

STEROWANIE BILANSEM MOCY BIERNEJ WIELKIEGO ODBIORCY PRZEMYSŁOWEGO W UKŁADZIE REGULACJI GRUPOWEJ ARNE/ARST

Piotr KOLENDO, Jarosław KLUCZNIK, Mateusz DROP, Marek POWROŹNIK

Instytut Energetyki Oddział Gdańsk

tel.: 58 349 81 68

e-mail: p.kolendo@ien.gda.pl

Streszczenie: W ostatnich latach niektórzy wielcy odbiorcy (WO) przemysłowi przyłączeni do Krajowej Sieci Elektroenergetycznej (KSE) budują bloki energetyczne dużych mocy przeznaczone do zasilania własnych zakładów przemysłowych, jak również produkcji energii na sprzedaż do sieci elektroenergetycznej. Nowe bloki połączone są więc równocześnie z zakładem przemysłowym, jak i z siecią nadrzędną, co powoduje znaczną komplikację algorytmów regulacji dla układów automatyki. Pomimo zmiany profilu zakładów przemysłowych z odbioru na wytwarzanie zakłady te zmuszone są do utrzymywania odpowiedniego bilansu mocy biernej z SEE ze względu na wymagania rozliczeniowe. W artykule autorzy przedstawiają sposób sterowania bilansem mocy biernej oraz sposób koordynacji algorytmów w układach regulacji grupowej dla istniejącego węzła elektroenergetycznego w KSE.

Słowa kluczowe: układy regulacji grupowej ARNE, sterowanie bilansem mocy biernej, układy ARST.

1. WSTĘP

W KSE powszechnie stosowane są układy regulacji ARNE/ARST [1–3], których konieczność stosowania wynika z zapisów IRiESP [4]. Ich zadaniem jest przede wszystkim utrzymywanie napięcia oraz mocy biernej w poszczególnych węzłach KSE.

W ostatnich latach rośnie stopień skomplikowania algorytmów regulacji węzłów elektroenergetycznych, m.in. ze względu na sposób przyłączenia jednostek wytwórczych dużej mocy, zastosowanie coraz większej liczby transformatorów z możliwością podobciążeniowej zmiany zaczepów, jak również zastosowanie przesuwników fazowych [1] z regulacją podłużną i poprzeczną.

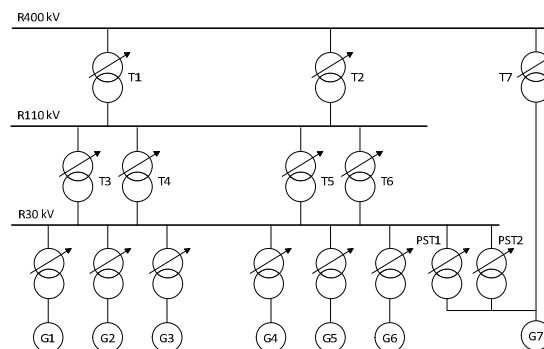
Powoduje to konieczność modyfikacji dotychczas stosowanych algorytmów regulacji układów ARNE/ARST, tak aby umożliwiały one jednoczesne utrzymywanie zadanego napięcia w poszczególnych punktach układu, sterowanie żądanym przepływem mocy czynnej i biernej, jak również utrzymywanie odpowiedniego bilansu wymiany mocy biernej z siecią nadrzędną.

W artykule przedstawiono algorytm odpowiedzialny za utrzymywanie odpowiedniej wartości bilansu mocy biernej z SEE oraz koordynację jego pracy z pozostałymi algorytmami w układzie regulacji grupowej, na podstawie jednego z węzłów w KSE. Weryfikację zaproponowanych algorytmów przedstawiono, wykorzystując dane pomiarowe z obiektu.

2. STEROWANIE BILANSEM MOCY BIERNEJ WIELKIEGO ODBIORCY PRZEMYSŁOWEGO NA PODSTAWIE JEDNEGO Z ROZWIĄZAŃ W KSE

Jeśli wielki odbiorca (WO) świadczy usługi systemowe na rzecz operatora sieci przesyłowej, należy opracować algorytmy sterowania dla układów automatyki, które priorytetowo będą utrzymywały ciągłość i bezpieczeństwo produkcji dla swoich zakładów przemysłowych.

W opisywanej sytuacji WO jest zobowiązany do zapewnienia odpowiedniego bilansu mocy biernej przepływającej przez transformatory T3-T6 (rys. 1). Priorytetem dla algorytmów regulacji jest jednak utrzymywanie ciągłości produkcji poprzez zapewnienie odpowiednich warunków napięcia w rozdzielni 30 kV. Zbliżony problem – z tą różnicą, że WO wspomaga utrzymanie napięcia po stronie SEE, zmieniając wartość bilansu mocy biernej – został przedstawiony w [5].



Rys 1. Schemat rozpatrywanego węzła [1]

Ze względu na duży pobór mocy przez WO generatory G1-G6 z rys. 1 bardzo szybko wyczerpują swój zakres regulacji mocy biernej. Sytuacja pogarsza się dodatkowo w okresie letnim, kiedy z powodu przegrzewania się elementów generatorów dodatkowo ogranicza się zakres dostępnej mocy biernej. Ponieważ możliwości sterowania przepływem mocy biernej przez przesuwniki fazowe PST1, PST2 są ograniczone, zachodzi konieczność regulacji napięcia w rozdzielni 30 kV przy użyciu transformatorów T3-T6 (domyślnie mają one za zadanie utrzymywać odpowiedni bilans wymiany mocy biernej). Regulacja mocy biernej przez PST1, PST2 jest ograniczona z powodu

konieczności przesyłu przez nie mocy czynnej o wartości zbliżonej do mocy znamionowej.

Algorytmy układu regulacji grupowej ARNE/ARST powinny uwzględniać wszystkie możliwe stany połączeń rozdzielni, jak również stan załączenia oraz możliwości regulacyjne poszczególnych urządzeń. Na tej podstawie układ automatyki powinien wybrać właściwy tryb regulacji dla poszczególnych urządzeń, uwzględniając jako priorytet utrzymanie napięcia na R30 kV.

3. SPOSÓB STEROWANIA PRACĄ PRZYKŁADOWEGO WĘZŁA W UKŁADZIE ARNE/ARST

Poniżej został przedstawiony opis pracy całego układu, możliwe kryteria pracy transformatorów T3-T6 oraz warunki przełączania pomiędzy poszczególnymi kryteriami.

W ramach rozdzielni 30 kV znajduje się 6 generatorów o mocy ok. 60 MW/każdy, zasilających duży zakład przemysłowy podłączony do tej rozdzielni. Zakład ten jest połączony z siecią nadrzędną poprzez transformatory T3-T6, które posiadają możliwość zmiany zaczepek pod obciążeniem. Układ został rozbudowany o generator G7, który poprzez transformator T7 ma możliwość oddawania mocy do SEE, jednocześnie zasilając zakład przemysłowy przez przesuwniki fazowe PST1 oraz PST2. Pomimo że G7 ma możliwość sprzedawania energii do sieci, w dalszym ciągu istnieje konieczność utrzymywania odpowiedniego bilansu mocy biernej z SEE w transformatorach T3-T6.

Skrócony opis regulacji całego węzła przedstawia się następująco:

- generator G7 oraz transformator T7 utrzymują napięcie zadane w rozdzielni 400 kV w sposób opisany w [1],
- przesuwniki fazowe PST1 oraz PST2 utrzymują zadany przepływ mocy czynnej lub bilansują ilość mocy czynnej, pobieranej przez zakład przemysłowy zgodnie z opisem w [1], wykorzystując przekładnię poprzeczną. Przekładnia podłużna steruje odpowiednim przepływem mocy biernej,
- transformatory T1 oraz T2 utrzymują napięcie zadane w rozdzielni 110 kV,
- generatory G1-G6 oraz transformatory T3-T6 utrzymują zadany poziom napięcia rozdzielni 30 kV oraz odpowiedni bilans wymiany mocy biernej z SEE.

3.1. Algorytmy regulacji dla urządzeń na rozdzielni 30 kV

Zadaniem generatorów G1-G6 jest utrzymanie napięcia w rozdzielni 30 kV według charakterystyki statycznej opisanej w [6], natomiast transformatory T3-T6 regulują bilans mocy. Priorytetowo zadaniem układu ARNE/ARST jest utrzymanie napięcia w rozdzielni 30 kV, dlatego też, jeżeli do któregoś z systemów 30 kV nie załączono generatora lub załączony generator wyczerpał swój zakres regulacyjny, transformator podłączony do tego systemu przechodzi w tryb regulacji napięcia. Jeżeli sumaryczna moc czynna przepływająca przez T3-T6 jest mniejsza od 20 MW, to układ ARNE/ARST pracuje w kryterium utrzymywania mocy biernej przepływającej przez T3-T6 w okolicach 0.

Tryb automatyczny dla transformatorów T3-T6 ustawiany jest więc w zależności od aktualnego stanu sieci i może przyjmować trzy kryteria:

a) Regulacja napięcia w rozdzielni 30kV

System ARNE wysyła impulsy sterujące “wyżej”/ “niżej” do przełącznika zaczepek transformatora, tak aby utrzymać napięcie zadane.

$$U_s - \varepsilon_U > U_m \rightarrow Z_T \uparrow \quad (1)$$

$$U_s + \varepsilon_U < U_m \rightarrow Z_T \downarrow \quad (2)$$

gdzie: U_s – wartość napięcia zadanego, U_m – wartość napięcia mierzonego, Z_T – zaczepek transformatora, ε_U – strefa nieczułości regulacji napięcia.

Warunkiem wyboru kryterium regulacji napięcia transformatorów T3-T6 w układzie ARNE/ARST jest sytuacja, gdy na system 30 kV, do którego podłączony jest transformator, nie pracuje żaden generator lub też pracujący generator nie posiada zakresu regulacyjnego.

b) Regulacja bilansu mocy biernej z SEE

Regulacja bilansu mocy realizowana jest w następujący sposób:

$$|tg \varphi| = \frac{\sum_{i=3}^{i=6} Q_{Ti}}{\sum_{i=3}^{i=6} P_{Ti}} < 0,4 \quad (3)$$

gdzie: $tg \varphi$ – bilans mocy, P_{Ti} – wartość mocy czynnej i-tego transformatora, Q_{Ti} – wartość mocy biernej i-tego transformatora.

Jeżeli warunek (3) nie jest dotrzymany, następuje przełączenie zaczepek jednego z transformatorów. Wybór transformatora, w którym nastąpi przełączenie zaczepek, jest realizowany według warunków (4), (5):

$$\text{Jeżeli: } tg \varphi > 0,4 \text{ i } \sum_{i=3}^{i=6} Q_{Ti} < 0 \quad (4)$$

→ regulacja transformatorem o minimalnym przepływie mocy biernej Q_{\min}

$$\text{Jeżeli: } tg \varphi > 0,4 \text{ i } \sum_{i=3}^{i=6} Q_{Ti} > 0 \quad (5)$$

→ regulacja transformatorem o maksymalnym przepływie mocy biernej Q_{\max}

Warunek wyboru kryterium regulacji bilansu mocy biernej T3-T6:

- na system 30 kV, do którego podłączony jest transformator, pracuje co najmniej jeden generator posiadający zakres regulacyjny,
- Sumaryczna moc czynna pobierana przez T3-T6 jest większa od 20 MW.

c) Regulacja przepływu mocy biernej

Regulacja przepływu mocy biernej realizowana jest w następujący sposób:

$$\text{Jeżeli } \sum_{i=3}^{i=6} Q_{Ti} < \pm \varepsilon \rightarrow Z_T \uparrow \quad (6)$$

$$\text{Jeżeli } \sum_{i=3}^{i=6} Q_{Ti} > \pm \varepsilon \rightarrow Z_T \downarrow \quad (7)$$

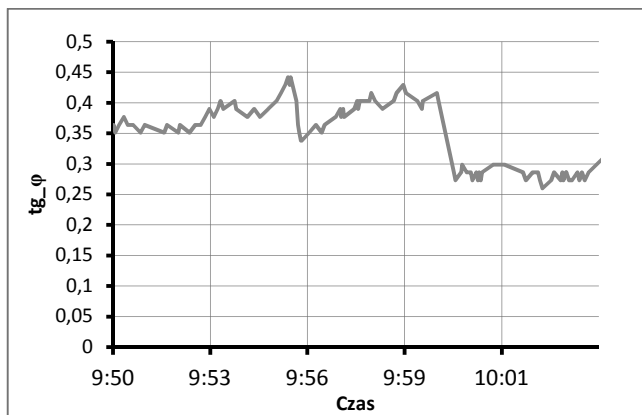
Wybór transformatora, który realizuje sterowanie, dokonywany jest analogicznie jak w podpunkcie b).

Warunek wyboru kryterium regulacji przepływu mocy biernej T3-T6:

- na system 30 kV, do którego podłączony jest transformator, pracuje co najmniej jeden generator posiadający zakres regulacyjny,
- Sumaryczna moc czynna pobierana przez T3-T6 jest mniejsza od 20 MW.

4. WERYFIKACJA PRACY ALGORYTMÓW NA PODSTAWIE DANYCH POMIAROWYCH Z OBIEKTU

Poniżej została przedstawiona praca układu na podstawie algorytmów omówionych w podpunkcie 3.1. W pierwszym przykładzie przedstawiono sytuację, w której w rozdzielni 30 kV dotrzymane jest napięcie zadane i załączone są generatory G1-G6 posiadające odpowiedni zapas regulacji. Moc czynna pobierana przez T3-T6 przekracza 20 MW. Dlatego też transformatory T3-T6 pracują w trybie regulacji bilansu mocy biernej. Rys. 2 przedstawia przebieg wartości tg_ϕ w rozpatrywanym przedziale czasowym.

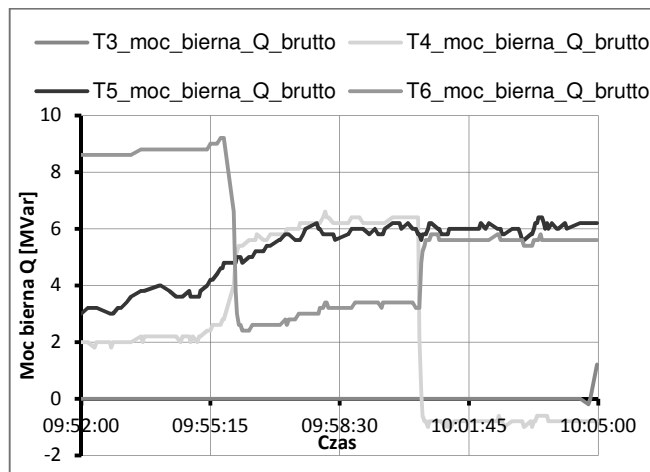


Rys 2. Przebiegi wartości tg_ϕ w rozpatrywanym przedziale czasowym, dla kryterium regulacji bilansu mocy biernej zgodnie z 3.1 b.

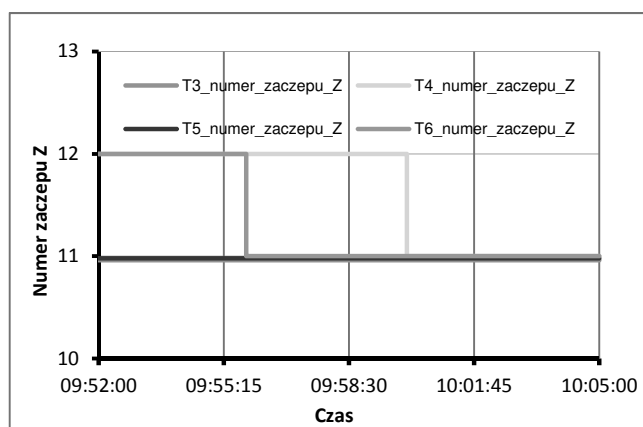
Jeżeli zadana wartość zostaje przekroczona (3), następuje zmiana zaczełu w odpowiednim transformatorze (przez który aktualnie przepływa największa wartość mocy biernej (T6)). Ponieważ wartość tg_ϕ pozostaje w dalszym ciągu przekroczona, następuje zmiana zaczełu w kolejnym transformatorze (T4), przez który w danym momencie przepływa najwyższa wartość mocy biernej. Przebiegi mocy biernej przepływającej przez poszczególne transformatory, jak również pozycje zaczełów zostały przedstawione na rys. 3 i 4.

W drugim przykładzie przedstawiono sytuację z innego dnia, kiedy napięcie w rozdzielni 30 kV jest dotrzymane, generatory posiadają zapas regulacji, natomiast sumaryczna moc czynna pobierana przez T3-T6 wynosi poniżej 20 MW. Transformatory pracują więc w kryterium regulacji przepływu mocy biernej ze strefą nieczułości ± 5 Mvar.

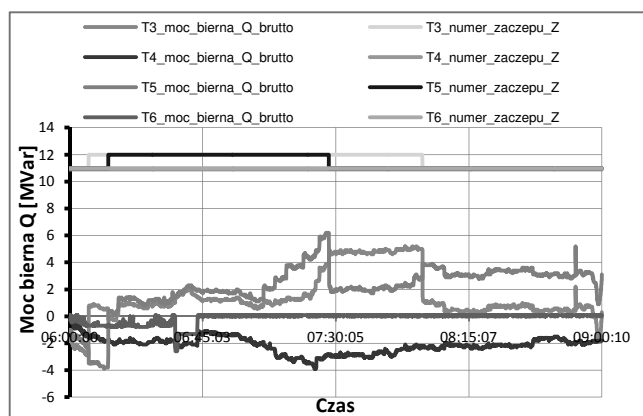
Na rys. 5 przedstawiono przebieg mocy biernej przepływającej przez poszczególne transformatory. Jeżeli sumaryczna wartość mocy przekroczy ± 5 , następuje przełączenie zaczełu transformatora wybranego zgodnie z zasadą przedstawioną w punkcie 3.1. Na rys. 5 można zaobserwować, że przełączenie następuje najpierw na TS1 (największa wartość bezwzględna mocy), potem na TS3, natomiast po zmianie warunków w rozdzielni dochodzi do przełączenia zaczełu w odwrotnym kierunku przez te same transformatory.



Rys 3. Przebiegi mocy biernej przepływającej przez poszczególne transformatory, dla kryterium regulacji bilansu mocy biernej zgodnie z 3.1 b.

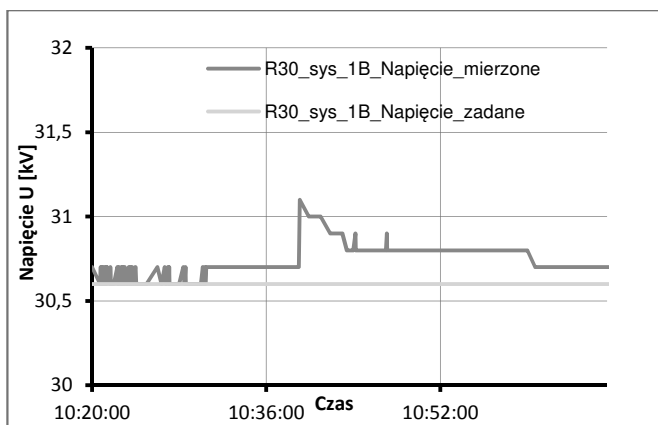


Rys 4. Pozycje przełącznika zaczełów poszczególnych transformatorów, dla kryterium regulacji bilansu mocy biernej zgodnie z 3.1 b.

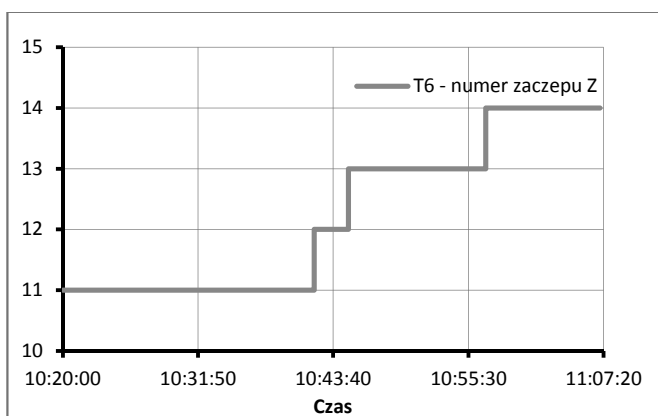


Rys 5. Przebieg mocy biernej przepływającej przez poszczególne transformatory oraz pozycje zaczełów tychże transformatorów, dla kryterium regulacji przepływu mocy biernej zgodnie z 3.1 c.

W trzecim przykładzie pokazano sytuację, w której w jednym z systemów 30 kV nie ma załączonego żadnego z generatorów, natomiast podpięty jest transformator T6. W tej sytuacji zadaniem T6 jest regulacja napięcia w tym systemie, natomiast za regulację tg_ϕ odpowiadają T3-T5. Na rys. 6 przedstawiono napięcie zadane i mierzone w opisywanym systemie, a na rys. 7 – pozycje zaczełów transformatora T6.



Rys 6. Napięcie zadane i mierzone w jednym z systemów 30kV, zgodnie z kryterium regulacji w podpunkcie 3.1 a.



Rys 7. Pozycja zaczepów transformatora T6, zgodnie z kryterium regulacji w podpunkcie 3.1 a.

5. PODSUMOWANIE

Ze względu na stale rozbudowujący się KSE i związany z tym wzrost komplikacji poszczególnych węzłów wymagane jest rozszerzenie funkcjonalności układów ARNE/ARST, tak aby spełniały nowe wymagania. Układ ARNE/ARST zobligowany jest do jednoczesnego spełnienia kilku kryteriów regulacji, takich jak: utrzymywanie napięcia, sterowanie przepływem mocy czynnej i biernej, jak również regulację bilansu mocy biernej zakładu przemysłowego z SEE. Zagadnienie to jest bardzo skomplikowane, ponieważ układ ARNE sam musi rozpoznać aktualny stan połączeń topologii, wywnioskować, które urządzenia pracują równolegle, jak również przypisać im odpowiednie kryteria regulacji w zależności od stanu systemu

elektroenergetycznego. Musi także skoordynować pracę poszczególnych urządzeń. W rozpatrywanym węźle możliwych jest co najmniej kilkaset konfiguracji, gdyż poszczególne rozdzielnie posiadają od 4 do 8 systemów szyn, urządzenia mogą być załączone na teoretycznie dowolny system lub też nie posiadać zakresu regulacyjnego.

W artykule został przedstawiony fragment regulacji węzła, dotyczący regulacji bilansu mocy biernej w połączeniu z regulacją napięcia i sposobem wyboru algorytmów dla urządzeń rozdzielni 30 kV. Nowością w tego typu rozwiązaniach jest uwzględnienie regulacji bilansu mocy biernej zakładu przemysłowego z SEE w układzie regulacji grupowej oraz koordynacja algorytmu z pozostałymi funkcjonalnościami układu regulacji grupowej. Rozwiązanie to pozwala na całkowicie automatyczną pracę węzła (względem przedstawionych kryteriów), który podlega częstym zmianom zapotrzebowania na moc oraz dynamicznie zmieniającej się konfiguracji topologii stacji.

Na podstawie przebiegów z rejestracji można wywnioskować poprawną pracę układu, jak również założonych algorytmów.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kolendo P.: New methods of power nodes automatic operation in scope of voltage regulation, reactive power and active power control. *Advances in Intelligent Systems and Computing*- przyjęte do druku (2019)
2. Kolendo P., Jendrzewska A., Szuca M., Ogryczak T.: Current Issues of Group Control in the Example of Solutions for the Włocławek Node. *Acta Energetica*, 09/2017, (2017)
3. Opala K., Rozenkiewicz P., Kolendo P., "Opracowanie algorytmów lokalnej współpracy automatyki przesuwnika fazowego z układem ARST/ARNE w węźle regulacyjnym, Etap I, praca badawcza Instytutu Energetyki, (2015).
4. PSE S.A.: Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (2017)
5. Kowalak R., Małkowski R., Szczerba Z. i Zajczyk R.: „Automatyka systemowa a bezpieczeństwo energetyczne kraju. Tom 3 Węzły sieci przesyłowej i rozdzielczej” Gdańsk: wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013. ISBN 978-7348-467-2.
6. Dolny R. et al., "Analiza wpływu zmian programów i algorytmów ARNE ARST na możliwości regulacyjne i bezpieczeństwo pracy KSE, Etap I, praca badawcza Instytutu Energetyki, (2008).

CONTROLLING OF THE REACTIVE POWER BALANCE BY A GREAT INDUSTRIAL RECEIVER IN ARNE/ARST GROUP CONTROL SYSTEM

In recent years, some Great Industrial Receivers connected to the National Power System have been building high-power energy blocks intended to supply their own industrial factories as well as to sell energy to the transmission network. The new blocks are thus connected at the same time with an industrial plant as well as with a transmission network, which causes a significant complication of regulation algorithms for automation systems. Despite the change in the profile of industrial factories to production, these factories are forced to maintain an adequate balance of reactive power with transmission network due to settlement requirements. As part of the work, the authors will present the method of controlling the reactive power balance and the method of algorithms coordination in group control systems for the existing power node in KSE.

Keywords: ARNE group control systems, control of reactive power balance, ARST systems