from the electrical energy meter system installed in the factory supplying point of 110 kV. The same data is used for calculating electrical energy consumption for the whole factory. Furthermore, the appropriate control algorithm enables to optimise reactive power flows in internal industrial network.

1. WPROWADZENIE

O ekonomicznych aspektach działalności przedsiębiorstw decydują koszty produkcji. Jednym z istotnych składników kosztów produkcji jest koszt energii elektrycznej. Zmniejszenie kosztów energii jest jednym z efektywniejszych sposobów obniżenia kosztów produkcji.

Można to uzyskać między innymi poprzez:

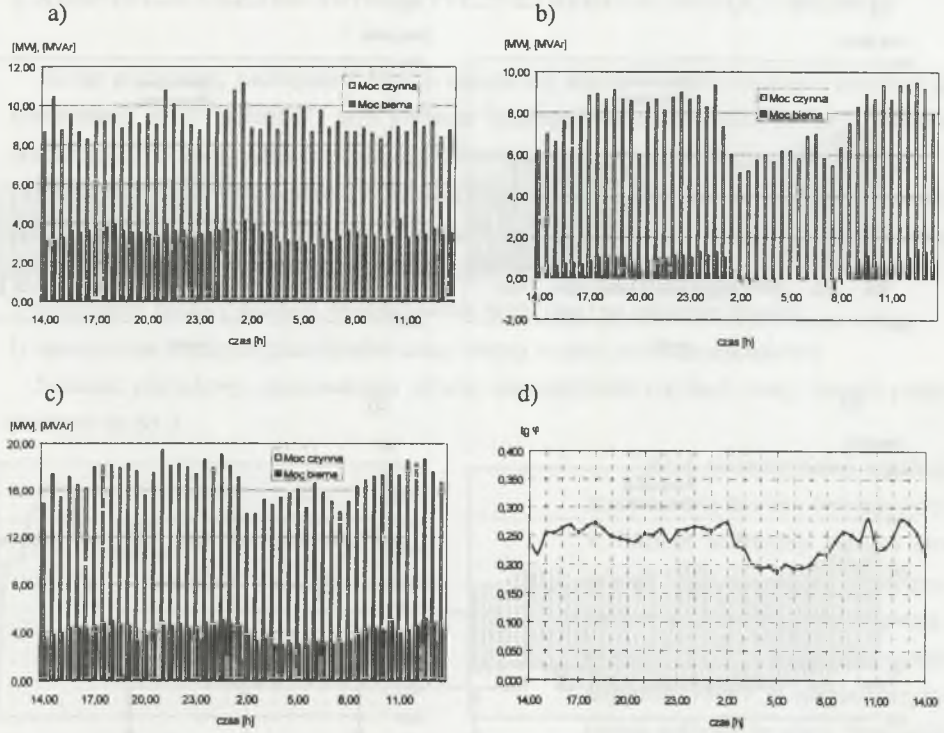
- precyzyjne zamówienie mocy dla całego zakładu, a nie dla poszczególnych przyłączy oraz zainstalowanie układu sumującego i przejście na ten sposób rozliczania z zakładem energetycznym;
- ograniczenie zużycia energii w strefie szczytowej przez odpowiednie działania organizacyjne;
- ograniczenie poboru energii biernej indukcyjnej tak, aby utrzymać zadany przez ZE współczynnik mocy;
- wyeliminowanie dodatkowych opłat, np. za oddawanie energii biernej indukcyjnej do sieci.

Rozwiązanie przedstawione w artykule dotyczy dwóch ostatnich punktów, a koncepcja układu automatycznej regulacji mocy biernej wykorzystuje układ sumatora oraz źródła mocy biernej, jakimi są silniki synchroniczne.

2. STAN GOSPODARKI MOCĄ BIERNĄ PRZYKŁADOWEJ KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Kopalnie węgla kamiennego są specyficznymi odbiorcami energii elektrycznej. Charakterystyczna dla kopalni jest duża liczba silników synchronicznych, napędzających przede wszystkim wentylatory, sprężarki oraz przetwornice układów Leonarda maszyn wyciągowych. Moc zainstalowana silników synchronicznych w kopalni sięga nierzadko kilkunastu MW, a produkowana przez nie moc bierna indukcyjna może być wystarczająca do utrzymania przez kopalnię, w okresach normalnej pracy zakładu podczas tzw. zmian wydobywczych, narzuconej przez dostawcę wartości współczynnika mocy. Silniki te pracują na ogół ze stałą wartością prądu wzbudzenia dobraną tak, by z jednej strony zapewniona była ich niezawodna praca przy narzuconym przez napędzaną maszynę obciążeniu, a z drugiej, aby kompensować duży pobór mocy biernej w dniu roboczym.

Specyfiką zakładów górniczych jest praca wielu napędów z silnikami synchronicznymi w sposób ciągły, niezależnie od cyklu produkcyjnego kopalni. Do grupy tej należą przede wszystkim wentylatory przewietrzania dołu kopalni. Również przetwornice układów Leonarda maszyn wyciągowych, napędzane silnikami synchronicznymi, nie są wyłączane przy dłuż-

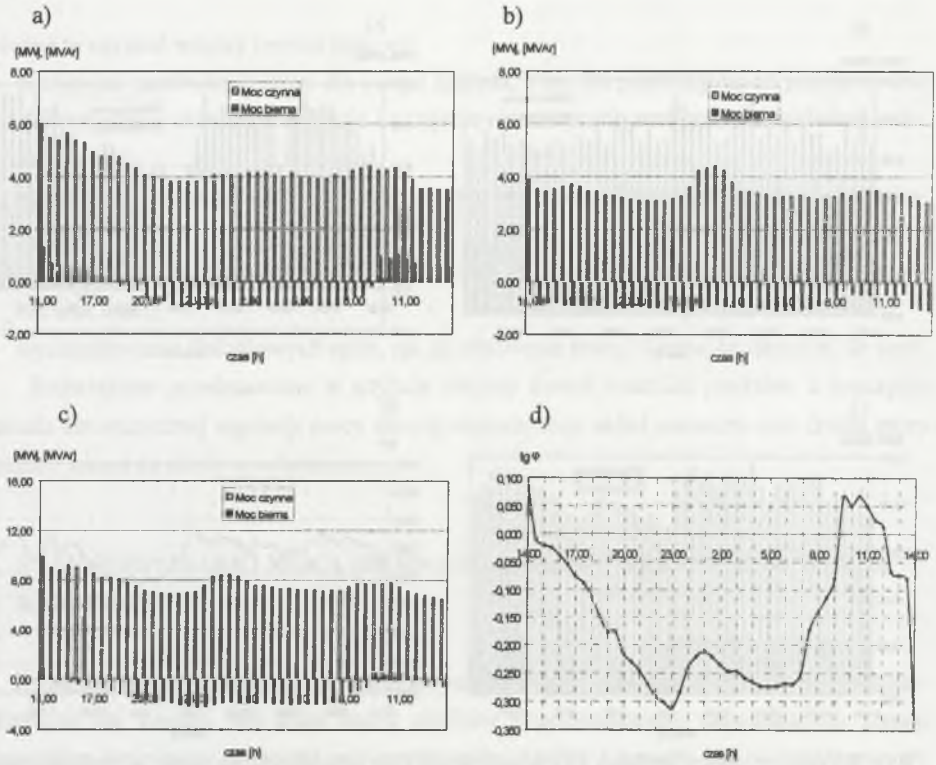


Rys. 1. Przebiegi mocy średnich 30 - minutowych oraz współczynnika mocy w punkcie zasilania zakładu w dniu roboczym

Fig. 1. Transient states of the power averaging in 30 minutes intervals and power factor in supplying point during a workday

szych przerwach w wydobyciu ze względu na kłopoty z rozruchem. Niejednokrotnie, szczególnie w przypadku maszyn wyciągowych, używanych do jazdy ludzi i transportu materiałów, silniki synchroniczne przetwornic Leonarda pracują ciągle, także w dni wolne od pracy, przy sporadycznym użyciu maszyny. Przy utrzymywaniu stałego prądu wzbudzenia silników synchronicznych, niezależnie od pory dnia i dnia tygodnia, stwarza to problemy z nadmiarem mocy biernej w kopalni w dni wolne od pracy oraz na tzw. zmianach konserwacyjnych. Oddawanie energii biernej indukcyjnej do sieci elektroenergetycznej wiąże się z koniecznością ponoszenia dodatkowych opłat.

Aktualny stan gospodarki mocą bierną, przedstawiony w artykule, został opracowany na podstawie pomiarów przeprowadzonych w jednej z kopalń węgla kamiennego. Kopalnia zasilana jest z dwóch transformatorów 100/6 kV, pracujących na wyodrębnione systemy. Przykładowe przebiegi mocy średnich 30-minutowych na zasilaniu poszczególnych systemów w dniu roboczym przedstawiono na rys. 1a i b. Rysunek 1.c przedstawia przebiegi sumaryczne mocy średnich 30-minutowych obu systemów w dniu roboczym, a rys.1.d przebieg sumarycz-



Rys.2. Przebiegi mocy średnich 30 - minutowych oraz współczynnika mocy w punkcie zasilania zakładu w dniu wolnym od pracy

Fig.2. Transient states of the power averaged in 30 minutes intervals and of the power factor at supplying point during a day off

nego współczynnika mocy (tgφ), określony na podstawie mocy średnich 30- minutowych. W dniu wolnym od pracy powyższe wielkości kształtują się w sposób przedstawiony na rys. 2.

W takim dniu następuje oddawanie do sieci mocy biernej indukcyjnej w obu systemach zasilających. Spowodowane jest to pracą silników synchronicznych ze stałym wzbudzeniem dobranym w taki sposób, aby kompensować duży pobór mocy biernej w dniu roboczym. W przytoczonym przykładzie w dniu wolnym od pracy maksymalna wartość średnia 30-minutowa sumarycznej mocy biernej indukcyjnej oddawanej do sieci wynosi 2,2 Mvar, natomiast całkowita energia bierna oddawana do sieci ok. 30 Mvarh, na dobę, co przy 8 dniach świątecznych w miesiącu daje 240 Mvarh.

Przeciwdziałać takim stanom można przez wprowadzenie układu automatycznej regulacji mocy biernej, który zapobiegałby nadmiernemu poborowi mocy biernej indukcyjnej z sieci w dni robocze oraz oddawaniu jej do sieci w dni wolne od pracy, utrzymując żądany przez zakład elektroenergetyczny współczynnik mocy w punkcie zasilania.

3. KONCEPCJA UKŁADU AUTOMATYCZNEJ REGULACJI MOCY BIERNEJ

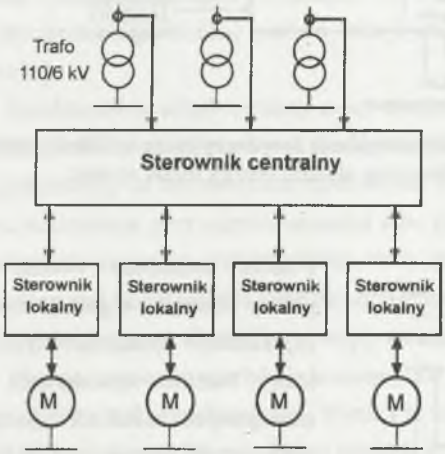
Biorąc pod uwagę nadrzędność funkcji napędowej silników synchronicznych nad funkcją kompensacji mocy biernej [1] przy wyborze koncepcji sterowania wzbudzeniem silników synchronicznych uwzględniono priorytety sterowania w następującej kolejności:

1) sterowanie prądem wzbudzenia silników (zakres sterowania, szybkość zmian prądu wzbudzenia) w taki sposób, by zachować wystarczającą przeciążalność statyczną i dynamiczną silnika dla aktualnego i przewidywanego obciążenia;

2) utrzymanie zadanej wartości współczynnika mocy (tgφ) na zasilaniu kopalni;

3) ograniczenie zbędnych przepływów mocy biernej w sieci wewnątrzzakładowej.

Schemat poglądowy opracowanego układu automatycznej regulacji mocy biernej przedstawiono na rys.3.

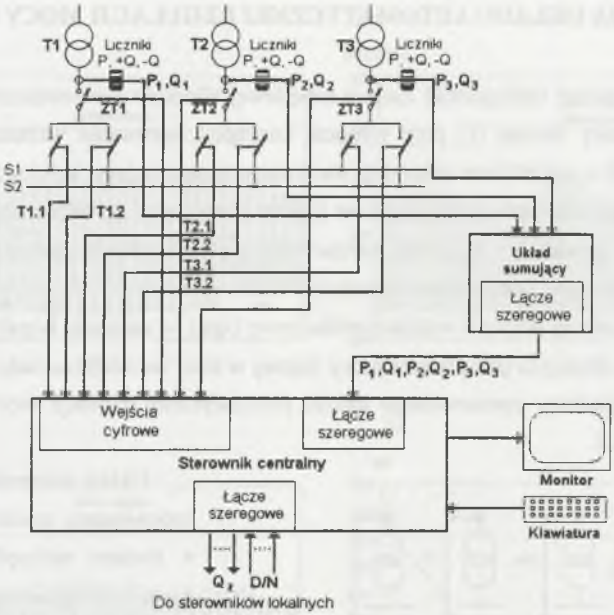


Rys.3. Schemat poglądowy układu automatycznej regulacji mocy biernej

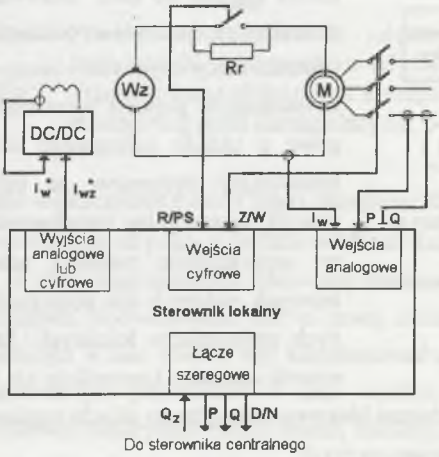
Fig.3. Pictorial diagram of reactive power automatic control system

Układ automatycznej regulacji mocy biernej zawiera dwa poziomy:

- Poziom nadrzędny stanowi sterownik programowalny współpracujący z układem sumatora, mierzącym pobór energii po stronie napięcia 110 kV w miejscu przyłączenia zakładu do sieci. Sterownik centralny na podstawie pomiarów wartości mocy czynnych i biernych uzyskiwanych poprzez łącze szeregowe z układu sumującego oraz identyfikacji systemów, na które pracują poszczególne transformatory, wypracowuje wartości mocy biernych zadanych dla poszczególnych sterowników lokalnych. Sterownik centralny komunikuje się ze sterownikami lokalnymi na drodze radiowej. Schemat blokowy nadrzędnego układu regulacji z wykorzystaniem układu sumującego przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schemat blokowy nadrzędnego układu regulacji z wykorzystaniem układu sumującego
Fig.4. Block diagram of the main controller using electric energy meter system



Rys.5.Schemat blokowy lokalnego układu regulacji mocy biernej silnika synchronicznego
Fig.5.Block diagram of the local reactive power controller for a synchronous motor

- Poziom podrzędny tworzą lokalne układy kontroli i regulacji mocy biernej silników synchronicznych. Regulatory lokalne wypracowują w poszczególnych silnikach synchronicznych zadane wartości mocy biernych. Sygnałami zwrotnymi do sterownika centralnego są rzeczywiste wartości mocy czynnych i biernych silników synchronicznych oraz sygnały informujące o dostępności poszczególnych silników dla potrzeb regulacji mocy. Schemat blokowy lokalnego układu regulacji mocy biernej silnika synchronicznego przedstawiono na rys.5.

Sterowniki lokalne mogą pracować również jako niezależne regulatory mocy biernej dla poszczególnych silników.

Wartość mocy biernej, jaka musi zostać wypracowana w silniku, określona jest za pomocą zależności czasowych $Q_z = f(t)$ niezależnie dla poszczególnych dni tygodnia. Tryb ten wykorzystywany jest też przy pracy sterownika lokalnego jako elementu kompleksowego systemu regulacji w przypadku zerwania łączności ze sterownikiem centralnym.

4. PODSUMOWANIE

Stan gospodarki mocą bierną w wielu zakładach przemysłowych jest niezadowalający. Z tego względu ponoszą one dodatkowe koszty związane z opłatami za moc bierną, które można wyeliminować przy stosunkowo niskich nakładach finansowych.

Przedstawiona koncepcja zakłada wykorzystanie pracujących już w zakładzie silników synchronicznych jako regulowanych źródeł mocy biernej. W takim przypadku koszt produkcji mocy biernej w silnikach (wynikający ze zwiększonych strat w obwodzie stojana i wirnika przewzbudzonego silnika) porównywalny jest z kosztem produkcji w bateriach kondensatorów [2].

Przedstawiony układ regulacji mocy biernej charakteryzuje się dużą uniwersalnością. Sterowniki lokalne mogą pracować niezależnie lub jako część kompleksowego układu regulacji, współpracując ze sterownikiem centralnym. Pomiary mocy pobieranych przez zakład mogą być realizowane przy użyciu sumatora albo przetworników mocy. Układ regulacji zapewnia utrzymanie zadanego współczynnika mocy ($tg\varphi$) w punkcie zasilania w zadanym zakresie. Możliwe jest także zapobieganie niekorzystnym przepływom mocy biernej w sieci wewnątrzzakładowej poprzez identyfikację rozpływów mocy w poszczególnych odpływach rozdzielni.

W przedstawionej w artykule koncepcji do sterowania poziomu mocy biernej wykorzystano jedynie silniki synchroniczne. Wynika to ze specyfiki zakładu, dla którego opisany system został opracowany. Wprowadzając niewielkie zmiany w sterowniku centralnym możliwe jest wykorzystanie w systemie sterownia mocy biernej także baterii kondensatorów.

Obecnie zbudowano sterownik lokalny wraz z przekształtnikiem DC/DC, zasilającym obwód wzbudzenia silnika synchronicznego. Przeprowadzono rozruch i wstępne testy układu. W najbliższym czasie przewiduje się jego zainstalowanie na obiekcie rzeczywistym.

LITERATURA

1. Orzechowski T.: Wielopoziomowy system sterowania silnikami synchronicznymi. Mat. II Konferencji Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym SENE'95, Łódź 1995, s. 465-470.
2. Wolski A., Mrozek Z.: Racjonalizacja gospodarki elektroenergetycznej kopalni poprzez zastosowanie lokalnych sterowników mocy biernej. . Mat. VII Sympozjum Podstawowe Problemy Energoelektroniki i Elektromechaniki, Ustroń 1997, s. 429-435.

3. Praca zbiorowa: Gospodarka mocą bierną w zakładach przemysłowych. Zbiór referatów. Wrocław-Lubin 1984.

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Piróg

Wpłynęło do Redakcji dnia 17 lipca 1997 r.

Abstract

The paper presents, basing on example of a coal-mine, conception of a complex reactive power flow control system in large industry in which periods with big reactive power consumption whereas in other time there is large reactive power production. At the beginning there are shown the main ways to lower production costs in a factory by limiting energy consumption as one of the most effective ways of doing it. The paper deals with part of the method referring to reactive power flow. Next the contemporary state of reactive power management in a coal-mine is described. Transient states of the power averaged in 30 minute intervals and of the power factor at supplying point during a workday and day-off are shown in Figs.1 and 2,respectively. Conception of a reactive power automatic control system based on central PLC working with local specialised controllers for synchronous motors is presented in the paper as well. PLC acguires data from the electrical energy meter system installed in the factory supplying point of 110 kV. The same data is used for calculating electrical energy consumption for the whole factory. Pictorial diagram of the reactive power automatic control system in Fig.3 is shown. More detailed schema of the central controller using electric energy meter system is presented in Fig.4. Block diagram of the local reactive power controller for a synchronous motor is shown in fFg. 5. The local controller obtains data for control algorithm from the central PLC using radiomodems. The local specialised controller is capable to work independently along pre-programmed time characteristic. This mode of operation is also used in case of communication of failure. Main advantages of the proposed system are as fallous: the reactive power is measured by the main electrical energy meter system, which means that there is no difference between the real power values for the control system and for calculating of the energy consumption, and it is possible to use existing synchronous motors for reactive power compensation, which means lowering the costs of implementation. Furthermore the control algorithm is capable to optimise reactive power flows in an internal industrial network.