

Current Issues of Group Control in the Example of Solutions for the Włocławek Node

Authors

Piotr Kolendo
 Anna Jendrzejewska
 Michał Szuca
 Tomasz Ogryczak

Keywords

ARNE/ARST systems, group control, phase shift transformers

Abstract

Current issues of a group control are discussed in the example of solutions for the Włocławek node. The ARNE/ARST group control systems are responsible for the automatic regulation of voltage at the power plants high voltage substation, the reactive power flow control, as well as the active power flow control. Due to the degree of the node complexity, automated operation scenarios were developed for the most common topology states. The paper presents a description of the basic operating scenario and analyses the nodes control performance based on data from the object.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2017307

Received: 02.02.2017

Received in revised form: 08.03.2017

Accepted: 09.03.2017

Available online: 30.09.2017

1. Introduction

ARNE/ARST group control systems are used for the automatic regulation of voltage and reactive power in the National Power System (NPS). Voltage setpoints for these systems are provided via the communication module of the Area Voltage Regulation System (MK SORN) or via the Dyster system from the Area Power Dispatch (ODM) or National Power Dispatch (KDM) centres. To maintain the set voltage all equipment available in high voltage substations and power plants, such as generators, transformers, capacitor banks and reactors, is used. A description of classic ARNE/ARST control solutions can be found in [4, 5].

When building new units, the investors are mainly guided by economic considerations. Power generation as a return on investment path usually does not suffice to approve the capex budget, hence the need to use additional available resources, e.g. in the form of clean energy support schemes, electricity and heat co-generation, or offering the process heat as another product alongside electricity to a consumer, who is obliged to reduce emissions from their own boilers. The above requirements impose on designed power systems functionalities that are much more extended than the unit connections used so far, while providing a consumer supply capacity reserve, and reducing the energy transfer costs, as is the case

in the Włocławek node. Phase shift transformers are becoming a common practice in the active power flow control. Modern ARNE/ARST systems are extended with active power control elements, adapting the algorithms to the needs of the generating node and of other applications.

The paper presents the latest solutions of the group control system on the example of the Włocławek node. For the sake of simplicity, the term “node” refers in the paper to the power substation, power plant and industrial customer collectively. In addition to maintaining the voltage on the buses of the high-voltage substation and controlling the reactive power flow, also the active power flow is controlled in the node. This purpose is served by two (160 MVA) autotransformers at the substation, a (543 MVA) synchronous generator, BAT10 (550 MVA) and BAT20 (230 MVA) transformers, and PST (230 MVA) phase shift transformer.

The second chapter presents a general description of the ARNE/ARST systems, and the third chapter describes a detailed solution for the Włocławek node. In chapter four the results of a test in the object are discussed, and in chapter five the work is summarized.

2. ARNE/ARST systems

In standard solutions, ARNE systems are deployed in the power plant section and control generators and step-up transformers. ARNE systems coordinate their operation with ARST systems that are deployed in power substations and control the operation of coupling transformers, reactors and capacitor banks. ARNE systems are responsible for:

- voltage regulation on the buses of the power plants high-voltage substation
- control of the permissible range of generator operations
- equal reactive power loads of the generators supplying the same bus system.

Voltage is regulated according to the characteristics shown in Fig. 1, where Q_{min} , Q_{max} – defines the control range of group regulator, $\Delta U_{permitted}$ – is the slope of characteristics, and ϵ_U – is the deadband.

ARST systems are responsible for the substation operation to the extent of:

- voltage regulation on the lower or upper side
- reactive power flow control.

The ARNE/ARST systems control has been extended in recent years to include step-up transformers as well as phase shifters installed in some nodes.

Step-up transformers with on-load control are installed in all newly built or modernized units, therefore their number in the NPS has increased significantly over the last five years. Their use in group control systems allows to operate the generators full control range. When a generator still has a control range (Q_{min} , Q_{max}) and its voltage has reached the minimum or maximum, the use of a step-up transformer in group control allows for further adjustment. By changing the transformer ratio in ARNE system, the generators permitted voltage range can be again utilised as well as its entire control range, where the limit will be set by the generator voltage regulators limiters. The minimum voltage determines the correct performance of the auxiliary devices, while the maximum voltage is limited by the breakdown voltage of the unit transformer and generator insulation. For operational reasons, the voltage range of the generator at which the change-over occurred has been narrowed (Fig. 2).

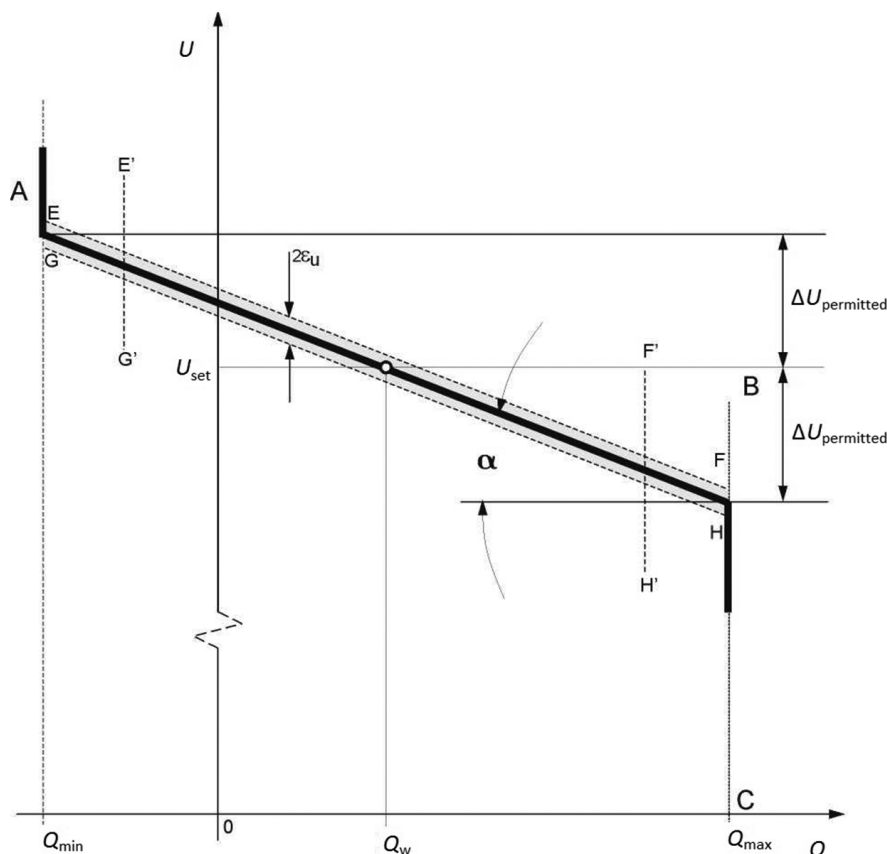


Fig. 1. Regulation characteristics of a system [1]



Fig. 2. Narrowed voltage range of the generator

In the green range (U_{Tmin} , U_{Tmax}) ARNE uses the generators voltage controller. If the yellow range is reached, the step-up transformer will change its tap so that, as a result of the ARNE system's intervention, the generator voltage returns to the green range. The tap-changer control method is shown in (1), where U_g is the voltage measured at the generator terminals, and U_{Tmin} , U_{Tmax} is the narrowed voltage range.

$$\begin{aligned} U_{Tmin} > U_g &\Rightarrow \text{Control_upwards} \\ U_{Tmax} < U_g &\Rightarrow \text{Control_downwards} \end{aligned} \quad (1)$$

Once the extreme transformer taps are reached, the generator continues the control until the extremes U_{Gmin} or U_{Gmax} are reached. The narrowed range is selected in such a way as to minimize the number of transformer tap changes (several/a dozen or more changes per week). Where several unit transformers are connected to the same bus system, a leading transformer is selected, and the remaining transformers follow its voltage ratio. The unit transformer control algorithms are presented in studies [3, 6].

Phase shifters are used to control the active power flow within a node or to control the active power flow of in a cross-border interconnection [2, 7]. Since ARNE/ARST systems control all devices in the node, independently of the ownership issues, and the active power flow may depend on the values at various locations in the node, it is expedient to include phase shifters in the group control.

Phase shifter in a group control system can operate in two modes:

- maintaining active power at set-point: dispatcher sets a certain active power, and ARNE/ARST system maintains it by changing the taps

- power balancing: used for billing purposes, e.g. an industrial consumer is supplied by two lines by two different suppliers. Based on measurements in the individual lines, the consumers active power intake is calculated and the shifter controls the active power flow so that the power is taken from the "cheaper line". The resulting active power in the other line will be close to zero.

The issued of phase shifter adjustment in a group control system are discussed in [7].

3. Description of the Włocławek power node

Fig. 3 shows a simplified diagram of the Włocławek node before its extension, and Fig. 4 shows the current node diagram.

The group control prior to the extension, included AT1 and AT2 autotransformers. The substations R110 kV switchgear was connected by two cables to the industrial consumer R110 kV switchgear.

After the extension, the control includes the 543 MVA generator, BAT10 and BAT20 transformers, and PST phase shifter transformer with the longitudinal as well as lateral adjustment. Due to the degree of the nodes complexity, it was assumed that subject to the automatic control would be only the most common topology configurations. Their number depends on the topology layout and the statuses of individual devices connections. Based on the switch status details the ARNE/ARST identifies the topology and automatically assigns to each device the control mode consistent with a pre-developed scenario.

Due to the number of assumed scenarios, only the operating variant for the basic system is presented in the study. All available devices are switched-on in the basic variant and the systems on the transformers lower and upper sides are interconnected.

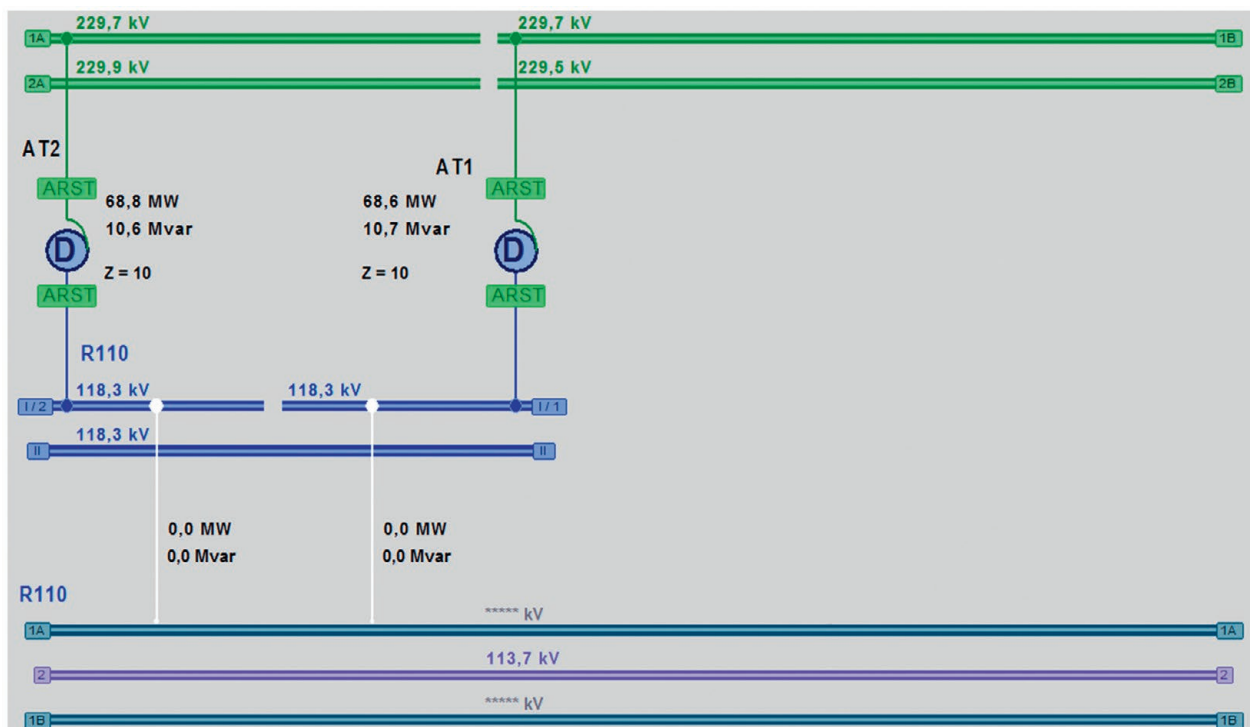


Fig. 3. The Włocławek node before extension

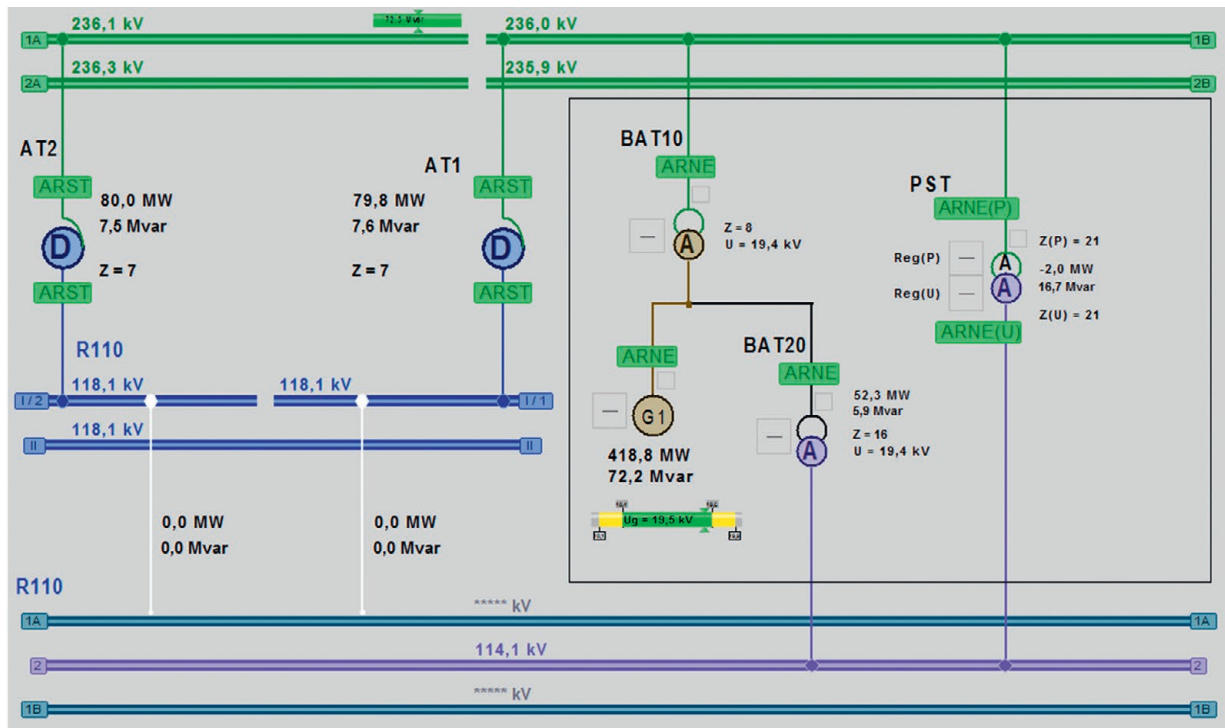


Fig. 4. The current Włocławek node diagram

In addition, the cable connection between the power substations and the industrial customers R110 kV switchgear is open (Fig. 4).

The adjustment criteria for this configuration were developed as follows:

- 543MVA generator maintains the set voltage at R220 kV
- AT1, AT2 maintain the set voltage on the power substations R110 kV buses
- BAT20 maintains the set voltage on the industrial customer R110 kV buses
- PST prevents reactive power circulation in the system, if inductive (+) reactive power flows to the industrial customer, the reactive power flowing through PST also must be positive. This is accomplished by changing the voltage ratio responsible for the longitudinal adjustment
- PST controls the active power flow by changing the voltage ratio responsible for the transverse adjustment (+/-10 MW tap)
- BAT10 maintains the voltage on the lower side (19 kV), in accordance with the principle described in the second chapter, allowing the utilisation of the generators full reactive power range.

4. Analysis of the developed algorithms performance based on object data

This chapter presents the graphs of the system operation recording, based on which the performance was analysed of the adopted control algorithm. For test purposes in a short space of time the preset voltages was repeatedly changed, the characteristics slope $\Delta U_{dop} = 0$, while the deadbands were, respectively $\epsilon_u = 0.5$ kV for R220 kV and $\epsilon_u = 0.5$ kV for R110 kV

of the substation and $\epsilon_u = 1,0$ kV for R110 kV of the industrial customer.

Fig. 5 shows the graph of the set voltage and the voltage measured for R220 kV switchgear; and Fig. 6 shows the graph of the reactive power changes for 543 MVA generator.

As can be seen in the above figures, the generator was following the changes of the voltage set in R220 kV, allowing the voltage to remain within acceptable range.

Fig. 7 shows the graph of the set voltage and the voltage measured in the substation's R110 kV switchgear, and Fig. 8 shows the tap positions of AT1 and AT2 autotransformers.

As can be seen in the above figures, AT1 and AT2 were following the changes of the voltage set in the substations R110 kV switchgear, allowing the voltage to remain within acceptable range.

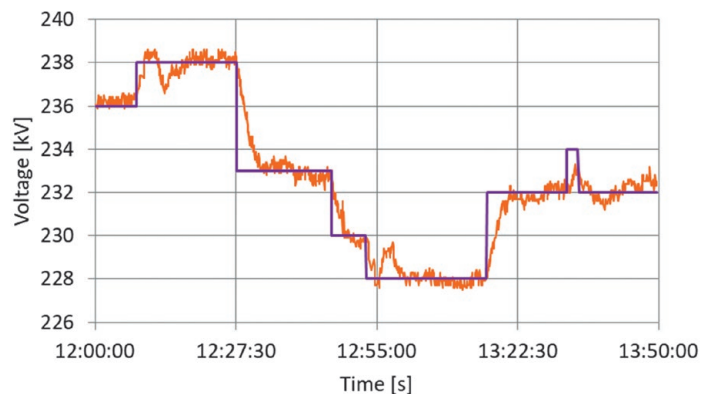


Fig. 5. Measured voltage and set voltage in IIA R220 kV system

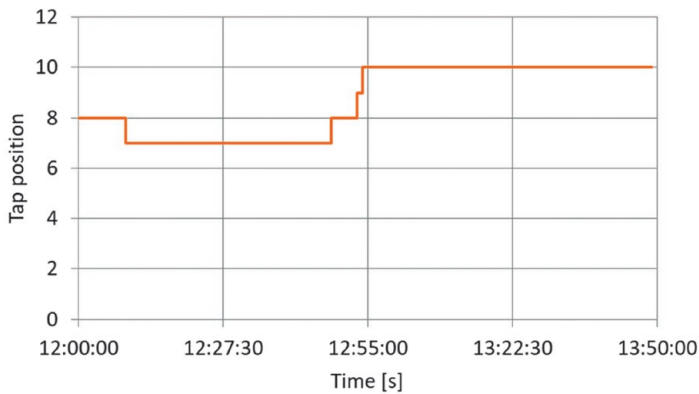


Fig. 12. Positions of BAT10 tap

and, in response to the ARNE system intervention, the set voltage returns within the range defined by U_{Tmin} , U_{Tmax} and the control is continued with the generator voltage controller. As can be seen in Fig. 11 and Fig. 12, the generator properly interoperates with BAT10 transformer.

5. Summary

This paper presents a general concept of the group control system for a generation node, as exemplified by the ARNE/ARST system solution in the Włocławek node. It reports recordings of the measurements taken at tests carried out in the object, and based on these the proper performance of the adopted control algorithms is ascertained. It can be concluded from the analysis of the solution for the node in question that the coordination of all devices operations is needed. Their independent operations could lead to dangerous/undesirable situations such as voltage overruns and oscillations, reactive power circulation in the system, counteracting of individual system components, as well as frequent changes in the voltage ratios of individual transformers, which would shorten their time to review/repair.

Due to the fact that the reactive power flow in the system is the resulting power needed to maintain the set voltage at every point in the system, the entire node should be considered as generation node. In the case of such an atypical solution, the industrial customer should not be treated as receive node, and the part associated with the generation should not be treated as generation node. With regard to a receive node, the transmission grid operator requires to maintain the appropriate value of $tg \varphi$, an excess over which is punishable. For the node under consideration, maintaining the required $tg \varphi$ is only relevant for billing, and is not due to its actual condition. The reactive power inflow to the industrial customer will be the resulting – needed

to maintain a certain voltage level at R110 kV of the customer. If this power is not flowing through PST, then the whole reactive power will be directed through BAT20. Maintaining a $tg \varphi$ of less than 0.3 at the point of the phase shifters connection to R220 kV will result in unequal reactive power load of the transformers, as well as overuse of PST and BAT20 tap changers.

REFERENCES

1. R. Dolny et al., "Analiza wpływu zmian programów i algorytmów ARNE ARST na możliwości regulacyjne i bezpieczeństwo pracy KSE, Etap I" [Analysis of the impact of changes in ARNE ARST programs and algorithms on the regulatory capacity and operational security of the NPS, Stage I], a study of the Institute of Power Engineering, 2008.
2. H. et al. Kocot, "Dobór głównych parametrów przesuwników fazowych dla zachodnich połączeń transgranicznych KSE" [Selection of main parameters of phase shifting transformers for NPS western cross-border interconnections], *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 90, No. 42, 014.
3. P. Kolendo, M. Szuca, M. Drop, "Wykorzystanie transformatorów blokowych z regulacją podobciążeniową w układach regulacji grupowej Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa w elektrowniach ciepłych" [Use of unit transformers with on-load control in group control systems of the National Power System. Electrical power automatic protections in thermal power plants], Koźnice 2014.
4. M. Łosiński, "Regulacja grupowa napięcia w systemie elektroenergetycznym – algorytmy i modelowanie" [Voltage group regulation in the power system – algorithms and modelling], Ph.D. dissertation, Gdansk University of Technology, 2005.
5. J. Machowski, "Regulacja i stabilność systemu elektroenergetycznego" [Power system adjustment and stability], Publishing House of the Warsaw University of Technology, Warsaw 2007.
6. K. Madajewski, R. Dolny, R. Orłowska, "Wykorzystanie podobciążeniowej regulacji przekładni transformatorów blokowych dla potrzeb regulacji napięcia w systemie elektroenergetycznym" [Use of step-up transformers with on-load voltage ratio control for voltage regulation in the power system], a study of the Institute of Power Engineering, 2000.
7. K. Opała, P. Rozenkiewicz, P. Kolendo, "Opracowanie algorytmów lokalnej współpracy automatyki przesuwnika fazowego z układem ARST/ARNE w węzle regulacyjnym, Etap I" [Development of algorithms for local interoperation of phase shift transformers automatic controls with ARST/ARNE in a regulation node, Stage I], a study of the Institute of Power Engineering, 2015.

Piotr Kolendo

Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering

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

Graduated with a masters degree (2010) and was awarded the doctor of engineering degree (2016) from the Faculty of Electrical and Control Engineering at Gdańsk University of Technology. Currently employed at the Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering. His area of interest covers issues of area voltage regulation, especially ARNE/ARST group control systems, as well as multi-criteria optimization. Author of over 20 publications in national and international journals. He developed the regulation concept and dealt with the implementation of ARNE systems in the largest power plants in Poland, such as Bełchatów, Kozienice, Turów, Opole, Żarnowiec, Jaworzno, and Włocławek.

Anna Jendrzewska

PKN Orlen SA

e-mail: Anna.Jendrzewska@orlen.pl

Graduated as M.Sc. from the Faculty of Electrical Engineering at Łódź University of Technology (1999). Currently employed by PKN ORLEN SA at Włocławek CHP plant. Her area of interest covers issues of functioning of the power unit as a JWCD in the NPS and maintenance of the electric traffic.

Michał Szuca

Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering

e-mail: m.szuca@ien.gda.pl

Graduated as MSc in 1973 from the Faculty of Electrical Engineering at Gdańsk University of Technology. Currently employed at the Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering. His area of interest covers issues of area voltage regulation, especially ARNE/ARST group control systems. Since 1987 he has been involved in the implementation of ARNE systems in the National Power System.

Tomasz Ogryczak

Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering

e-mail: t.ogryczak@ien.gda.pl

Graduated as MSc from Gdańsk University of Technology, Faculty of Electronics, and from post-graduate Studies of Law and Management at the Faculty of Management and Economics of the same university. Since 1995 in the Gdańsk Branch of the Institute of Power Engineering, where he deals with the development and implementation of automatic voltage and reactive control systems for power plants, and transmission and distribution grids. Currently, as manager of the Department of Power Systems Automation, he continues his previous research activities, additionally expanded to include innovative power grid operation management support systems, deployment and management of smart grids and automation systems for wind farms and other renewable energy sources.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 84–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Aktualne zagadnienia regulacji grupowej węzła wytwórczego na przykładzie rozwiązań dla węzła Włocławek

Autorzy

Piotr Kolendo
Anna Jendrzejevska
Michał Szuca
Tomasz Ogryczak

Słowa kluczowe

układy ARNE/ARST, regulacja grupowa węzła wytwórczego, przesuwniki fazowe

Streszczenie

Aktualne problemy regulacji grupowej węzła wytwórczego przedstawiono na przykładzie rozwiązań dla węzła Włocławek. Układ regulacji grupowej ARNE/ARST odpowiedzialny jest za automatyczną regulację napięcia na przebiegającej stacji wysokich napięć, sterowanie przepływem mocy biernej, jak również sterowanie przepływem mocy czynnej. Ze względu na stopień złożoności węzła opracowano scenariusze pracy automatycznej dla najczęściej występujących układów topologii. W artykule przedstawiono opis podstawowego scenariusza pracy i na podstawie danych z obiektu analizowano poprawność regulacji w węźle.

Data wpływu do redakcji: 02.02.2017

Data wpływu do redakcji po recenzjach: 08.03.2017

Data akceptacji artykułu: 09.03.2017

Data publikacji online: 30.09.2017

1. Wstęp

Układy regulacji grupowej ARNE/ARST wykorzystywane są do automatycznego prowadzenia ruchu w zakresie regulacji napięcia i mocy biernej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE). Wartości zadane napięć dla tych układów przekazywane są za pośrednictwem modułu komunikacyjnego systemu obszarowej regulacji napięcia (MK SORN) lub systemu Dyster z Ośrodków Obszarowej Dyspozycji Mocy (ODM) lub Krajowej Dyspozycji Mocy (KDM). Do utrzymania napięcia zadanego wykorzystywane są wszystkie urządzenia dostępne w stacjach elektroenergetycznych wysokich napięć oraz elektrowniach, takie jak generatory, transformatory, baterie kondensatorów oraz dławiki. Opis klasycznych rozwiązań regulacji układów ARNE/ARST można znaleźć w [4, 5].

Przy budowie nowych bloków inwestorzy kierują się głównie względami ekonomicznymi. Generacja mocy jako jeden z kierunków zwrotu nakładów zwykle nie wystarcza do zatwierdzenia budżetu inwestycji, stąd potrzeba wykorzystania dodatkowych źródeł dostępnych, np. w formie systemów wsparcia czystej energii, skojarzenia procesów produkcji energii elektrycznej i ciepła, czy oferowanie ciepła procesowego jako drugiego produktu obok energii elektrycznej odbiorcy, który jest zobligowany do ograniczenia emisji z własnych kotłów. Powyższe potrzeby narzucają projektowanym układom elektroenergetycznym funkcjonalności znacznie bardziej rozwinięte niż stosowane dotychczas połączenia blokowe, zapewniając jednocześnie rezerwę zasilania odbiorcy, ograniczenie kosztów związanych z przesyłem energii, jak w przypadku węzła Włocławek. Przesuwniki fazowe stają się powszechną praktyką regulacji rozprawy mocy czynnej.

Nowoczesne układy ARNE/ARST rozbudowuje się o elementy w zakresie sterowania przepływami mocy, dostosowując algorytmy zarówno do potrzeb węzła wytwórczego, jak i do innych wyznaczonych daną aplikacją.

W artykule przedstawiono najnowsze rozwiązanie układu regulacji grupowej na przykładzie węzła Włocławek. Dla uproszczenia zapisu w artykule nazwa „węzeł” odnosić się będzie do stacji elektroenergetycznej, elektrowni oraz odbiorcy przemysłowego łącznie. W węźle tym, oprócz utrzymywania napięcia na szynach przebiegającej stacji wysokich napięć oraz sterowania przepływem mocy biernej, kontrolowany jest również przepływ mocy czynnej. W tym celu wykorzystywane są dwa autotransformatory (160 MVA) na stacji elektroenergetycznej, generator synchroniczny (543 MVA), transformator BAT10 (550 MVA) oraz BAT20 (230 MVA), a także transformator z przesuwnikiem fazowym PST (230 MVA).

W rozdziale drugim przedstawiono ogólną charakterystykę układów ARNE/ARST, a w trzecim rozwiązanie szczegółowe układu dla węzła Włocławek. W rozdziale czwartym – wyniki badań testowych w obiekcie, a w rozdziale piątym podsumowano prace.

2. Układy ARNE/ARST

W standardowych rozwiązaniach układy ARNE znajdują się w części elektrownianej i obejmują swoją regulacją generatory oraz transformatory blokowe. Układy ARNE koordynują swoją pracę z układami ARST, które znajdują się w stacjach elektroenergetycznych i sterują pracą transformatorów sprzęgających, dławików oraz baterii kondensatorów. Układy ARNE odpowiedzialne są za:

- regulację napięcia na szynach przebiegającej stacji wysokich napięć

- kontrolę dopuszczalnego zakresu pracy generatorów
- równomierne obciążenie mocą bierną generatorów pracujących na ten sam system szyn.

Regulacja napięcia prowadzona jest zgodnie z charakterystyką przedstawioną na rys. 1, gdzie Q_{\min} , Q_{\max} – określa zakres regulacyjny danego regulatora grupowego, ΔU_{dop} – jest nachyleniem charakterystyki, a ε_{ii} – strefą nieczułości.

Układy ARST odpowiedzialne są za prowadzenie ruchu stacji elektroenergetycznej w zakresie:

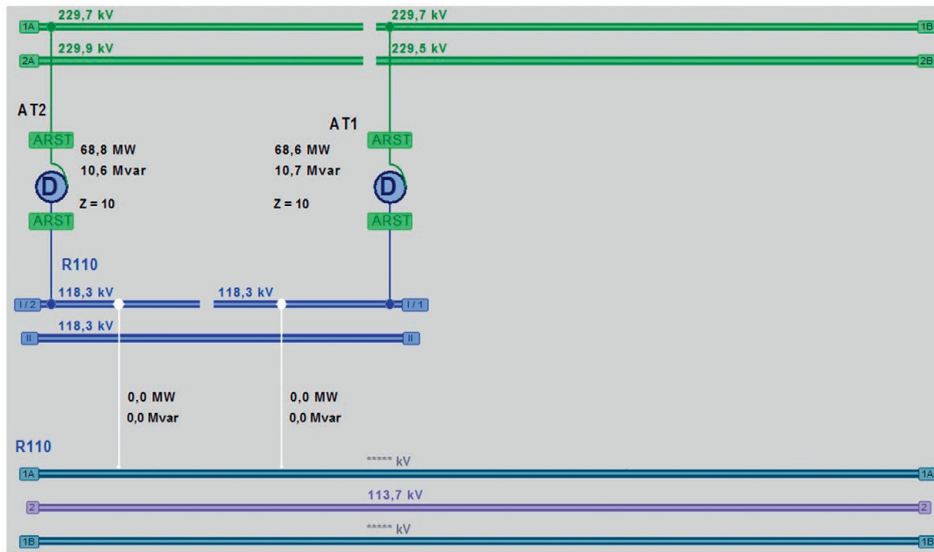
- regulacji napięcia po stronie dolnej lub górnej
- sterowania przepływem mocy biernej.

W ostatnich latach układy ARNE/ARST objęły swoją regulacją transformatory blokowe, jak również przesuwniki fazowe, instalowane w niektórych węzłach.

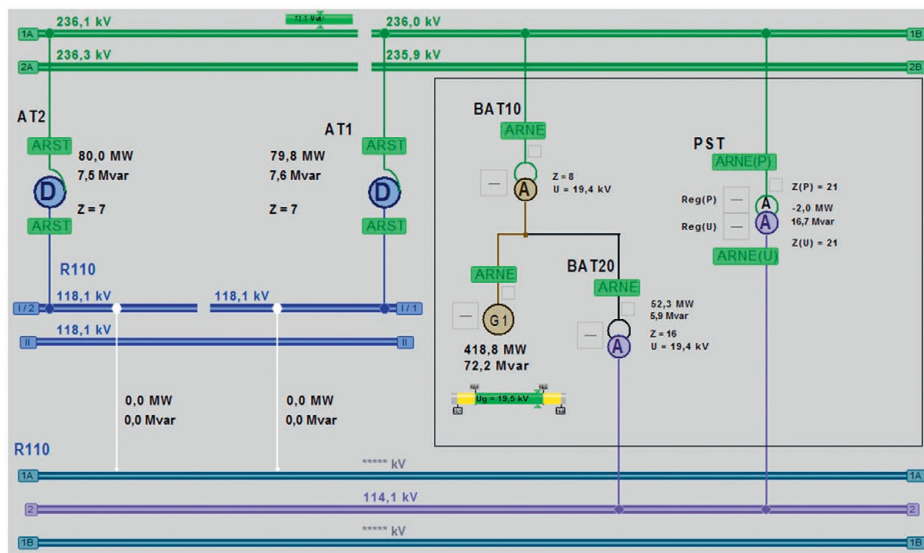
Transformatory blokowe z regulacją podobciążeniową instalowane są na wszystkich nowo budowanych lub modernizowanych blokach, dlatego też ich liczba w KSE na przestrzeni ostatnich pięciu lat znacząco wzrosła. Ich zastosowanie w układach regulacji grupowej pozwala wykorzystać pełny zakres regulacyjny generatorów. W sytuacji, kiedy generator ma jeszcze zakres regulacyjny (Q_{\min} , Q_{\max}), a napięcie generatora osiągnęło wartość minimalną lub maksymalną, wykorzystanie transformatora blokowego w regulacji grupowej umożliwi dalszą regulację. Poprzez zmianę przekładni transformatora w układzie ARNE możliwy będzie powrót do dopuszczalnego obszaru napięcia generatora i wykorzystanie całego zakresu regulacji, gdzie wartością graniczną będą ograniczniki regulatora napięcia generatora. Napięcie minimalne warunkuje poprawną pracę urządzeń potrzeb własnych, natomiast napięcie maksymalne

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 84–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 3. Węzeł Włocławek przed rozbudową

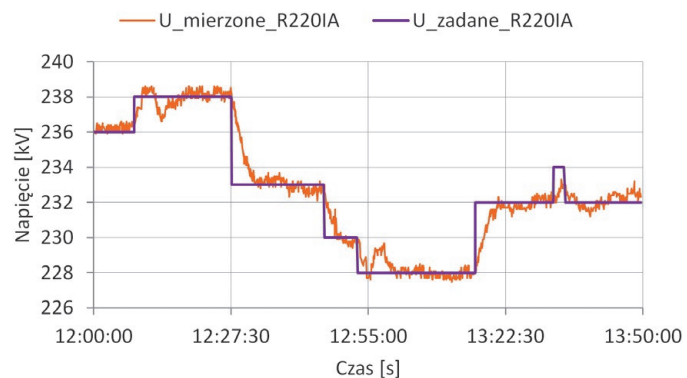


Rys. 4. Aktualny schemat węzła Włocławek

4. Badania poprawności opracowanego algorytmu na podstawie danych obiektowych

W rozdziale przedstawione zostały wykresy z rejestracji pracy układu, na podstawie których analizowano poprawność założonego algorytmu regulacji. Dla celów testowych w krótkim odstępie czasu wielokrotnie zmieniano napięcia zadane, nachylenie charakterystyki $\Delta U_{\text{dop}} = 0$, natomiast strefy nieczułości wynosiły odpowiednio $\epsilon_u = 0,5$ kV dla R220 kV oraz $\epsilon_u = 0,5$ kV dla R110 kV stacji elektroenergetycznej i $\epsilon_u = 1,0$ kV dla R110 kV odbiorcy przemysłowego.

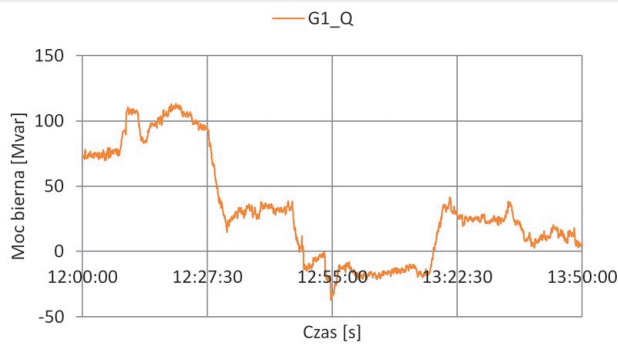
Na rys. 5 przedstawiony został wykres napięcia zadanego oraz napięcia mierzonego dla rozdzielni R220 kV natomiast na rys. 6 wykres zmian mocy biernej dla generatora 543 MVA.



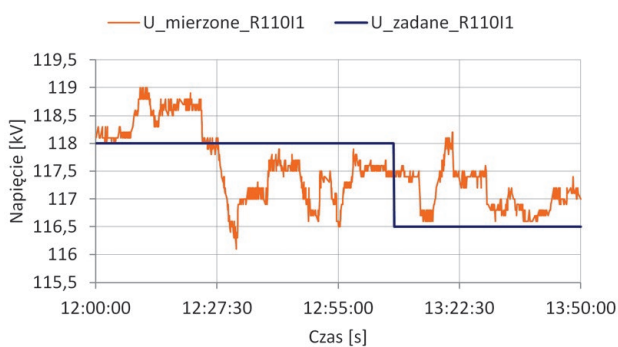
Rys. 5. Napięcie mierzone oraz napięcie zadane na systemie IIA R220 kV

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 84–90. When referring to the article please refer to the original text.

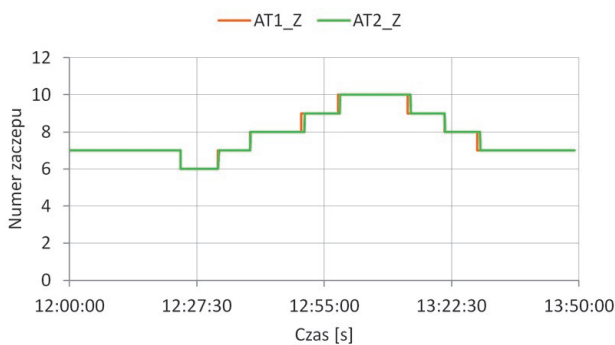
PL



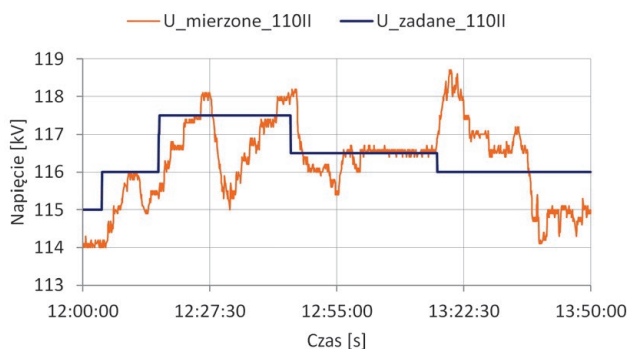
Rys. 6. Wykres zmian mocy biernej generatora 543 MVA



Rys. 7. Napięcie mierzone oraz napięcie zadane na systemie II R110 kV stacji elektroenergetycznej



Rys. 8. Pozycje zaczepek AT1 oraz AT2



Rys. 9. Napięcie mierzone oraz napięcie zadane na systemie II R110 kV odbiorcy przemysłowego

Jak można zaobserwować na powyższych rysunkach, generator nadążał za zmianami napięcia zadanego na R220 kV, umożliwiając utrzymanie napięcia w dopuszczalnym zakresie.

Na rys. 7 przedstawiony został wykres napięcia zadanego oraz napięcia mierzonego dla rozdzielni R110 kV stacji elektroenergetycznej, natomiast na rys. 8 pozycje zaczepek autotransformatorów AT1, AT2. Jak można zaobserwować na rysunkach, AT1 oraz AT2 nadążały za zmianami napięcia zadanego na R110 kV stacji elektroenergetycznej, umożliwiając utrzymanie napięcia w dopuszczalnym zakresie.

Na rys. 9 przedstawiony został wykres napięcia zadanego oraz napięcia mierzonego dla rozdzielni R110 kV odbiorcy przemysłowego, natomiast na rys. 10 pozycje zaczepek transformatora BAT20.

Jak można zaobserwować na rysunkach, BAT20 nadążał za zmianami napięcia zadanego na R110 kV stacji elektroenergetycznej, umożliwiając utrzymanie napięcia zadanego w dopuszczalnym zakresie. Częstotliwość przełączeń zaczepek była związana z kilkukrotną zmianą napięcia zadanego dla R220 kV oraz R110 kV odbiorcy.

Na rys. 11 przedstawiony został wykres napięcia na zaciskach generatora 543 MVA (19 kV), natomiast na rys. 12 pozycje zaczepek transformatora BAT10.

Transformator BAT10 pracuje zgodnie z algorytmem, którego zasada została opisana w rozdziale drugim. Zawężony obszar regulacji znajduje się pomiędzy 18,4–19,6 kV. W tym zakresie układ ARNE/ARST oddziałuje na nastawnik regulatora napięcia. Po osiągnięciu wartości granicznych następuje przełączenie zaczepek BAT10 i w następstwie działania układu ARNE napięcie zadane wraca wewnątrz zakresu zdefiniowanego wartościami U_{Tmin} , U_{Tmax} i kontynuowana jest regulacja z użyciem nastawnika regulatora napięcia. Jak można zaobserwować na rys. 11 i 12 współpraca generatora z transformatorem BAT10 realizowana jest w sposób poprawny.

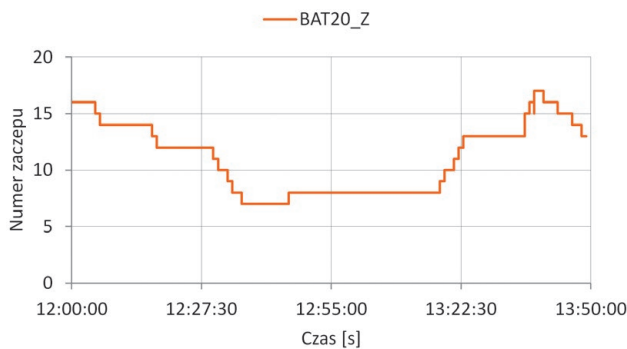
5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono ogólną koncepcję układu regulacji grupowej węzła wytwórczego na przykładzie rozwiązania układu ARNE/ARST w węzle Włocławek. Przedstawiono rejestrację pomiarów z testów przeprowadzonych w obiekcie i na ich podstawie stwierdzono poprawność założonych algorytmów regulacji. Analizując rozwiązanie dla rozpatrywanego węzła, można stwierdzić, że istnieje potrzeba koordynacji pracy wszystkich urządzeń. Samodzielna ich praca mogłaby doprowadzić do niebezpiecznych/niepożądanych sytuacji, takich jak: przekroczenie wartości oraz oscylacje napięcia, krańcowe wartości mocy biernej w układzie, przeciwstawne działania poszczególnych elementów układu, jak również częste zmiany przekładni poszczególnych transformatorów, co skracałoby ich czas do przeglądu/remontu.

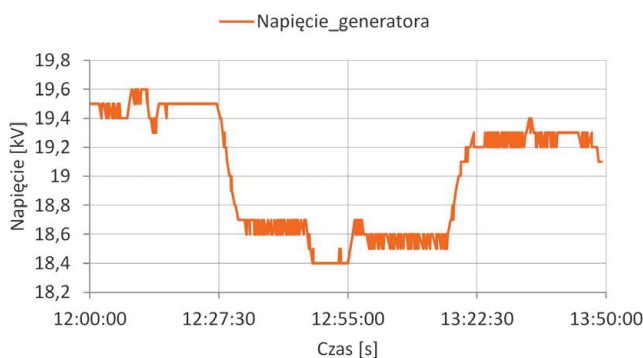
Ze względu na fakt, iż wartość mocy biernej przepływającej w układzie jest wynikowa, potrzebna do utrzymania napięcia zadanego w każdym punkcie układu, cały węzeł powinien być rozpatrywany jako

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 84–90. When referring to the article please refer to the original text.

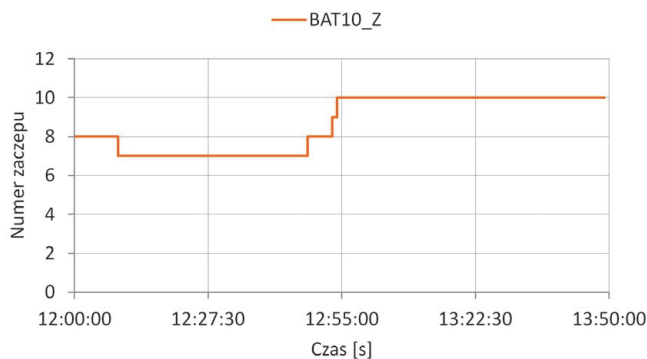
PL



Rys. 10. Pozycje zaczeplu BAT20



Rys. 11. Napięcie na zaciskach generatora 543 MVA (19 kV)



Rys. 12. Pozycje zaczeplu transformatora BAT10

węzeł wytwórczy. W przypadku tak nietypowego rozwiązania nie powinno się traktować odbiorcy przemysłowego jako węzła odbiorczego, natomiast części związanej z generacją jako węzła wytwórczego. W odniesieniu do węzła odbiorczego operator sieci przesyłowej wymaga zachowania odpowiedniej wartości $\text{tg } \varphi$, którego przekroczenie jest karane. Dla rozpatrywanego węzła utrzymywanie wymaganego $\text{tg } \varphi$ ma znaczenie jedynie rozliczeniowe, niewynikające z jego rzeczywistego uwarunkowania. Moc bierna dopływająca

do odbiorcy przemysłowego będzie wynikała – potrzebna do utrzymania określonego poziomu napięcia na R110 kV odbiorcy. Jeżeli moc ta nie będzie płynąć przez PST, to całość mocy biernej zostanie doprowadzona przez BAT20. Utrzymanie $\text{tg } \varphi$ mniejszego niż 0,3 w punkcie podłączenia przesuwnika fazowego do R220 kV będzie skutkowało nierównomiernym obciążeniem mocą bierną transformatorów, jak również nadmiernym eksploatacją przełączników zaczeplów PST oraz BAT20.

Bibliografia

1. Dolny R. i in. Analiza wpływu zmian programów i algorytmów ARNE ARST na możliwości regulacyjne i bezpieczeństwo pracy KSE, Etap I, praca naukowo-badawcza Instytutu Energetyki, 2008.
2. Kocot H. i in., Dobór głównych parametrów przesuwników fazowych dla zachodnich połączeń transgranicznych KSE, *Przegląd Elektrotechniczny* 2014, r. 90, nr 4.
3. Kolendo P., Szuca M., Drop M., Wykorzystanie transformatorów blokowych z regulacją podobciążeniową w układach regulacji grupowej Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa w elektrowniach ciepłych, Koziencice 2014.
4. Łosiński M., Regulacja grupowa napięcia w systemie elektroenergetycznym – algorytmy i modelowanie, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, 2005.
5. Machowski J., Regulacja i stabilność systemu elektroenergetycznego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007.
6. Madajewski K., Dolny R., Orłowska R., Wykorzystanie podobciążeniowej regulacji przekładni transformatorów blokowych dla potrzeb regulacji napięcia w systemie elektroenergetycznym, praca naukowo-badawcza Instytutu Energetyki, 2000.
7. Opala K., Rozenkiewicz P., Kolendo P., Opracowanie algorytmów lokalnej współpracy automatyki przesuwnika fazowego z układem ARST/ARNE w węzle regulacyjnym, Etap I, praca badawcza Instytutu Energetyki, 2015.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 84–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Piotr Kolendo

dr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

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

Ukończył studia magisterskie (2010) oraz uzyskał stopień doktora nauk technicznych (2016) na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Obecnie jest zatrudniony w Instytucie Energetyki Oddział Gdańsk. Obszar jego zainteresowań obejmuje zagadnienia obszarowej regulacji napięcia, w szczególności układów regulacji grupowej ARNE/ARST, a także zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej. Autor ponad 20 publikacji w czasopismach krajowych oraz międzynarodowych. Opracował koncepcję regulacji oraz zajmował się wdrożeniem układów ARNE dla największych elektrowni w kraju, m.in. Elektrowni Belchatów, Elektrowni Kozienice, Elektrowni Turów, Elektrowni Opole, Elektrowni Żarnowiec, Elektrowni Jaworzno czy elektrociepłowni we Włocławku.

Anna Jendrzejewska

mgr inż.

PKN Orlen SA

e-mail: Anna.Jendrzejewska@ornlen.pl

Ukończyła studia magisterskie na Wydziale Elektrotechniki Politechniki Łódzkiej (1999). Obecnie jest zatrudniona w PKN ORLEN SA Elektrociepłownia Włocławek. Obszar jej zainteresowań obejmuje zagadnienia funkcjonowania bloku energetycznego jako JWCD w KSE oraz utrzymania ruchu elektrycznego.

Michał Szuca

mgr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

e-mail: m.szuca@ien.gda.pl

Ukończył studia magisterskie w roku 1973 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Gdańskiej. Obecnie jest zatrudniony w Instytucie Energetyki Oddział Gdańsk. Jego zainteresowania obejmują zagadnienia obszarowej regulacji napięcia, w szczególności układów regulacji grupowej ARNE/ARST. Od 1987 roku zajmuje się wdrażaniem układów ARNE w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym.

Tomasz Ogryczak

mgr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

e-mail: t.ogryczak@ien.gda.pl

Ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektroniki oraz podyplomowe Studium Prawno-Menedżerskie na Wydziale Zarządzania i Ekonomii Politechniki Gdańskiej. Od 1995 roku pracuje w Instytucie Energetyki Oddział Gdańsk, gdzie zajmuje się rozwojem i wdrażaniem układów automatycznej regulacji napięcia i mocy biernej stosowanych w elektrowniach, sieci przesyłowej oraz w sieciach dystrybucyjnych. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku kierownika Zakładu Automatyki Systemów Elektroenergetycznych, kontynuuje dotychczasową działalność dodatkowo rozszerzoną o innowacyjne systemy wspomagania prowadzenia ruchu sieci energetycznych, zagadnienia związane z wdrażaniem i zarządzaniem sieciami inteligentnymi oraz układami automatyki dla farm wiatrowych i innych odnawialnych źródeł energii.