

Review of Recloser Functionality for MV Grid Automation

Authors

Paweł Nandzik
 Piotr Rzepka
 Mateusz Szablicki
 Adrian Halinka

Keywords

reclosers, grid operation control, communication master system, medium voltage grid operation reliability increase, distributed power recovery systems

Abstract

Distribution system operators (DSOs) are now undertaking intensive actions aimed at increasing the degree of medium voltage (MV) grid automation. One of the means to accomplish this task are reclosers. The use of these devices enables improved reliability of electricity supplies to recipients by automatic separation of the disturbance-affected grid portion (then – differently than previously – recipients connected to the rest of the grid can be supplied with electricity). In addition, with the appropriate functional connection of these devices, it is possible to develop master systems for grid operation monitoring and control. Therefore, the paper compares the functionality and parameters of reclosers made by selected manufacturers in terms of assessing their suitability for the development of extensive restitutive automation systems.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2017408

Received: 04.05.2017

Accepted: 28.06.2017

Available online: 23.07.2018

1. Introduction

Requirements imposed by the Energy Regulatory Office (URE) for qualitative control elements constitute a challenge for distribution companies. The companies are obliged to improve their distribution services' quality, which entails, among other measures, improvement of planned quality control indicators. Failure to meet these indicators will be punished by the Energy Regulatory Office with financial penalties. In addition to improving the quality and reliability of electricity supply, the aim of this regulation is also to improve the quality of customer service and to ensure optimal investment efficiency [12, 13]. The distribution grid reliability indicators SAIDI System Average Interruption Duration Index and SAIFI System Average Interruption Frequency Index so far achieved in Poland significantly differ from the European averages [13]. In other European countries, such as Denmark, Germany, France and Italy, the SAIDI and SAIFI indicators were much lower in those years. For example, in Denmark or Germany, the SAIDI index did not exceed 50 minutes a year, while SAIFI in those countries was less than 0.5 interruption per year. In France and Italy these indices were higher but did not exceed 200 minutes and

3 interruptions per year, respectively. In Poland SAIDI amounted to ca. 400 minutes, and SAIFI to 4 interruptions per year. This clearly shows that the power supply quality in Poland must be improved. This problem is supposed to be solved by appropriate investments in distribution grids, which should lead to a significant improvement of the network's reliability and, consequently, to high quality of the distribution services provided. One popular means of improving overhead MV grid reliability is installation of reclosers in the grid depth. These devices allow one to perform several functions, including:

- circuit breaker – switching off the grid's fault-affected section during the short-circuit current flow
- automatic protection – of selected distribution grid sections
- automatic reclosing – automatic recovery of power supply after a transient fault
- automatic transfer switch (ATS)
- electrical quantity measurement
- grid event and disturbance recording.

It should be emphasized that a recloser can operate either stand-alone (which allows the creation of so-called independent intermediate stations in the depth of a distribution grid) or



Fig. 1. The reviewed reclosers: a) ZPUE Koronea THO-RC 27, b) ZOE GVR Recloser, c) Tavrída Electric KTR 27 Recloser

in conjunction with the master control and supervision system over ICT links (which enables the creation of master automation and control systems). As a result, the use of reclosers provides completely new options of grid operation control.

2. Review of recloser functionality

The pursuit to increase the overhead MV grid reliability has forced the installation of reclosers in the depths of these grids. According to the device manufacturers, the basic task of recloser is to implement protection functions and network automation. The implementation of these functions should allow one to improve the grid reliability, e.g. by mitigation of grid disturbance effects (switching off only a small part of the disturbance-affected grid). Consequently, the use of these devices should effectively improve the quality of services provided by distribution companies and the reliability of electricity supplies (e.g. lower the SAIDI and SAIFI indices). Now many vendors offer reclosers. However, these devices are characterized by various technical specifications, design solutions and functionalities. In order to identify recloser functionalities the basic types used in the distribution grids of the National Power System (NPS) were reviewed. The following devices were selected for the review: Tavrída Electric, ZPUE Koronea and ZOE (Zakład Obsługi Energetyki), which are shown in Fig. 1. It should be emphasized that the functionalities were reviewed with a view to the reclosers' suitability to implement the so-called master automatic control systems that enable significantly improving grid reliability. There are two types of such systems:

- centralized systems known as FDIR Fault Detection, Isolation and Restoration
- distributed systems with direct communication Self-Healing Grid.

2.1. Switching endurance

One of recloser life cycle factors is switching endurance. This is determined by two parameters: mechanical endurance and electrical endurance [1]. Mechanical endurance is measured by the number of switching cycles (on-off), which the switch can make in current-free state. After the permissible number of these cycles has been exceeded, the components may wear out mechanically, which disables further operation. Electrical endurance is measured by the number of switching cycles at specific breaking

Recloser specification	Recloser type		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Mechanical endurance [cycles]	30,000	30 000	30 000
Continuous current rating [A]	630	630	630
Rated short-circuit breaking capacity [kA]	12,5	12,5	12,5
Electrical endurance at rated short-circuit breaking capacity [cycles]	No Data	200	200

Tab. 1. Comparison of selected recloser specifications

Measured quantity	Recloser type		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Current measurement	Current transformers	Current transformers or Rogowski coils	Rogowski coils
Voltage measurement	Capacitive voltage dividers	Capacitive voltage dividers	Capacitive voltage dividers

Tab. 2. Comparison of measurement solutions in reclosers of selected producers

capacity until the contacts and/or the arc chamber is worn out. After the permissible number of these cycles has been exceeded, a repair (maintenance or replacement) of the switching elements is necessary. Recloser switching element endurance may vary depending on the arc extinguishing method and the switch design solutions. Based on [2, 4, 6] in Tab. 1 switching capacities of selected reclosers are summarized.

Some manufacturers specify the switching endurance as a function of switched off currents. Fig. 2 shows switching endurance of Tavrída Electric's KTR 27 recloser. Switching characteristics of THO-RC 27 and GVR reclosers are not presented in publicly available materials.

The analysis of the data presented on the reclosers' switching endurance shows that their mechanical endurance are the same. Switching endurance at rated short-circuit breaking capacity of KTR 27 and THO-RC 27 reclosers are the same (Tab. 1). The GVR recloser manufacturer has not provided this specification. Possible differences in the switching endurance at rated short-circuit breaking capacity may come from the switches' different design solutions and mechanisms. From comparison of switching endurance of reclosers and circuit breakers installed in

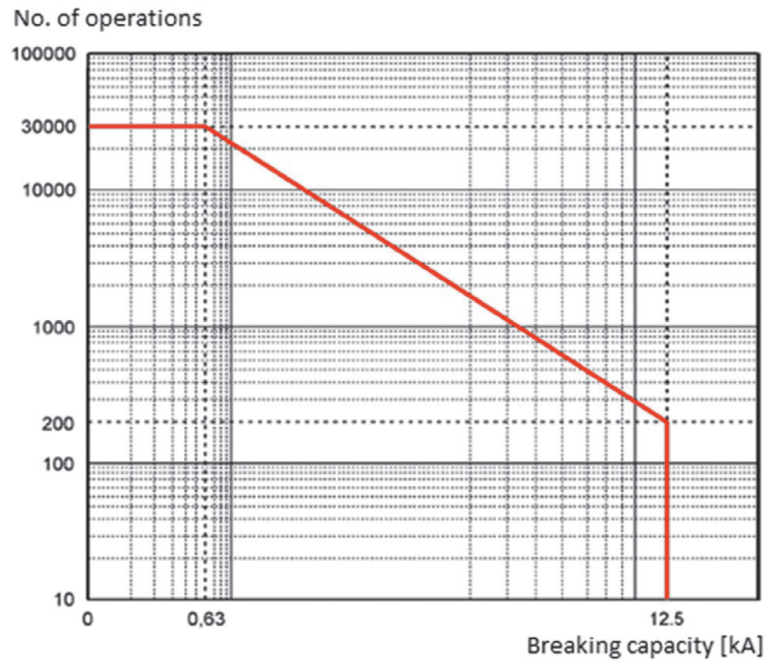


Fig. 2. Switching endurance of KTR 27 recloser by Tavrida Electric [2]

MV outgoing feeders an advantage can be noticed of the circuit breakers in the MV switchgear of HV/MV substations. According to [3], at the same continuous rated current, the circuit breakers are more capable of short-circuit current making. However, their mechanical endurance is the same as that of reclosers. In Fig. 3 switching endurance of Tavrida Electric’s VCB/TEL circuit breaker and KTR 27 recloser are compared.

2.2. Measuring apparatus

Comparative analysis of measured quantity processing shows that there is a significant difference between the measuring systems in traditional MV grid distribution bays and those in reclosers (a characteristic feature of the latter is diversity). Recloser manufacturers employ various measuring apparatus

design solutions, often conditioning a change in the current and voltage processing for measurement and protection purposes [9]. The reviewed enclosers’ measurement system designs are compared in Tab. 2.

The comparison shows that classic current transformers and Rogowski coils (RC) are used to measure grid currents. While the former are long known and widely used, Rogowski coils are a novelty. The main difference between the Rogowski coil and the current transformer is the design. In an RC system the primary winding is a wire with a current, and the secondary circuit is a winding wound on a non-magnetic carcass (Fig. 4). The secondary circuit output is $u(t)$ voltage. This means that the output signal (with very low power) is the measure of the primary current.

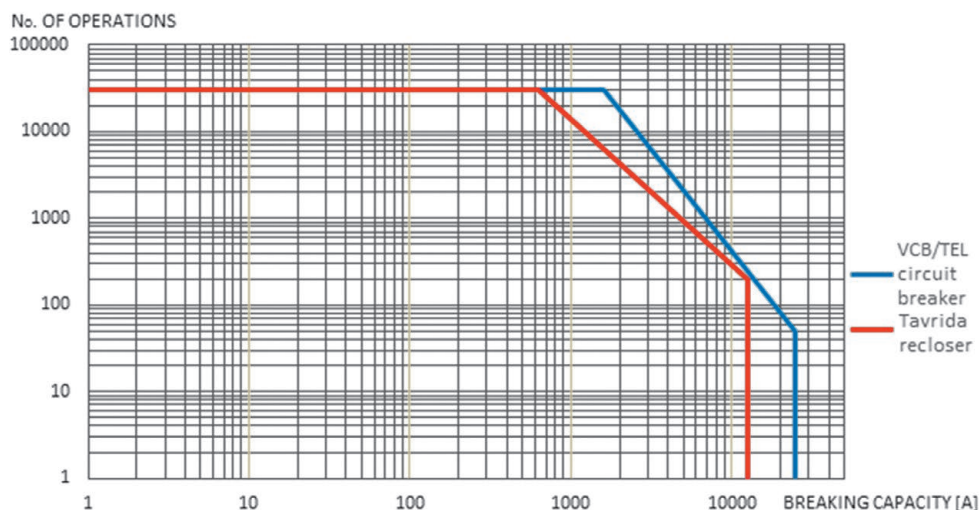


Fig. 3. Comparison of KTR 27 recloser and VCB/TEL circuit breaker switching capabilities

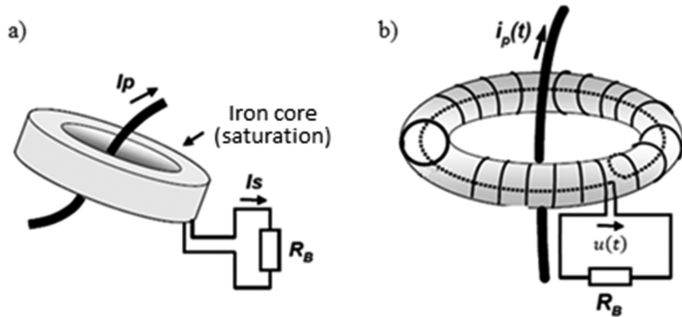


Fig. 4. Design solutions: a) current transformer, b) Rogowski coil [8]
Designations: I_p primary current, I_s secondary current, R_B load resistance

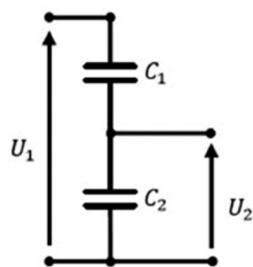


Fig. 5. Capacitive voltage divider diagram

The advantage of RC over conventional current transformers is the primary to secondary signal conversion linearity over a very large current range, resulting from the absence of the ferromagnetic core saturation effect. Classic current transformers can get saturated when overloaded due to the magnetizing current's large share, which affects change of the secondary current's amplitude and phase shift. This current transformer condition adversely affects the protection performance, which can consequently appear as a delay, no operation or unnecessary operation. There is no such phenomenon in RC [8], while its disadvantage is the small output signal amplitude. Therefore, it is important to properly match reclosers' measuring transducers with their automatic protection systems.

Voltage in a recloser is measured by capacitive voltage dividers. The divider's diagram is presented in Fig. 5, and an example of its basic is presented in Tab. 3.

According to [10], capacitive voltage dividers' advantage is the simple design and wide frequency spectrum. Typical recloser design includes six voltage dividers, which allows to measure voltages on the both sides, regardless of the position of the circuit breaker's switching contacts. This solution is advantageous, for example, because of the ATS implementation possibility.

2.3. Protection features

Recloser's protection features allow to isolate a part of the grid supplied by the recloser in the event of a disturbance in it (e.g. permanent short circuit) and thus to maintain power supply of consumers connected to the rest of the grid – downstream from the HV/MV substation. The set of recloser protection features is slightly different from the set of protection features

Parameter	Range of values
Rated frequency [Hz]	50/60
Guaranteed range of phase-earth voltages [kV]	0... 16
Operating temperature range (T) [° C]	-40... + 95
Conversion ratio k_U [V/kV]	0.11 0.13
Error range k_U at 20 °C [%]	±1
Additional temperature error range k_U [%]	-0.1. (T-20)
Phase error in the operating temperature range [°]	0... 1.2

Tab. 3. Specification of capacitive voltage dividers in Tavrida's KTR 27 reclosers

Protection feature	Recloser type		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Overcurrent protection	✓		
Dependent overcurrent protection	No Data		
Non-directional earth-fault protection	✓		
Directional earth-fault protection	✓		
Admittance protection	✓		
Overvoltage protection	✓		
Undervoltage protection	✓		
Overfrequency protection	✓		
Underfrequency protection	✓		
Protection against voltage asymmetry	-	-	
Protection against current asymmetry	-	-	
Automatic reclosure	✓		
ATS	✓	No Data	
BL Bolted Fault*	-	-	
LS Loss of Supply*	-	-	
SD Source Detection*	-	-	
HL Hot Line*	-	-	
CLP Cold Load Pickup*	-	-	

* proprietary terms

Tab. 4. Recloser protection features

of MV outgoing feeders in HV/MV substation. Besides standard protection features (such as protection against high-current short-circuit effects, and against ground fault effects) additional features are implemented in reclosers. Listed in Tab. 4 are protection features of the reviewed reclosers.

Out of basic protection features known and commonly used in MV grids, non-classical protection features are also implemented in reclosers. According to the KTR 27 recloser manual [2], the device is provided with additional automatic systems supporting grid automation systems. These include:

- Loss of Supply
The *loss of supply* feature ensures that the line is switched off after a power failure. This feature is mainly used in sectioning reclosers, supporting ATS. The feature's functionality is described in [2].

• Source Detection

The *source detection* feature conditions (adapts) the recloser protection functionality depending on the side on which the power source has been identified. In the case of radial lines, this feature detects the presence of a power source on the specified recloser’s side, both in the closed and open states of the circuit breaker. Recloser protections operate based on their essential settings as long as the presence of a power source on a specified side is detected. According to the manufacturer, this feature employs an algorithm that ensures proper operation in various transient states, including those caused by, for example, starting/ stopping motors connected to the line, motor’s generator operation, etc. In the case of ring lines, this system can detect the presence of a power source on either the positive or negative side, and either closed or open state of the recloser [2].

• Cold Load Pickup

The *cold load pickup* feature is used for reclosers installed in radial lines only. This feature is used when the line is characterized by increased electricity intake just after its switching on because of the occurrence of specific loads. The feature’s purpose is to prevent unnecessary shutdown in the event of high current flows (e.g. surge currents) resulting from increased demand. According to the manufacturer [2], due to the use of linearly variable dependencies (increasing or decreasing) when converting the coefficients of this function, the flexibility of selecting the characteristics for different power systems is ensured.

• Bolted Fault

The *bolted fault* feature ensures immediate shutdown after a permanent fault. According to [2], this feature, compared to the classic short-circuit overcurrent protection, has greater sensitivity of operation at high-current short-circuits due to the use of positive-sequence currents and voltages.

• Hot Line

The hot line feature provides protection against the effects of short-circuit disturbances, which may occur during maintenance services’ operation. Typically, this protection is set to a lower excitation current (to gain “sensitivity”) than conventional overcurrent protection and it blocks automatic reclosure for the duration of maintenance services’ operation. This protection includes two overcurrent elements: for phase and earth faults [2].

This review of recloser protection features indicates the appearance of features with complex, extended, nonclassical

Communication	Recloser type		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Connectivity with supervision system	Trunking network (TETRA), GPRS	Trunking network (TETRA), GPRS	Trunking network (TETRA), GPRS

Tab. 5. Communication systems in network recyclers of selected manufacturers

functionality, often using adaptive protection settings. These features can be very useful when installing reclosers in a grid with distributed sources or a complex structure.

2.4. Restitutive features

An important recloser characteristic is its ATS capability. It should be emphasized that in MV switchgear the ATS functionality is implemented in a separate protection terminal. In a recloser, ATS is an integral functionality as simplified implementation of restitutive automation for ring grid.

2.5. Communication with master system

Communication solutions applied in the reviewed reclosers are presented in Tab. 5.

A functional diagram of communication with the master system in one of the reviewed reclosers is shown in Fig. 6. In this case the communication is carried out by Ex-mBEL_RC or Ex-BRG2 controllers. These controllers have standard communication protocols used in the power industry implemented, which allows acting as a concentrator and protocol converter. Moreover, they act as data concentrators – they collect and store in their own databases information from subordinate object controllers, I/O modules, and then make them available to master devices, e.g. dispatch centre servers. The database intermediation allows selecting data forwarded to the master unit. This allows one to reduce transmission channel loads, which is particularly important in radio communication. It also allows adjusting the data transfer rate to the capacity of the communication channel and supporting devices [11].

Ensuring communication between recloser installed in the depths of MV grid’s lines and the master system enables the following:

- recloser status monitoring
- acquisition of details of the monitored object condition – monitoring of selected electrical parameters at the place of its installation
- remote switching



Fig. 6. Functional diagram of communication between the KTR 27 recloser and supervision centre [11]

- ability to control the grid operation from SCADA systems of distribution system operators.

It should be emphasized that recloser operation can be controlled in normal and emergency conditions as well as at disturbances. Therefore, it is particularly important that the ICT links over which information is transferred between a recloser and master system have adequate signal transmission reliability. This criterion seems to be met for the communication over Ethernet network, cables, or radio using dedicated devices, e.g. TETRA Terrestrial Trunked Radio communication [7]. As pointed out in [5], the use of “commonly” available classic GSM Global System for Mobile Communications it is not the right solution. This communication is not reliable enough to be used to transfer information between a recloser and master system. This is mainly due to GSM’s susceptibility to so-called overflow effects. Very often, during a distribution grid failure the number of simultaneous voice calls in the area increases, which may cause significant difficulties (e.g. long delays) in transmission of other types of data. With the above in mind, recloser manufacturers usually use dedicated communication systems for communication with supervisory centres. One of such dedicated wireless communication systems used by distribution system operators is TETRA trunking communication system [14]. Digital trunking employed in this system is the basic transmission channel for data from objects, because it provides an access to information contained in objects situated deep in the grid, independent of external operators.

Based on the systems of recloser communication with master systems proven in real applications in distribution grids, an areal automation system can be implemented capable of acquiring information from the supervised grid area and of remote execution of switching operations in it.

3. Summary

The following conclusions can be drawn from this recloser functionality review:

- switching capacities of the reviewed reclosers are similar
- recloser measuring equipment can be implemented based on either classical or unconventional current and voltage transformers, while often the unconventional transformers may have better processing properties than classical solutions [9]. In addition, it should be emphasized that reclosers are “rich” in measuring apparatus, which is very beneficial from the point of view of the possibility of implementing various types of automation in these reclosers, e.g. ATS automation
- in reclosers, on top of classic protection features, additional functionalities may also be implemented, often using adaptive protection settings, e.g. depending on the grid operation status
- communication systems implemented in reclosers use wired and wireless media. In the reviewed devices both media are combined, but it is preferable to connect reclosers with a master system with wired solutions, since they are more reliable.

In connection with the above, it is concluded that reclosers installed in MV distribution grids can be used for post-emergency

reconfiguration of the grid structures. This will significantly improve the reliability of power supply in this grid. In addition, with adequate security and reliability of signal transmission between reclosers deployed in the grid depth and the master unit an areal automation system can be implemented that - based on information obtained from reclosers deployed in the supervised network - would allow one to make decisions particularly well suited to the existing grid operating conditions. The use of such a system could significantly reduce the duration of power outages and thus increase the grid operation reliability.

REFERENCES

1. Bartodziej G., “Sieci elektroenergetyczne w zakładach przemysłowych, cz. 2, Elektroenergetyczne stacje i linie” [Power grids in industrial plants, Part 2, Power substations and lines] Warszawa 1990.
2. Dokumentacja techniczno-rozruchowa samoczynnego napowietrznego wyłącznika próżniowego Reklozer KTR 27 Tavrída Electric [Operation and maintenance manual of Tavrída Electric’s Recloser KTR 27 automatic overhead vacuum circuit breaker], October 2014.
3. Dokumentacja techniczno-rozruchowa wyłącznika próżniowego VCB/TEL Tavrída Electric [Operation and maintenance manual of Tavrída Electric’s VCB/TEL vacuum circuit breaker].
4. Instrukcja użytkowania automatycznego wyłącznika napowietrznego Reklozer THO-RC 27 [User manual of THO-RC 27 Recloser overhead circuit breaker], ZPUE Koronea, Włoszczowa 2016.
5. Kalusiński K., Karbowski J., “Systemy odbudowy zasilania w sieciach dystrybucyjnych SN” [Systems of power recovery in MV distribution grids], proceedings of scientific – engineering conference “Technologie w energetyce”, 27–29 April 2016, pp. 26–35.
6. Karta katalogowa wyłącznika napowietrznego GVR Recloser [GVR Recloser catalogue card], Zakład Obsługi Energetyki.
7. Kossobudzki L., “System TETRA” [The TETRA system], *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne*, No. 3–4, 2005.
8. Kojovic L.A., Beresh R., “Practical Aspects of Rogowski Coil Applications to Relaying IEEE Power Engineering Society – Special Report”, September 2010.
9. Nandzik P., “Porównanie technik pomiaru prądu stosowanych w samoczynnych wyłącznikach napowietrznych sieci SN” [Comparison of current measurement techniques used in automatic MV overhead circuit breakers], *Elektroinfo*, No. 150, 2016, pp. 86–89.
10. Olejnik B., “Alternatywne metody pomiaru średniego napięcia w elektroenergetycznej sieci rozdzielczej” [Alternative methods of measuring the average voltage in power distribution grid], Poznań University of Technology, *Academic Journals*, No. 78, 2014.
11. Papiernik J., “Zabezpieczenia i telemechanika jako niezbędne elementy ISE – przegląd rozwiązań”, [Security and telemechanics as indispensable elements of smart power grids – an overview of solutions] proceedings of scientific – engineering conference “Technologie w energetyce”, 27–29 April 2016, pp. 2–25.
12. Regulacja jakościowa w latach 2016–2020 dla Operatorów Systemów Dystrybucyjnych [Qualitative control in 2016–2020 for Distribution System Operators], Warsaw, September 2015.

13. Tomecki M. et al., "Nowy model opłat jakościowych sposobem na niezawodne dostawy energii elektrycznej" [A new model of qualitative fees as a means for reliable electricity supplies], Raport Akademii Analiz i Mediów, Warsaw 2015.
 14. Zrobek S., "Komunikacja w systemie TETRA" [Communication in TETRA system], proceedings of scientific – engineering conference "Technologie w energetyce", 27–29 April 2016, pp. 36–40.
-

Paweł Nandzik

Silesian University of Technology

e-mail: nand89@gmail.com

Doctoral student at the Institute of Electrical Power and Systems Control of Silesian University of Technology in Gliwice. His research interests include: medium and high voltage protection automatics, areal protection automation systems, distributed power recovery systems.

Piotr Rzepka

Silesian University of Technology

e-mail: piotr.rzepka@pse.pl

Assistant professor at the Institute of Power Engineering and Control Systems of Silesian University of Technology in Gliwice, principal consultant at PSE Innovations sp. z o.o. He works on issues related to the operation of automatic protections and system controls, modelling and analysis of disturbance states in the power system, determining the impact of distributed sources on the grid performance under disturbances, and areal power automation systems for the supervision of classical and autonomous grid structures with local generation sources.

Mateusz Szablicki

Silesian University of Technology

e-mail: mateusz.szablicki@polsl.pl

Research assistant at the Institute of Power Engineering and Control Systems of Silesian University of Technology in Gliwice, principal consultant at PSE Innovations sp. z o.o. He works on issues related to power system automation of functional and configuration wise complex grid systems (including grids saturated with distributed sources, smart grids), defining new non-classical solutions dedicated to areal automatic power system protection solutions (including multi-agent systems, synchronous measurement) and modelling and simulation of the operating conditions of electrical power objects (especially electromagnetic transients).

Adrian Halinka

Silesian University of Technology

e-mail: adrian.halinka@polsl.pl

Graduated from the Faculty of Electrical Engineering at Silesian University of Technology, since 1994 in the Institute of Electrical Power and Control Systems of the Faculty of Electrical Engineering at Silesian University of Technology. Currently, as a professor, he is the head of the Department of Automatic Control and Computer Science in the Electrical Power Engineering and the head of the Doctoral Studies at the Faculty of Electrical Engineering of Silesian University of Technology. His scientific and research interest are primarily focused on: analogue and digital measurement signal processing, frequency adaptive measurement and decision algorithms in digital automatic protections, decision making techniques in power system automation, power automation (protection) systems dedicated to grid structures with distributed generations sources, areal automatic protection systems based on synchronous measurement techniques, automatic measurements, protection and control systems in smart grids. Author or co-author of over 170 scientific publications, including books and monographs published in Poland and abroad.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Przegląd funkcjonalności reklozerów do celów automatyzacji sieci SN

Autorzy

Paweł Nandzik
Piotr Rzepka
Mateusz Szablicki
Adrian Halinka

Słowa kluczowe

reklozery, sterowanie ruchem sieciowym, komunikacja z systemem nadrzędnym, zwiększenie niezawodności pracy sieci średnich napięć, rozproszone systemy odbudowy zasilania

Streszczenie

Operatorzy systemów dystrybucyjnych (OSD) podejmują obecnie intensywne działania mające na celu zwiększenie stopnia automatyzacji sieci średnich napięć (SN). Jednym ze środków umożliwiających realizację tego zadania są reklozery. Zastosowanie tych urządzeń umożliwia poprawę niezawodności dostaw energii elektrycznej do odbiorców poprzez automatyczne wydzielenie fragmentu sieci objętego zakłóceniem (wówczas – odmiennie niż dotychczas – odbiorcy przyłączeni do pozostałej części sieci mogą być zasilani w energię elektryczną). Ponadto, przy odpowiednim powiązaniu funkcjonalnym tych urządzeń, istnieje możliwość konstruowania nadrzędnych systemów nadzoru i sterowania ruchem sieciowym. W związku z tym w artykule porównano funkcjonalność i parametry reklozerów wybranych producentów pod kątem oceny ich przydatności do tworzenia rozbudowanych systemów automatyki restytucyjnej.

Data wpływu do redakcji: 11.02.2017

Data akceptacji artykułu: 28.06.2017

Data publikacji online: 23.07.2018

1. Wstęp

Wymagania, jakie Urząd Regulacji Energetyki (URE) wprowadza w zakresie elementów regulacji jakościowej, stanowią wyzwanie dla spółek dystrybucyjnych. Spółki te są zobowiązane do podnoszenia jakości świadczonych usług dystrybucyjnych, co wiąże się m.in. z poprawą planowanych wskaźników regulacji jakościowej. Konsekwencją niedotrzymania tych wskaźników będzie nałożenie kar finansowych przez URE. Oprócz poprawy jakości i niezawodności dostarczania energii elektrycznej celem tej regulacji jest również poprawa jakości obsługi odbiorców oraz zapewnienie optymalnego poziomu efektywności realizowanych inwestycji [12, 13]. Dotychczas osiągnięte w Polsce wartości wskaźników określających niezawodność sieci dystrybucyjnej: wskaźnik przeciętnego (średniego) systemowego czasu trwania przerwy długiej (SAIDI, ang. *System Average Interruption Duration Index*) oraz wskaźnik przeciętnej systemowej częstości przerw długich w dostawie energii (SAIFI, ang. *System Average Interruption Frequency Index*) znacznie odbiegały od średniej europejskiej [13]. W innych krajach europejskich, takich jak Dania, Niemcy, Francja czy Włochy, wartości wskaźników SAIDI oraz SAIFI w tych latach były znacznie mniejsze. Przykładowo w Danii lub Niemczech wskaźnik SAIDI nie przekraczał 50 minut w ciągu roku, natomiast SAIFI w tych krajach było mniejsze niż 0,5 wyłączenia na rok. W przypadku Francji i Włoch wskaźniki te były większe, lecz nie przekraczały odpowiednio 200 minut i 3 wyłączeń rocznie. W przypadku Polski wartość wskaźnika SAIDI wynosiła ok. 400 minut, natomiast SAIFI kształtowało się na poziomie

4 wyłączeń na rok. Informacje te wyraźnie wskazują, że konieczna jest poprawa jakości zasilania odbiorców w Polsce. Rozwiązaniem tego problemu mają być odpowiednie inwestycje w sieci dystrybucyjne, co powinno doprowadzić do znaczącej poprawy niezawodności sieci i w konsekwencji do wysokiej jakości świadczonych usług dystrybucyjnych. Jednym z popularnych środków poprawiających niezawodność napowietrznych sieci SN jest instalacja reklozerów w głębi sieci. Urządzenia te pozwalają na realizację szeregu funkcji, wśród których można wyróżnić:

- funkcję wyłącznika – możliwość wyłączenia fragmentu sieci objętego zakłóceniem podczas przepływu prądu zwarciovego
- funkcję automatyki zabezpieczeniowej – realizacja funkcji zabezpieczeniowych dla fragmentów sieci rozdzielczych
- funkcję automatyki samoczynnego ponownego załączenia (SPZ) – samoczynnie przywracającego zasilanie w przypadku zwarc przemieszczających
- funkcję automatyki samoczynnego załączenia rezerwy (SZR)
- funkcję pomiaru parametrów wielkości elektrycznych
- funkcję rejestracji zdarzeń i zakłóceń w sieci.

Należy podkreślić, że reklozer może działać samodzielnie (co umożliwia tworzenie tzw. niezależnych stacji pośrednich w głębi sieci dystrybucyjnej) oraz w powiązaniu z nadrzędnym systemem sterowania i nadzoru za pomocą łączy teleinformatycznych (co umożliwia tworzenie nadrzędnych systemów automatyki i sterowania). W efekcie zastosowanie reklozerów daje

zupełnie nowe możliwości sterowania ruchem sieciowym.

2. Przegląd funkcjonalności reklozerów

Dążenie do zwiększenia niezawodności pracy napowietrznych sieci SN wymusiło instalację reklozerów w głębi tych sieci. Jak podają producenci urządzeń, podstawowym zadaniem reklozerów jest realizacja funkcji zabezpieczeniowych oraz automatyk sieciowych. Realizacja tych funkcji powinna pozwolić na poprawienie niezawodności pracy tych sieci, np. poprzez ograniczenie skutków zakłóceń występujących w tych sieciach (wyłączenie jedynie niewielkiego fragmentu sieci objętego zakłóceniem). W konsekwencji wykorzystanie tych urządzeń powinno skutecznie podnieść jakość usługi świadczonej przez spółki dystrybucyjne oraz poprawić niezawodność dostaw energii elektrycznej (np. zmniejszyć wskaźniki SAIDI, SAIFI). Na rynku istnieje obecnie wielu producentów posiadających w swej ofercie reklozery. Urządzenia te charakteryzują się jednak różnymi parametrami technicznymi, różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi oraz różną funkcjonalnością. W celu określenia funkcjonalności reklozerów dokonano przeglądu podstawowych ich typów stosowanych w sieciach dystrybucyjnych Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Do analizy przyjęto urządzenia producentów: Tavrida Electric, ZPUE Koronea oraz ZOE (Zakład Obsługi Energetyki), które przedstawiono na rys. 1. Należy podkreślić, że przegląd funkcjonalności został przeprowadzony pod kątem możliwości wykorzystania reklozerów do realizacji tzw. nadrzędnych systemów automatyki pozwalających

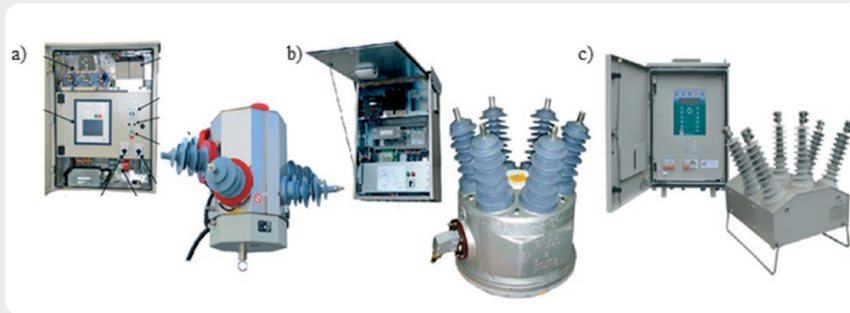
This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

na znaczącą poprawę niezawodności pracy sieci. Wśród nich można wyróżnić dwa rodzaje systemów:

- systemy scentralizowane znane pod nazwą FDIR (ang. *Fault Detection Isolation and Restoration*)

- systemy rozproszone z komunikacją bezpośrednią typu Self-Healing Grid.



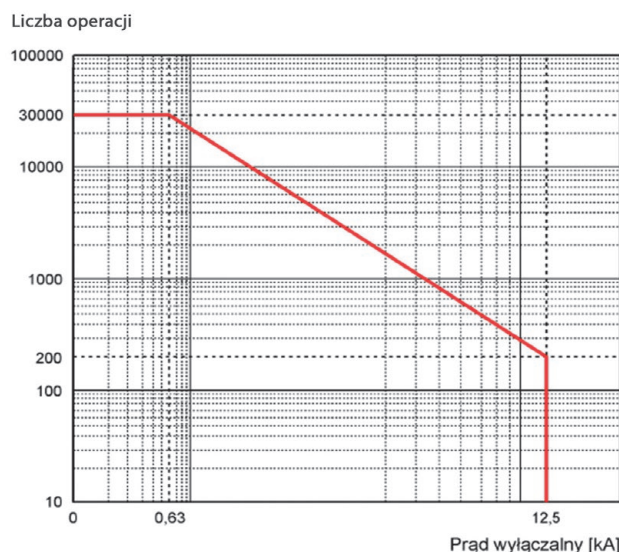
Rys. 1. Widok rozpatrywanych reklozerów: a) ZPUE Koronea THO-RC 27, b) ZOE GVR Recloser, c) Tavrida Electric KTR 27 Recloser

Parametr reklozera	Typ reklozera		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Trwałość mechaniczna [w cyklach]	30 000	30 000	30 000
Prąd znamionowy ciągły [A]	630	630	630
Znamionowy prąd wyłączalny zwarciovym [kA]	12,5	12,5	12,5
Trwałość łączeniowa przy znamionowym prądzie wyłączalnym zwarciovym [w cyklach]	Brak danych	200	200

Tab. 1. Porównanie wybranych parametrów reklozerów

Mierzona wielkość	Typ reklozera		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Pomiar prądu	Przekładniki prądowe	Przekładniki prądowe lub cewki Rogowskiego	Cewki Rogowskiego
Pomiar napięcia	Pojemnościowe dzielniki napięcia	Pojemnościowe dzielniki napięcia	Pojemnościowe dzielniki napięcia

Tab. 2. Porównanie rozwiązań pomiarowych stosowanych w reklozerach wybranych producentów



Rys. 2. Charakterystyka określająca zdolność łączeniową reklozera KTR 27 produkcji Tavrida Electric [2]

2.1. Zdolność łączeniowa

Jednym z czynników określających żywotność reklozerów jest ich trwałość przy wykonywaniu czynności łączeniowych. Trwałość ta określana jest poprzez dwa parametry: trwałość mechaniczną oraz trwałość łączeniową [1]. Trwałość mechaniczna określa liczbę cykli łączeniowych ZW (załącz-wyłącz), którą może wykonać wyłącznik w stanie bezprądowym. Po przekroczeniu dopuszczalnej liczby tych cykli może dojść do zużycia mechanicznego elementów, uniemożliwiając dalszą jego eksploatację. Tymczasem trwałość łączeniowa określa liczbę cykli łączeniowych wyłącznika, przy określonym prądzie wyłączalnym, do osiągnięcia zużycia styków lub komory gaszeniowej. Po przekroczeniu dopuszczalnej liczby cykli konieczna jest naprawa (konserwacja lub wymiana) elementów łączeniowych. Trwałość elementów łączeniowych reklozerów jest różna i wynika ona z zastosowanego sposobu gaszenia łuku oraz zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych wyłączników. Na podstawie [2, 4, 6] w tab. 1 zestawiono zdolności łączeniowe wybranych reklozerów.

Niektórzy producenci zazwyczaj podają charakterystyki trwałości łączeniowej styków w funkcji wartości wyłączanych prądów. Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę zdolności łączeniowej reklozera KTR 27 Tavrida Electric. W materiałach ogólnodostępnych nie przedstawiono charakterystyk łączeniowych dla reklozera THO-RC 27 oraz GVR.

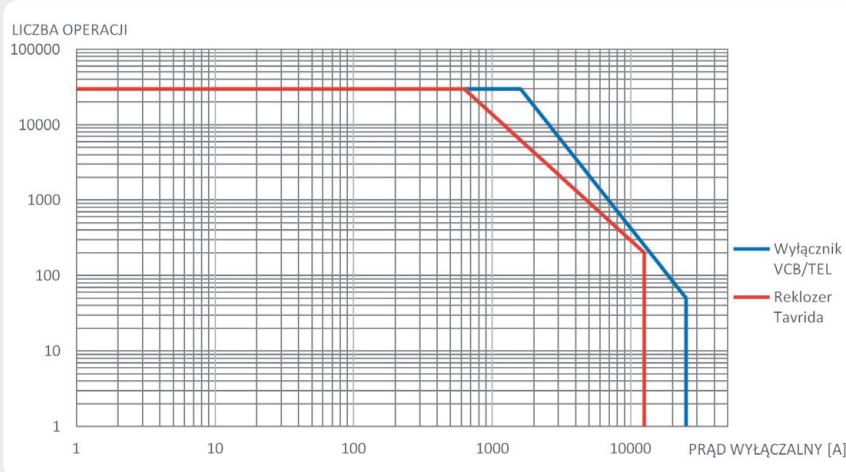
Z analizy przedstawionych danych dotyczących zdolności łączeniowych reklozerów wynika, że trwałość mechaniczna tych urządzeń jest jednakowa. W przypadku trwałości łączeniowej znamionowych prądów wyłączalnych zwarciovych reklozery KTR 27 oraz THO-RC 27 posiadają te same zdolności łączeniowe (tab. 1). W przypadku reklozera GVR producent nie zamieścił informacji na ten temat. Ewentualne różnice dotyczące zdolności łączeniowych znamionowych prądów zwarciovych można wytłumaczyć różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi wyłączników oraz zastosowanymi układami mechanicznymi. Porównując parametry łączeniowe reklozerów z parametrami wyłączników instalowanych w polach odpywowych SN, można zauważyć różnicę na korzyść wyłączników instalowanych w rozdzielniach SN w GPZ. Zgodnie z [3], przy tym samym prądzie znamionowym ciągłym, wyłączniki instalowane w rozdzielniach SN w GPZ posiadają większe możliwości łączenia prądów zwarciovych. Trwałość mechaniczna tych wyłączników jest jednak taka sama jak reklozerów. Na rys. 3 przedstawiono porównanie zdolności łączeniowych wyłącznika VCB/TEL Tavrida Electric z reklozerem KTR 27.

2.2. Aparatura pomiarowa

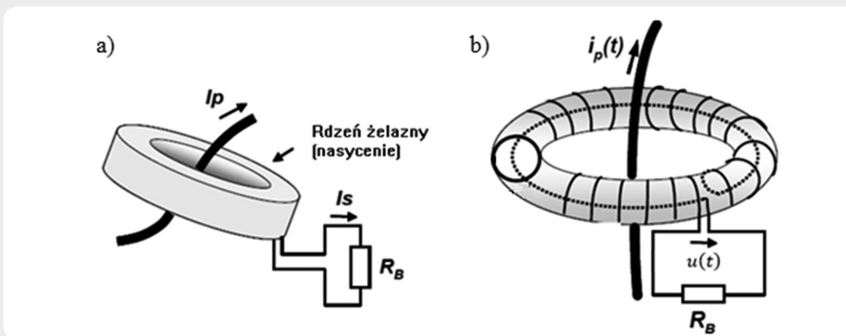
Z analizy porównawczej przeprowadzonej pod kątem przetwarzania wielkości pomiarowych wynika, że istnieje znacząca różnica pomiędzy układami aparatury pomiarowej stosowanymi w tradycyjnych polach rozdzielczych sieci SN a układami aparatury

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 3. Porównanie zdolności łączeniowych reklozera KTR 27 i wyłącznika VCB/TEL



Rys. 4. Rozwiązanie konstrukcyjne: a) przekładnika prądowego, b) cewki Rogowskiego [8]
Oznaczenia: I_p prąd pierwotny, I_s prąd wtórny, R_B rezystancja obciążenia

miarowej zastosowanej w reklozerach (cechą charakterystyczną tych drugich jest ich różnorodność). Producenci reklozerów stosują różne rozwiązania konstrukcyjne aparatury pomiarowej, niejednokrotnie warunkujące zmianę sposobu przetwarzania prądów oraz napięć do celów zarówno pomiarowych, jak i zabezpieczeniowych [9]. Porównanie rozwiązań układów pomiarowych w rozpatrywanych reklozerach przedstawiono w tab. 2.

Z przedstawionego porównania wynika, że do pozyskiwania informacji o parametrach prądu w sieci stosowane są urządzenia w postaci klasycznych przekładników prądowych oraz cewek Rogowskiego (CR). O ile te pierwsze są już od dawna znane i powszechnie stosowane, to cewki Rogowskiego stanowią pewne *novum*. Główną różnicą pomiędzy cewką Rogowskiego a przekładnikiem prądowym jest ich konstrukcja. W układzie z CR uzwojeniem pierwotnym jest przewód, przez który przepływa prąd, natomiast obwód wtórny stanowi uzwojenie nawinięte na niemagnetyczny karkas (rys. 4). Wielkością wyjściową obwodu wtórnego jest napięcie $u(t)$. Oznacza to, że sygnał wyjściowy (o bardzo małej mocy) stanowi odwzorowanie prądu pierwotnego. Zaletą CR w stosunku do konwencjonalnych przekładników prądowych jest liniość przetwarzania sygnału pierwotnego

na wtórny w bardzo dużym zakresie wartości przetwarzanych prądów, wynikająca z braku efektu nasycenia rdzenia ferromagnetycznego. W klasycznym przekładniku prądowym podczas przetężenia może dojść do jego nasycenia w wyniku dużego udziału prądu magnesowania, co wpływa na zmianę amplitudy oraz przesunięcia fazowe prądu wtórnego. Ten stan przekładnika niekorzystnie wpływa na poprawność działania zabezpieczeń, co w konsekwencji może się przejawiać jako opóźnienie, brak lub zbędne zadziałanie. W przypadku CR zjawisko to nie występuje [8], natomiast niedogodnością w przypadku zastosowania CR jest mała amplituda sygnału wyjściowego. Stąd

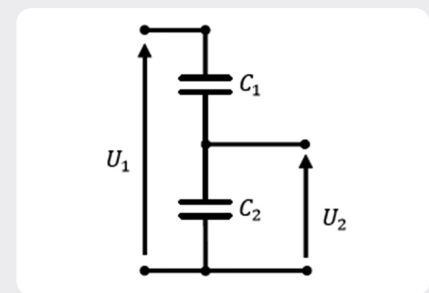
istotne jest odpowiednie dopasowanie przetworników pomiarowych stosowanych w reklozerach z ich układami automatyki zabezpieczeniowej.

Pomiar napięcia w reklozerach realizowany jest poprzez pojemnościowe dzielniki napięcia. Schemat takiego dzielnika przedstawiono na rys. 5, natomiast podstawowe dane przykładowego dzielnika przedstawiono w tab. 3.

Zgodnie z [10] zaletą pojemnościowych dzielników napięcia jest prosta konstrukcja oraz posiadanie szerokiego widma częstotliwościowego. Reklozery w swojej konstrukcji zwykle posiadają sześć dzielników napięcia, co pozwala na pomiar napięcia po obu stronach reklozera, niezależnie od położenia styków łączeniowych wyłącznika. Rozwiązanie to jest korzystne np. ze względu na możliwość realizacji automatyki SZR.

2.3. Funkcje zabezpieczeniowe

Zaimplementowanie w reklozerach funkcji zabezpieczeniowych pozwala na wyodrębnienie fragmentu sieci zasilanego przez reklozer w przypadku wystąpienia w tym fragmencie sieci zakłócenia (np. trwałego zwarcia) i tym samym utrzymanie zasilania odbiorców przyłączonych do pozostałej części sieci – zlokalizowanych od strony zasilania z głównego punktu zasilającego (GPZ). Zestaw zabezpieczeń reklozerów nieco różni się od zestawu funkcji zabezpieczeniowych wykorzystywanych w polach odpływowych sieci SN w GPZ. Oprócz standardowych funkcji zabezpieczeniowych (m.in. zabezpieczeń do ochrony przed skutkami zwarć wieloprądowych oraz do ochrony przed skutkami zwarć doziemnych) w reklozerach stosowane są dodatkowe zabezpieczenia. W tab. 4 przedstawiono zestawy funkcji zabezpieczeniowych rozpatrywanych reklozerów.



Rys. 5. Schemat pojemnościowego dzielnika napięcia

Parametr	Zakres wartości
Częstotliwość znamionowa [Hz]	50/60
Gwarantowany zakres napięć faza–ziemia [kV]	0...16
Zakres temperatury roboczej (T) [°C]	-40... +95
Współczynnik przetwarzania k_U [V/kV]	0,11... 0,13
Zakres błęd k_U dla temperatury 20 °C [%]	±1
Dodatkowy temperaturowy zakres błęd k_U [%]	-0,1 · (T-20)
Błąd fazowy w zakresie temperatury pracy [°]	0 ÷ 1,2

Tab. 3. Parametry pojemnościowych dzielników napięcia stosowanych w reklozerach KTR 27 Tavrida

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Funkcja zabezpieczeniowa	Typ reklozera		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Zabezpieczenie nadprądowe	✓		
Zabezpieczenie nadprądowe zależne	brak danych		
Zabezpieczenie ziemnozwarciowe bezkierunkowe	✓		
Zabezpieczenie ziemnozwarciowe kierunkowe	✓		
Zabezpieczenie admitycyjne	✓		
Zabezpieczenie nadnapięciowe	✓		
Zabezpieczenie podnapięciowe	✓		
Zabezpieczenie nadczęstotliwościowe	✓		
Zabezpieczenie podczęstotliwościowe	✓		
Zabezpieczenie od asymetrii napięciowej	-	-	
Zabezpieczenie od asymetrii prądowej	-	-	
Automatyka SPZ	✓		
Automatyka SZR	✓	brak danych	
Zabezpieczenie od zwarć montażowych*	-	-	
Układ wykrywania zaniku zasilania*	-	-	
Układ detekcji źródła zasilania*	-	-	
Układ praca na linii*	-	-	
Układ załączenia na zimne obciążenie*	-	-	

* nazwy producentów

Tab. 4. Zestawienie funkcji zabezpieczeniowych wykorzystywanych przez producentów reklozerów

Spośród podstawowych funkcji zabezpieczeniowych, które są znane i powszechnie stosowane w sieciach SN, w reklozerach implementowane są również nieklasyczne funkcje zabezpieczeniowe. Zgodnie z instrukcją reklozera KTR 27 Tavrida Electric [2] urządzenie tego producenta wyposażone jest w dodatkowe układy automatyki wspomagające stosowane automatyki sieciowe. Wśród nich można wyróżnić następujące funkcje:

- układ wykrywania zaniku zasilania
Funkcja *układ wykrywania zaniku zasilania* zapewnia wyłączenie linii po wystąpieniu zaniku napięcia zasilającego. Funkcja ta ma zastosowanie przede wszystkim w przypadku reklozera sekcjonującego, wspomagając samoczynne załączenie zasilania rezerwowego (SZR). Sposób działania tej funkcji opisano w [2].
- układ detekcji źródła zasilania
Funkcja *układ detekcji źródła zasilania* uzależnia (adaptuje) sposób działania funkcji zabezpieczeniowych reklozera w zależności od tego, po której stronie zostało zidentyfikowane źródło zasilania. W przypadku linii promieniowych funkcja ta wykrywa obecność źródła zasilania po określonej stronie reklozera, zarówno w stanie zamkniętym, jak i otwartym wyłącznika. Zabezpieczenia reklozera pracują z wykorzystaniem swoich zasadniczych nastaw tak długo, jak długo stwierdzana jest obecność źródła zasilania po określonej stronie. Jak podaje producent, funkcja ta wykorzystuje

algorytm zapewniający prawidłowe działanie w różnych stanach nieustalonych, w tym wywołanych np. rozruchem/zatrzymaniem silników podłączonych do linii, pracy generatorowej silnika itp. W przypadku linii pierścieniowych układ ten może wykrywać obecność źródła zasilania zarówno po stronie dodatniej, jak i ujemnej, w stanie zamkniętym lub otwartym reklozera [2].

- układ załączenia na zimne obciążenie
Funkcja *układ załączenia na zimne obciążenie* wykorzystywana jest tylko do reklozerów zainstalowanych w liniach promieniowych. Układ ten stosowany jest, gdy linia charakteryzuje się zwiększonym poborem energii elektrycznej tuż po jej załączeniu w wyniku występowania specyficznych odbiorów. Celem tego układu jest zapobieganie zbędnemu wyłączeniu w sytuacji wystąpienia dużych przepływów prądów (np. prądów udarowych) wynikających m.in. ze zwiększonego zapotrzebowania na energię. Jak podaje producent [2], dzięki zastosowaniu liniowo zmiennych zależności

(narastających lub opadających) przy przeliczaniu wartości współczynników tej funkcji zapewnia się elastyczność doboru charakterystyk dla różnych systemów zasilania.

- zabezpieczenie od zwarć montażowych
Funkcja *zabezpieczenie od zwarć montażowych* zapewnia bezzwłoczne wyłączenie po wystąpieniu stanu trwałej awarii. Zgodnie z [2] funkcja ta w porównaniu z klasycznym zabezpieczeniem nadprądowym zwarciowym posiada większą czułość działania przy zwarciach wielkopiędowych dzięki wykorzystaniu składowych zgodnych prądu i napięcia.
- układ praca na linii

Funkcja *układ praca na linii* stanowi zabezpieczenie od skutków zakłóceń zwarciowych, do których może dojść podczas prac służb utrzymania ruchu. Zazwyczaj zabezpieczenie to ma nastawiony niższy prąd pobudzenia (aby uzyskać większą „czułość”) niż klasyczne zabezpieczenie nadprądowe oraz blokuje działanie automatyki SPZ na czas prowadzonych prac przez służby utrzymania ruchu. Układ ten zawiera dwa człony nadprądowe: dla zwarć fazowych oraz doziemnych [2].

Przedstawione rozważania dotyczące funkcji zabezpieczeniowych stosowanych w reklozerach wskazują na pojawianie się funkcji o złożonej, rozbudowanej, nieklasycznej funkcjonalności, niejednokrotnie wykorzystującej adaptacyjność nastaw zabezpieczeń. Cechy te mogą okazać się bardzo przydatne w przypadku instalowania reklozerów w sieci cechującej się obecnością rozproszonych źródeł energii lub złożoną strukturą.

2.4. Funkcje restytucyjne

Istotną cechą reklozerów jest możliwość realizacji funkcjonalności SZR. Należy podkreślić, że w przypadku automatyki SZR realizowanej w rozdzielniach SN układ ten jest realizowany w osobnym terminalu zabezpieczeniowym. Natomiast w przypadku reklozera – automatyka SZR stanowi jego integralną funkcjonalność jako uproszczona realizacja automatyki restytucyjnej dla sieci pierścieniowej.

2.5. Komunikacja z systemem nadrzędnym

Stosowane rozwiązania komunikacyjne w analizowanych typach reklozerów przedstawiono w tab 5.

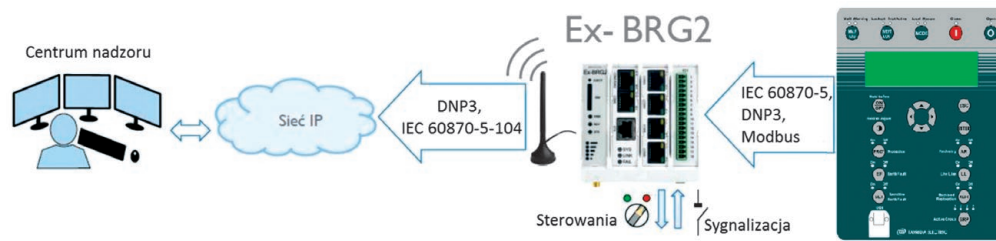
Funkcjonalny diagram łączności z systemem nadrzędnym, stosowany w jednym z analizowanych typów reklozerów, przedstawiono na rys. 6. W rozpatrywanym przypadku komunikacja ta realizowana jest poprzez sterowniki Ex-mBEL_RC lub Ex-BRG2. Sterowniki te posiadają zaimplementowane standardowe protokoły komunikacyjne używane w energetyce, co pozwala na pełnienie roli koncentratora

Komunikacja	Typ reklozera		
	GVR Recloser	THO-RC 27	KTR 27
Łączność z systemem nadzoru	Sieć Trunking (TETRA), GPRS	Sieć Trunking (TETRA), GPRS	Sieć Trunking (TETRA), GPRS

Tab. 5. Systemy komunikacyjne wykorzystywane w reklozerach sieciowych wybranych producentów

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 6. Diagram funkcjonalny komunikacji pomiędzy reklozorem KTR 27 a centrum nadzoru [11]

i konwertera protokołów. Ponadto pełnią one rolę koncentratorów danych – zbierają i gromadzą we własnej bazie danych informacje z podrzędnych sterowników obiektowych, modułów wejść/wyjść, a następnie udostępniają je urządzeniom nadrzędnym, np. serwerom centrum dyspozytorskiego. Pośrednictwo bazy danych pozwala na selekcję danych przekazywanych do jednostki nadrzędnej. Umożliwia to zmniejszenie obciążenia kanałów transmisyjnych, co jest szczególnie istotne w przypadku łączności radiowej. Pozwala to również na dostosowanie tempa przekazywania danych do możliwości kanału komunikacyjnego i urządzeń je obsługujących [11].

Zapewnienie komunikacji pomiędzy reklozorem zainstalowanym w głębi ciągu liniowego sieci SN i systemem nadrzędnym umożliwia m.in.:

- monitorowanie stanu pracy reklozera
- pozyskiwanie informacji o stanie pracy nadzorowanego obiektu – monitorowanie wybranych parametrów wielkości elektrycznych występujących w miejscu jego zainstalowania
- zdalną realizację czynności łączeniowych
- zapewnienie możliwości sterowania ruchem sieciowym z systemów SCADA operatorów systemów dystrybucyjnych.

Należy podkreślić, że sterowanie pracą reklozera może występować zarówno w stanach normalnych, awaryjnych, jak i podczas stanów zakłóceń. Zatem szczególnie ważne jest, aby łącza teleinformatyczne, którymi przekazywana jest informacja pomiędzy reklozorem i systemem nadrzędnym, posiadały odpowiednią niezawodność transmisji sygnałów. Takie kryterium wydaje się spełnione dla łączności wykonanej z wykorzystaniem sieci Ethernet, realizowanej drogą kablową, oraz dla łączności radiowej wykorzystującej dedykowane urządzenia, np. łączność w standardzie TETRA (ang. *Terrestrial Trunked Radio*) [7]. Jak wskazano w publikacji [5], wykorzystanie „powszechnie” dostępnej klasycznej łączności GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*) nie jest właściwym rozwiązaniem. Łączność ta nie jest wystarczająco niezawodna, aby można było ją wykorzystywać do przekazywania informacji pomiędzy reklozorem i systemem nadrzędnym. Wynika to głównie z tego, że łączność GSM jest podatna na tzw. efekty przepelnienia. Bardzo często w czasie awarii sieci dystrybucyjnej zwiększa się liczba jednocześnie prowadzonych rozmów na danym obszarze, co może spowodować

znaczące trudności (np. duże opóźnienia) w przesłaniu innych rodzajów danych. Mając powyższe na uwadze, producenci reklozerek do łączności z centrami nadzoru stosują zwykle dedykowane systemy komunikacyjne. Jednym z takich dedykowanych systemów komunikacji bezprzewodowej, wykorzystywanych przez operatorów systemu dystrybucyjnych, jest system komunikacji trunkingowej TETRA [14]. Zastosowany w tym systemie cyfrowy jest podstawowym kanałem transmisji danych z obiektów, ponieważ zapewnia niezależny od zewnętrznych operatorów dostęp do informacji zawartych w obiektach zlokalizowanych głęboko w sieci.

Bazując na wykorzystywanych systemach łączności reklozerek z systemami nadrzędnymi, sprawdzonymi w rzeczywistych aplikacjach pracujących w sieciach dystrybucyjnych, istnieje możliwość realizacji obszarowego systemu automatyki, który mógłby pozyskiwać informacje z nadzorowanego obszaru sieciowego i zdalnie dokonywać operacji łączeniowych w tym obszarze.

3. Podsumowanie

Dokonany przegląd funkcjonalności reklozerek pozwala wnioskować, że:

- zdolność łączeniowa rozpatrywanych reklozerek kształtuje się na podobnym poziomie
- aparatura pomiarowa stosowana w reklozerach może być realizowana w oparciu o klasyczne i niekonwencjonalne przekładniki prądowe i napięciowe, przy czym niejednokrotnie niekonwencjonalne przekładniki mogą cechować się lepszymi właściwościami przetwarzania niż klasyczne rozwiązania [9]. Ponadto należy podkreślić, że reklozery posiadają „bogate” wyposażenie w aparaturę pomiarową, co jest bardzo korzystne z punktu widzenia możliwości realizacji różnych rodzajów automatyki w tych reklozerach, np. automatyki SZR
- w reklozerach, oprócz klasycznych funkcji zabezpieczeniowych, zaimplementowane mogą być również dodatkowe funkcje, niejednokrotnie wykorzystujące adaptacyjność nastaw zabezpieczeń, np. w zależności od stanu pracy sieci
- systemy łączności zaimplementowane w reklozerach wykorzystują media przewodowe oraz bezprzewodowe. W rozpatrywanych przypadkach obydwa media występują łącznie, przy czym preferuje się łączenie reklozerek z systemem nadrzędnym za pomocą rozwiązań przewodowych jako bardziej niezawodnych.

W związku z powyższym stwierdza się, że reklozery instalowane w sieciach dystrybucyjnych SN mogą być wykorzystywane do przeprowadzenia poawaryjnej rekonfiguracji struktury sieci. Pozwoli to znacząco poprawiać niezawodność zasilania odbiorców w tej sieci. Ponadto, przy zagwarantowaniu odpowiedniego bezpieczeństwa i niezawodności transmisji sygnałów pomiędzy reklozerekami rozmieszczonymi w głębi sieci a jednostką nadrzędną, istnieje możliwość realizacji obszarowego systemu automatyki, który – bazując na informacjach pozyskiwanych z reklozerek rozlokowanych w nadzorowanej sieci – pozwalałby wypracowywać decyzje szczególnie dobrze dobrane do zaistniałych warunków pracy sieci. Zastosowanie takiego systemu mogłoby znacząco zredukować czas trwania przerw w zasilaniu odbiorców i dzięki temu zwiększać niezawodność pracy sieci.

Bibliografia

1. Bartodziej G., Sieci elektroenergetyczne w zakładach przemysłowych, cz. 2, Elektro-energetyczne stacje i linie, Warszawa 1990.
2. Dokumentacja techniczno-rozruchowa samoczynnego napowietrznego wyłącznika próżniowego Reklozerek KTR 27 Tawrida Electric, październik 2014.
3. Dokumentacja techniczno-rozruchowa wyłącznika próżniowego VCB/TEL Tawrida Electric.
4. Instrukcja użytkownika automatycznego wyłącznika napowietrznego Reklozerek THO-RC 27, ZPUE Koronea, Włoszczowa 2016.
5. Kalusiński K., Karbowski J., Systemy odbudowy zasilania w sieciach dystrybucyjnych SN, artykuł z konferencji naukowo-technicznej „Technologie w energetyce”, 27–29 kwietnia 2016, s. 26–35.
6. Karta katalogowa wyłącznika napowietrznego GVR Recloser, Zakład Obsługi Energetyki.
7. Kossobudzki L., System TETRA, *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne* 2005, nr 3–4.
8. Kojovic L.A., Beresh R., Practical Aspects of Rogowski Coil Applications to Relaying IEEE Power Engineering Society – Special Report, September 2010.
9. Nandzik P., Porównanie technik pomiaru prądu stosowanych w samoczynnych wyłącznikach napowietrznych sieci SN, *Elektroinfo* 2016, nr 150, s. 86–89.
10. Olejnik B., Alternatywne metody pomiaru średniego napięcia w elektroenergetycznej

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 98–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

- sieci rozdzielczej, Poznań University of Technology, *Academic Journals* 2014, nr 78.
11. Papiernik J., Zabezpieczenia i telemechanika jako niezbędne elementy ISE – przegląd rozwiązań, artykuł z konferencji naukowo-technicznej „Technologie w energetyce”, 27–29 kwietnia 2016, s. 2–25.
12. Regulacja jakościowa w latach 2016–2020 dla Operatorów Systemów Dystrybucyjnych, Warszawa, wrzesień 2015.
13. Tomecki M. i in., Nowy model opłat jakościowych sposobem na niezawodne dostawy energii elektrycznej, Raport Akademii Analiz i Mediów, Warszawa 2015.
14. Zrobek S., Komunikacja w systemie TETRA, artykuł z konferencji naukowo-technicznej „Technologie w energetyce”, 27–29 kwietnia 2016, s. 36–40.

Paweł Nandzik

mgr inż.

Politechnika Śląska

e-mail: nand89@gmail.com

Doktorant w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej. Jego zainteresowania naukowe obejmują: automatykę zabezpieczeniową średnich oraz wysokich napięć, obszarowe systemy automatyki zabezpieczeniowej, rozproszone systemy odbudowy zasilania.

Piotr Rzepka

dr inż.

Politechnika Śląska

e-mail: piotr.rzepka@pse.pl

Adiunkt w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, główny konsultant w firmie PSE Innowacje sp. z o.o. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z działaniem automatyki zabezpieczeniowej i systemowej, modelowaniem i analizą stanów zakłóceń w systemie elektroenergetycznym, określeniem wpływu źródeł rozproszonych na funkcjonowanie układów sieciowych w stanach zakłóceń oraz obszarowymi systemami automatyki elektroenergetycznej do nadzoru klasycznych i autonomicznych struktur sieci z lokalnymi źródłami wytwórczymi.

Mateusz Szabliski

dr inż.

Politechnika Śląska

e-mail: mateusz.szabliski@polsl.pl

Asystent w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, główny konsultant w firmie PSE Innowacje sp. z o.o. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z systemami automatyki elektroenergetycznej układów sieciowych złożonych funkcjonalnie i konfiguracyjnie (w tym sieciami nasyconymi, rozproszonymi źródłami wytwórczymi, sieciami typu Smart), definiowaniem nowych, nieklasycznych rozwiązań dedykowanych obszarowym systemom elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (w tym systemami wieloagentowymi, pomiarami synchronicznymi) oraz modelowaniem i symulacją warunków pracy obiektów elektroenergetycznych (zwłaszcza elektromagnetycznych stanów przejściowych).

Adrian Halinka

prof. dr hab. inż.

Politechnika Śląska

e-mail: adrian.halinka@polsl.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej, od 1994 roku związany zawodowo z Instytutem Elektroenergetyki i Sterowania Układów Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej. Obecnie na stanowisku profesora, pełni funkcję kierownika Zakładu Automatyki i Informatyki w Elektroenergetyce oraz kierownika Studiów Doktoranckich na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Obszar zainteresowań naukowych i badawczych koncentruje się przede wszystkim na: analogowym i cyfrowym przetwarzaniu sygnałów pomiarowych, adaptacyjnych częstotliwościowo algorytmach pomiarowych i decyzyjnych stosowanych w cyfrowej automatyce zabezpieczeniowej, technikach decyzyjnych wykorzystywanych w automatyce elektroenergetycznej, systemach automatyki elektroenergetycznej (zabezpieczeniowej) dedykowanych strukturom sieciowym ze źródłami generacji rozproszonej, obszarowych systemach automatyki zabezpieczeniowej bazujących na technikach pomiarów synchronicznych, automatyce pomiarowej, zabezpieczeniowej i sterującej w sieciach typu Smart. Autor lub współautor ponad 170 publikacji naukowych, w tym książek i monografii wydanych w kraju i za granicą.