

Control and Monitoring of Power Facilities as Per LFC Standard

Authors

Dariusz Wojtanowicz
 Roman Skakowski
 Edward Ziaja

Keywords

ARCM, LFC, SMPP, ICCP-TASE.2, IASE

Abstract

The article brings closer the principle of operation of the new power distribution system, LFC, being the successor of the ARCM SOWE system. The majority of the study is concentrated on the architecture of the local LFC system node authored by IASE sp. z o.o. there have been brought closer, here, the problems of automatic unit control in accordance with the plans and commands from the central LFC controller, of the system operation monitoring via the integrated SMPP module as well as the problems connected with the new technologies employed by LFC (the protocol ICCP-TASE.2 and the standard IEC60870-6, among other things). There have been also described the most important components, SRM LFC, responsible, among others, for the exchange of data with the unit automation, archiving and making available the historical data, setting and viewing of the current automatic control values transmitted by OSP.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2015109

1. General information, design requirements and short description of the LFC system

LFC is a currently implemented, by PSE Operator SA, standard of the automatic frequency and power control system, the objective of which is the real-time operating and monitoring of the power generating units operated in the Polish electric power network, defined by the name of the centrally disposed generating units (Jednostki Wytwórcze Centralnie Dysponowane (JWCD)). The LFC system is the successor of the SOWE system; it operates in a distributed environment, integrating into the available networks, JWCD, and realising the controls of the central controller of LFC (RC LFC). Each JWCD is autonomous in the LFC network and participates in the automatic power control process when it is officially admitted, by OSP, for operation in the production environment of LFC.

The global system “intelligence” is wired in the central controller component, the basic task of which is to maintain the balance between the power produced and the current demand for it within KSE.

RC LFC communicates with a power plant via the local node of the LFC system (WL LFC).

The local node integrates various technological solutions applied on the facility site so that it is transparent for RC LFC. It conducts the direct or indirect dialogue with the unit automation, realising the controls from RC LFC and transferring back to WC SMPP the

current values and the operating parameter states of JWCD. The official specification of WL LFC defines very precisely the way of conduction of the communication in the relation $OSP \leftrightarrow WL$ LFC (the ICCP-TASE.2 protocol), but it does not impose any specific design solutions with respect to the communication of WL LFC with the automation systems of JWCD. The diversity of the technological solutions on the facility side translate directly into the complexity of the LFC local node implementation. The integration process of SRM LFC with the existing solutions is not trivial and requires the cooperation of all enterprises involved, in order to build a reliable infrastructure interconnecting each JWCD with RC LFC.

The design requirements set for the local nodes have been made more precise by PSE Operator SA in two documents entitled “Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC” (The requirements for JWCD for the purposes of implementation of the LFC system) and “Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach” (The procedure of acceptance of the local nodes of the LFC system).

The following may be rated among the most important design goals of OSP:

- high operational reliability of action of the whole system
- provision of the redundancy of the *hot spare* type
- fast switching between the *master/slave* modes of the SRM server instances

- use of the ICCP-TASE.2 protocol (the standard IEC60870-6) in the data exchange process from OSP (conformance block1 – plans and 5 – controls) and the service of the communication of type RBE¹
- integration, in WL, of the functionalities of the systems LFC and SMPP
- transition from the local time (in SOWE) to the UTC time (in LFC) in the BPKD plans
- reporting and logging of the most important activities in the system
- service of various communication variants with the OSP localisations
- adaptation of the WL automation to the requirements of LFC (turbine controllers, data logging and visualisation systems, DCS, etc.)².

From the IT perspective, the WL LFC system consists of a redundant central unit in the form of two equivalent servers, *SRM_LFC1* and *SRM_LFC2*, client computers located at the on-duty operation engineer of the power plant (Dyżurny Inżynier Ruchu Elektrowni (DIRE)) and at the unit managers (Kierownicy Bloków (KB)), redundant communication network enabling access for both instances of the SRM LFC servers, and the process network serving for communication with the turbine controllers.

The communication with the remote servers, RC LFC and WC SMPP, is realised via a dedicated network system to OSP – series connections (X.21, G.703) and via a broadband WAN.

The WL LFC servers possess also the connections with the SOWE/EL server, that make it possible to fetch the BPKD SOWE plans in a case of failure/missed plans in the LFC system.

The instances of SRM LFC possess the identical sets of the operational applications and services. In contrary to its predecessors (systems SOWE, ARCM), LFC is the system ensuring the full replication of the data being exchanged within it. For supporting the redundancy mechanism, SRM LFC makes use of the authoring solutions of the *data exchange heartbeat*, responsible for automatic and immediate switching of the servers into the *master/slave* mode upon detection of an emergency condition (red junction in Fig. 1). Arranging the replication connections by the *ad-hoc* method makes it possible to bypass the complete network infrastructure what cuts down the data replication times, decreases the failure rate and decreases the load of the industrial networks from generation of an excessive traffic within the same.

2. Control modes of JWCD and integration of WL with the existing automation systems

The LFC system is capable of realisation of control of the JWCD units in the following variants:

- **automatic operation**
 - **without intervention of the operating staff** – as per the power value preset for the subsequent hour quarters from

the BPKD LFC plans and in accordance with the current automatic/direct control commands from RC LFC, within the scope of the preset primary and secondary control states, and the preset power value within the secondary control band.

- **with intervention of the operating staff** – JWCD operates in the automatic mode of LFC, however, DIRE or KB, due to some technological reasons, makes the manual setting of some operating parameters. By example, at the manual switching off the secondary control, the unit does not realise the secondary control and WL LFC omits all commands from RC LFC, referring to the secondary control in JWCD.
- **Operation in the manual mode** – JWCD does not operate in any of the automatic modes mentioned above while the turbine controller realises the program chosen by the unit operator, e.g. *„Regulacja ciśnienia pary świeżej”* (Fresh water pressure control), *„Regulacja mocy zadanej przez operatora”* (Control of power preset by the operator), *„Sterowanie ręczne”* (Manual control), etc.

The scheme below illustrates some examples of solutions of the communication of SRM LFC with the unit automation, making use of the direct input to the controller or via the MGate gates of the automation system, MASTER.

3. Differences between the systems LFC and SOWE

A short summary of the most important differences between the systems SOWE and LFC is included in the Tab. 1.

4. Architecture and functionality of the software SRM LFC

The implementation of SRM LFC authored by IASE sp. z o.o. makes use of the multi-layer, modular architecture consisting of the three basic levels basing on the MVC design template. This enables a clear and natural separation of the individual component functionalities, what translates into the clarity of the implementation and creates more flexible conditions for the future expansion. Due to the modular structure, e.g. the network part may be expanded easily of the service of the additional communication protocols or the current archiving modules may be enriched of the service of the external data storage sources. This is translated into the better scalability of the system as a whole.

The communication layer (the green colour in the Fig. 3 consists of the data exchange protocols. Here, the dialog happens with the remote servers RC LFC and WC SMPP within the scope of setting up and maintaining the connections (ICCP associations), reception of the preset power plans, BPKD for JWCD and the realisation of the automatic/direct control commands for LFC, as well as the making accessible the current operating parameters

¹ Described later in the text.

² The requirements of PSE Operator SA, concerning the automatic power control speed within the secondary control band are the response time in the order of 5 seconds on the unit automation side while the activation of the whole control band may not exceed 15 minutes.

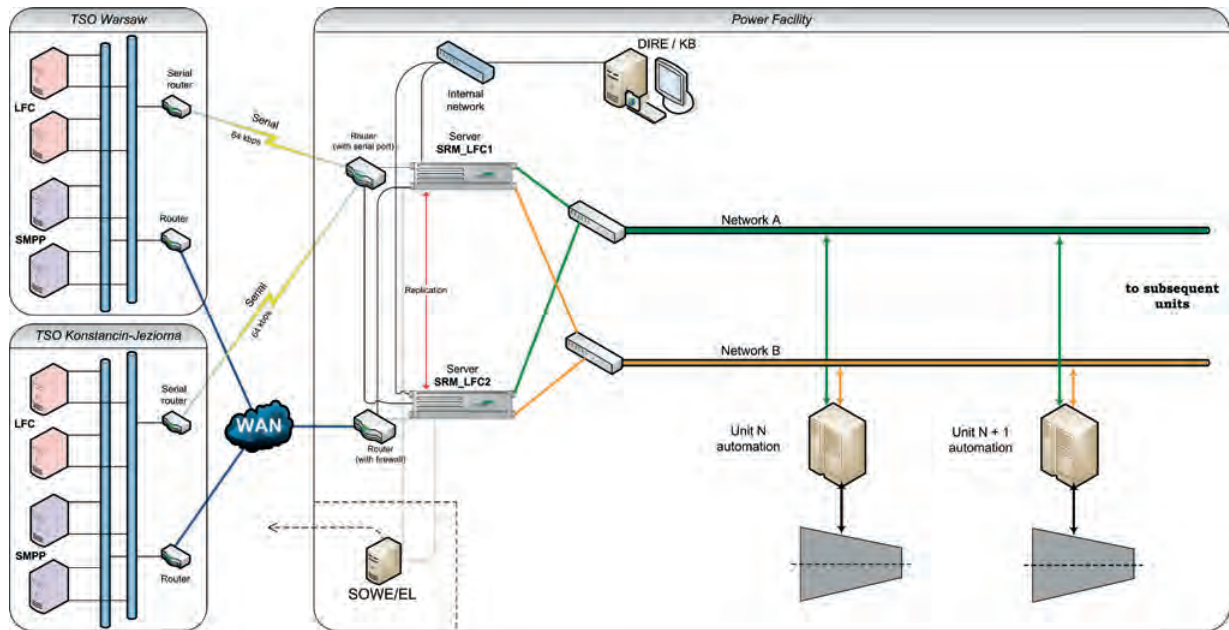


Fig. 1. General diagram of network connections, SRM LFC

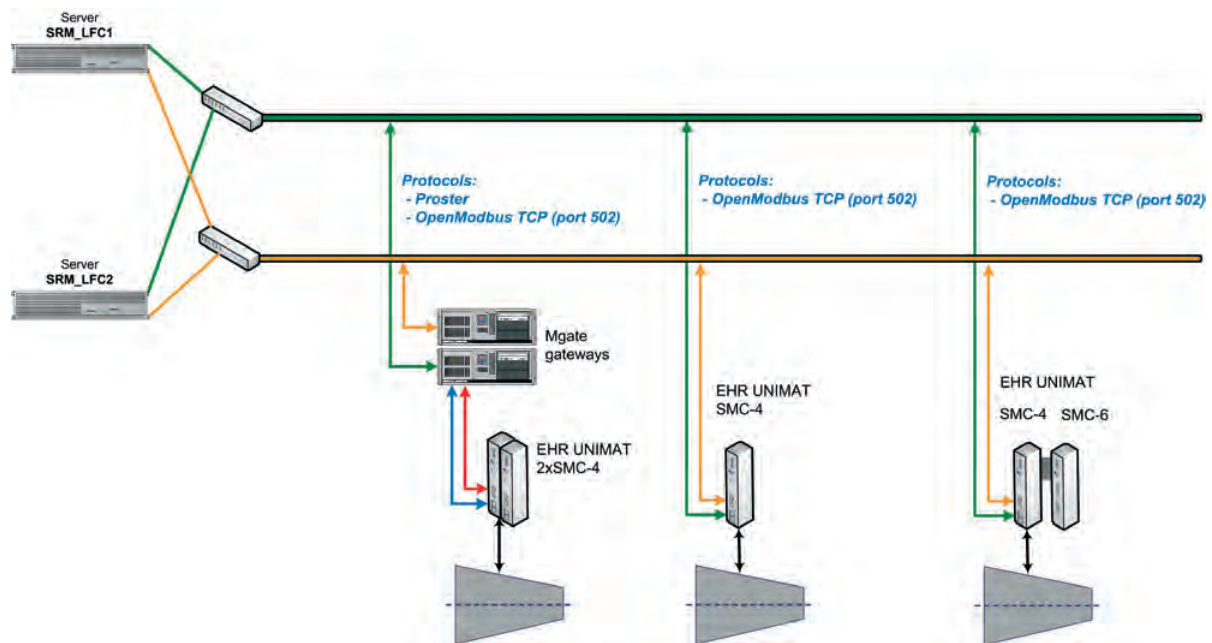


Fig. 2. Example solutions of the communication of SRM LFC with the unit automation

of JWCD for WC SMPP (in the RBE³ mode or the normal mode – on a demand from OSP), as a feedback. The communication of SRM with the unit automation happens in one of the variants presented earlier in the Fig. 2. The access to the SRM data is made possible by a *web service*, via the HTTP protocol. The service makes available the information on the states of the processes being executed, the BPKD plans, the events, the signal, switch and internal system variable values.

The data layer (the blue colour in the Fig. 3) is the intermediate layer between the communication layer and the presentation layer, wherein the dominating role is fulfilled by the real-time database (RTDB). RTDB, operating in the *client/server* architecture, dumps, replicates and manages all data coming both from the outside (BPKD plans and controls from OSP) and from the system interior (signals from PLC/DCS). The applications and the working processes of SRM communicate one with another via

³ The data is transferred at changes in the signal values or after passage of so called integrity time (in the LFC system, this is 15 minutes of idleness in the SMPP communication band of the protocol ICCP-TASE.2).

	SOWE	LFC
Secondary control value	Signal Y1 (unit: degrees, range: [-31, 31])	Pw_cmd (unit: MW, range: dependent on JWCD)
Time stamping of plans of BPKD	Local time	UTC time
SMPP system location	Usually isolated, separate server	Integrated with WL LFC
Data exchange with OSP	XML documents, ICCP-TASE.2 in SMPP	Real-time protocol, ICCP-TASE.2 (LFC and SMPP)
Response time for automatic control switching actions	Resolution of the BPKD plan, 15 minutes + the response time in the automation, ~30 s	Immediate reaction, maximum 5s of the delay on the side of WL
Realisation of redundancy	Cold reserve	Hot reserve
System architecture	Distributed (the system components thrown among several servers, what is translated into the higher complexity and the longer response times)	Coherent – the total software on the redundant server system of WL LFC
Configuration	Not uniform	Standard configuration of the ICCP-TASE.2 protocol (XML format)
Access to SRM data	Usually, it requires the additional software of type <i>thin client</i> , installed on the computer of the user	In practice, from any network location, via the internet browser – HTTP(S) protocol

Tab. 1. Differences between the systems LFC and SOWE

the RTDB mechanisms, realising, among others, the execution of the current automatic/direct control commands in the direction of the JWCD unit automation.

The presentation layer (the grey colour in the Fig. 3) is responsible mainly for the data visualisation. It includes also the main service, WL LFC, operating in the terminal mode⁴.

5. Data flow and acquisition

The SRM servers operate uninterruptedly in the hot reserve mode (*master/slave*), exchanging, between each other, the status information (the *heartbeat* mechanism) and, in a case of a failure, change with their roles. The national server, RC LFC, may set up a connection with an arbitrarily chosen server, WL LFC (the SMPP servers set up the connections in an analogical way). All automatic control commands and the BPKD plans, transferred from RC LFC to the selected SRM server are replicated to the neighbouring instance of SRM LFC. The automatic control commands (after being validated) are sent to the unit automation of JWCD from the leading server (currently operating in the *master* mode). The BPKD plans received are archived in the local databases of the SRM LFC servers and, next, are used, in appropriate quarters of hours, for realisation of the automatic control commands for specific JWCD. The data exchange between the SRM LFC servers and the communication devices of the unit automation of JWCD is executed along two tracks, via the redundant networks. Both SRM LFC servers maintain constant communication with JWCD, reading the current unit operating parameters from the unit automation. The SRM servers make it possible for the operating



Fig. 3. Layered model of a single SRM LFC instance

staff to start up the LFC system management website, to supervise its operation, to switch the operating modes of individual JWCD and to preset the manual values.

The Fig. 4 illustrates the above mentioned, simplified data flow between the individual components of the LFC system, summarising the functionality of a single SRM LFC, discussed hereinabove.

The data acquisition in the system is led by an independent system service, wherein it happens the trend-based logging of analogue variables, two-state variables and events of the JWCD units into the MS SQL Server database (the MasterToDB software). The archival logging data is available for OSP and feed the event and the unit operators' plot websites, also.

6. User interface

Each SRM LFC server possesses its own instance of the IIS server hosting the identical set of websites implemented in the ASP.NET technology. Via the WWW interface, the user gets the simultaneous access to the LFC and SOWE systems. After the authorisation, the system passes automatically to the management panel view, from which the user may do the following (in accordance with the allocated authorities):

- to receive the alarms concerning incorrect commands from RC LFC and the communication problems with OSP
- to obtain the current status information about the states of the services and modules of the LFC and SOWE systems
- to look through the BPKD plans and the events, directly from the unit automation
- to set the signals on the plots and to generate the historical data plots
- to choose SRM preferred for the relevant unit or to switch the operating modes of individual JWCD (the modes AUTO/MANUAL – the DIRE and/or unit managers/operators only).

⁴ The operating mode used mainly for the diagnostic purposes, at the implementation and piloting work for SRM LFC in the facilities.

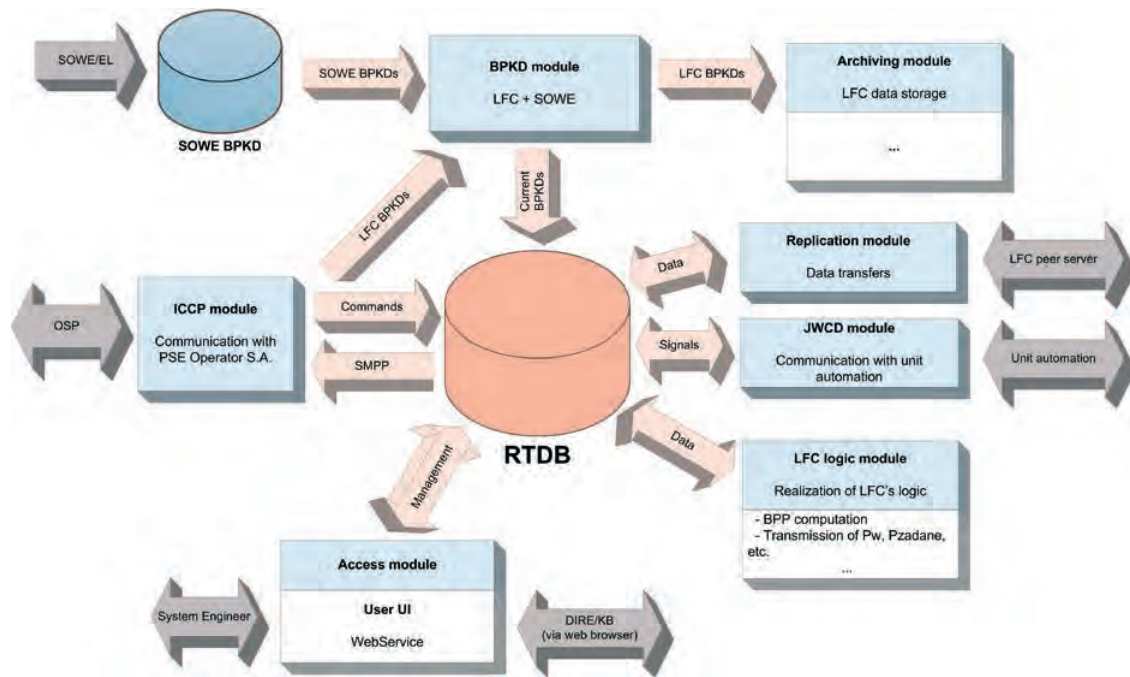


Fig. 4. The scheme of the data flow inside SRM LFC

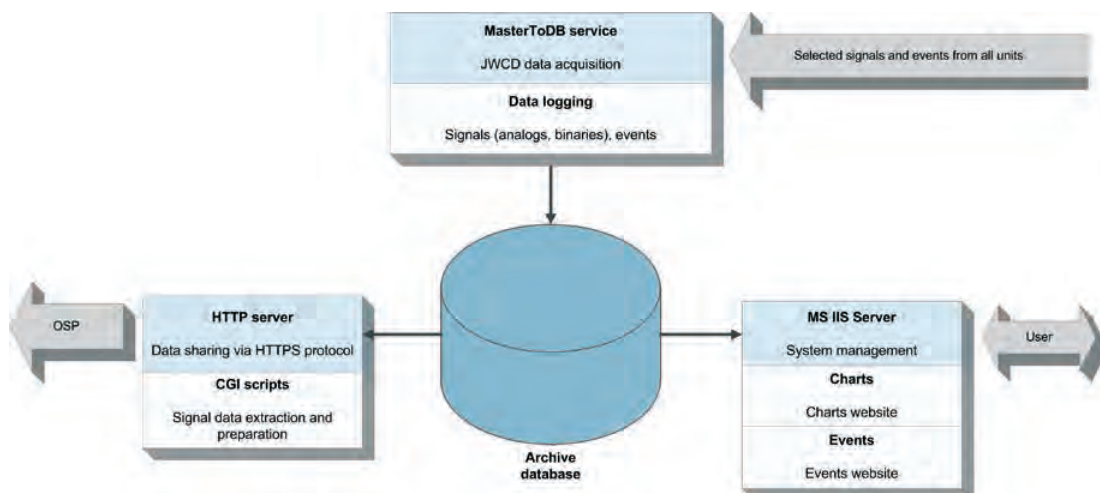


Fig. 5. Acquisition and sharing of the historical data in SRM LFC

7. Expansions of the standard functionality of WL LFC, authored by IASE sp. z o.o.

During conduction of the modernisation work for WL LFC in the power plants Opole and Bełchatów, there was separated a system service making available the expanded set of signals of the SMPP subsystem for the central unit in PGE GiEK in Bełchatów. The data exchange is executed here in the real-time protocol. ICPP-TASE.2, also. This solution ensured the additional monitoring of operation of the LFC system, without excessive loading of the main SRM processes.

There was also developed the signalling mechanism for the repair work and turbine inspections by the system engineer, consisting in "switching off" of the relevant JWCD from communication with OSP. All values returned from JWCD towards OSP are zeroed and

stamped as invalid, thus avoiding of penetration of the "random" values back to OSP, of which the power plant may be settled in a later time. The automatic/direct control commands from OSP are "blocked" in SRM, returning the unavailability status of the relevant JWCD.

It was also introduced the possibility of selection of preferred SRM (LFC/SOWE) for each JWCD, from the level of the common SRM management panel, thus simplifying the process of switching to the "spare" SRM in a case of a failure.

8. Deployments and acceptance actions

The LFC local nodes, manufactured by IASE sp. z o.o., were implemented and accepted by PSE Operator SA in the Opole Power Plant (service for four JWCD units) and in the Bełchatów Power



Fig. 6. The view of the LFC system main control panel



Fig. 7. BPKD plan preview

Plant (service of thirteen JWCD units). The deployments were carried out in steps for individual JWCD of each of the facilities, such as the official acceptance actions of individual JWCD by OSP. During the implementation works, all found irregularities were repaired even prior commencing the official tests with OSP. However, a part of the functionality was implemented somewhat later (i.e. the service of fast transfer of connections onto the operable SRM or blocking of transmission by SMPP of the signals from the units put for repairing or being in the standstill condition).

9. Resume

The LFC standard introduced a series of innovative solutions with respect to the earlier implementations of the ARCM systems. The continuous operation in the real time ensures the immediate mobilisation of the available JWCD; due to that, the KSE network may achieve faster stabilisation after disturbances occur therein. The ICCP-TASE.2 protocol ensuring the reliable data transmission, proven earlier in the SMPP system, is a transmission standard in many electrical power systems what creates the perspectives of

a real integration of LFC with those. The standardisation of the technological solutions brings also a hope of creation of the more uniform global communication infrastructure that may become even a stimulus for implementation of the “intelligent” network of the *smart grid* type, able to the heuristic auto-reconfiguration in a case of a failure of one or more of its components.

REFERENCES

1. PSE Operator SA, Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC (the requirements against JWCD for the purposes of the LFC system implementation), Warszawa 2011 (in Polish).
2. PSE Operator SA, Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach (The procedure of acceptance of the local nodes of the LFC system in power plants), Warszawa 2013 (in Polish).
3. Pasiut G., Komarzyniec M., Kurzynski A., Wybrane zagadnienia w zakresie dostosowania bloków do udziału w obronie and odbudowie zasilania KSE, materiały konferencyjne (Selected

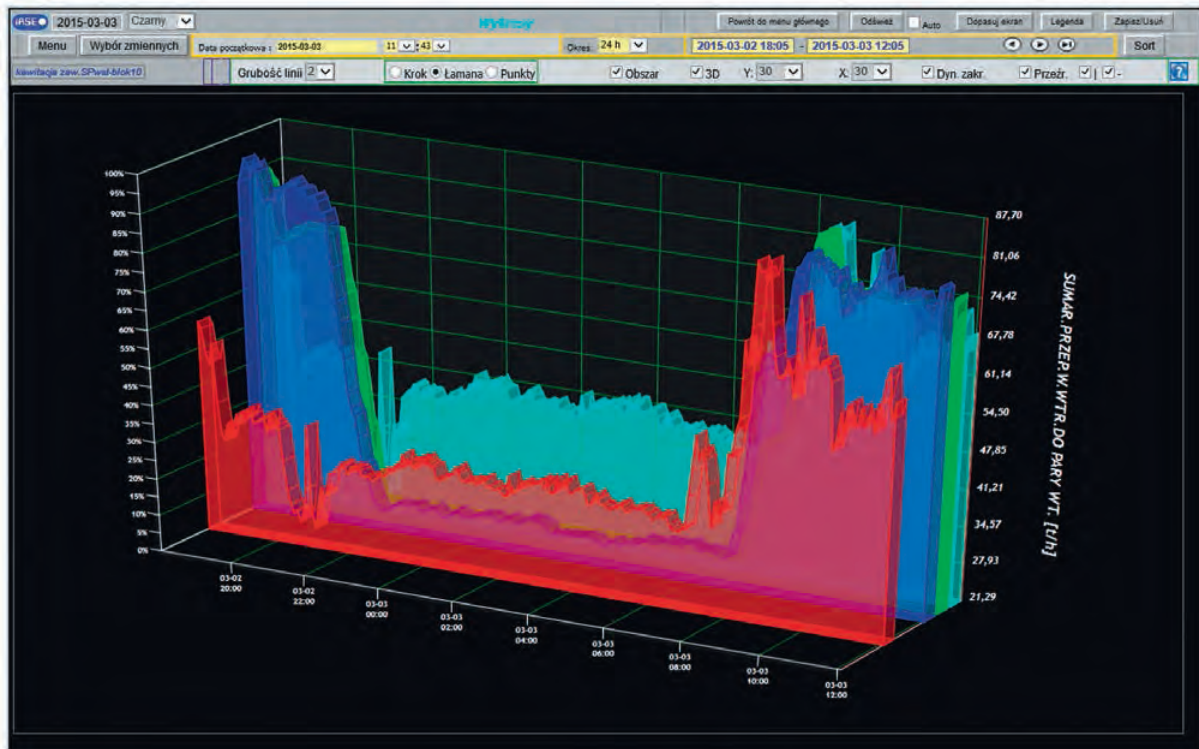


Fig. 8. 3D plots: the view of the archival signal logging

- problems within the scope of adaptation of the units for participation in the defence and reconstruction of the KSE power supply, conference materials), Warszawa 2007 (in Polish).
- Union for the Coordination of Transmission of Electricity, Instrukcja pracy systemów połączonych UCTE (wersja 2.2, poziom E) (The operating instructions of the UCTE interconnected systems (version 2.2, level E), 2004 (in Polish).

Dariusz Wojtanowicz

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: dariusz.wojtanowicz@iase.wroc.pl

A graduate of the Informatics and Management Faculty of the Wrocław Technical University. From 2011, employed in the Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o. in Wrocław, presently on the position of an engineering/technical specialist. He is involved in the development and the optimisation of the MASTER system automation software; he is a co-creator of the LFC power distribution system developed in the Institute.

Roman Skakowski

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: roman.skakowski@iase.wroc.pl

A graduate of the Electrical Faculty of the Electrical Faculty of the Kharkiv Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (KhIMEA) university in Kharkov on Ukraine. He was granted the title of the Technical Science Doctor from the electric Power Institute of the Wrocław Institute of Technology. From 1996, employed in the Institut Automatyki Systemów Energetycznych, presently on the position of the Electric Power Department Manager. He is specialised in the development of the Polish Automation System MASTER and is a co-creator of the Master Supervisory system and of the LFC Power Distribution System developed in the Institute for Polish power plants.

Edward Ziaja

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: edward.ziaja@iase.wroc.pl

The Managerial Board President in the Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o., a graduate of the Electrical Faculty of the Wrocław Technical University. The professional achievements: the author and co-author of 3 patents and utility patterns, 8 rector prizes for the research and invention activities on the Wrocław University of Technology, the author and the co-author of implementations of 10 patents in the Polish electric power and of more than 30 studies published in the branch press.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 121–127. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Sterowanie i monitoring obiektów energetycznych wg standardu LFC

Autorzy

Dariusz Wojtanowicz
Roman Skakowski
Edward Ziaja

Słowa kluczowe

ARCM, LFC, SMPP, ICCP-TASE.2, IASE

Streszczenie

Artykuł przybliża zasadę działania nowego systemu rozdziału mocy LFC (ang. *Load Frequency Control*), będącego następcą systemu ARCM SOWE (automatyczna regulacja częstotliwości i mocy, ang. *Automatic Frequency and Power Control*). Większość pracy skupia się na architekturze węzła lokalnego systemu LFC autorstwa IASE sp. z o.o. Zostały tu przybliżone zagadnienia automatycznego sterowania blokami wg planów i poleceń z regulatora centralnego LFC, monitoringu pracy systemu poprzez zintegrowany moduł SMPP oraz zagadnienia związane z nowymi technologiami wykorzystywanymi przez LFC (m.in. protokół ICCP-TASE.2 [ang. *Intercontrol Center Communications Protocol*], standard IEC60870-6). Opisano także najważniejsze komponenty SRM LFC odpowiedzialne m.in. za wymianę danych z automatyką blokową, archiwizację i udostępnianie danych historycznych, zadawanie oraz podgląd aktualnych wartości regulacyjnych przesyłanych przez OSP (operator systemu przesyłowego, ang. *Transmission System Operator*).

1. Informacje ogólne, wymogi projektowe oraz krótki opis systemu LFC

LFC to wdrażany obecnie przez PSE Operator SA standard systemu automatycznej regulacji częstotliwości i mocy, którego zadaniem jest prowadzenie oraz monitoring w czasie rzeczywistym bloków energetycznych pracujących w polskiej sieci elektroenergetycznej, określanych mianem Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (JWCD, ang. *Centrally Disposed Generating Unit*). System LFC jest następcą systemu SOWE (system operatywnej współpracy z elektrowniami, ang. *Power Plants Co-operation System*), pracuje w środowisku rozproszonym, integrując w sieci dostępne JWCD i realizując sterowanie regulatora centralnego LFC (RC LFC). Każda JWCD jest autonomiczna w sieci LFC oraz uczestniczy w procesie regulacji mocy, gdy jest oficjalnie dopuszczona przez OSP do pracy w środowisku produkcyjnym LFC.

Globalna inteligencja systemu zaszyta jest w elemencie regulatora centralnego, którego zasadniczym zadaniem jest utrzymanie równowagi pomiędzy mocą wytwarzaną a aktualnym zapotrzebowaniem na nią w ramach KSE.

RC LFC komunikuje się z elektrownią za pośrednictwem węzła lokalnego systemu LFC (WL LFC).

Węzeł lokalny integruje różne rozwiązania technologiczne stosowane na terenie obiektu w taki sposób, aby było to transparentne dla RC LFC. Prowadzi dialog bezpośrednio lub pośrednio z automatyką blokową, realizując sterowania z RC LFC oraz przekazując zwrótnie do WC SMPP aktualne wartości i stany parametrów pracy JWCD (SMPP – system monitorowania parametrów pracy, ang. *Parameters Monitoring System*). Oficjalna specyfikacja WL LFC bardzo precyzyjnie określa sposób prowadzenia

konwersacji w relacji OSP \leftrightarrow WL LFC (protokół ICCP-TASE.2), nie narzuca jednak żadnych konkretnych rozwiązań projektowych co do komunikacji WL LFC z układami automatyki JWCD. Różnorodność rozwiązań technologicznych po stronie obiektu przekłada się bezpośrednio na złożoność implementacji węzła lokalnego LFC. Proces integracji SRM LFC z istniejącymi rozwiązaniami nie jest rzeczą trywialną i wymaga współpracy wszystkich zaangażowanych przedsiębiorstw w celu zbudowania niezawodnej infrastruktury łączącej każdą JWCD z RC LFC (system rozdziału mocy, ang. *Power Distribution System*).

Wymogi projektowe stawiane węzłom lokalnym zostały sprecyzowane przez PSE Operator SA w dwóch dokumentach: „Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC” oraz „Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach”.

Do najważniejszych celów projektowych OSP można zaliczyć:

- wysoką niezawodność działania całego układu
- zapewnienie redundancji typu *hot spare* (gorącej rezerwy)
- szybkie przełączanie się między trybami *master/slave* instancji serwerów SRM
- wykorzystanie protokołu ICCP-TASE.2 (standard IEC60870-6) w procesie wymiany danych z OSP (blok 1 – plany i 5 – sterowania) oraz obsługa komunikacji typu RBE¹ (ang. *Report By Exception*)
- integracja w WL funkcjonalności systemu LFC i SMPP
- przejście z czasu lokalnego (w SOWE) na czas UTC (w LFC) w planach BPKD (bieżąca plan koordynacyjny doby)
- raportowanie i rejestrowanie najważniejszych aktywności w systemie
- obsługa różnych wariantów komunikacyjnych z lokalizacjami OSP

- dostosowanie automatyki WL do wymogów LFC (regulatory turbin, systemy wizualizacji i rejestracji danych, DCS itd.)².

Z perspektywy IT system WL LFC składa się z redundantnej jednostki centralnej w postaci dwóch równorzędnych serwerów SRM_LFC1 i SRM_LFC2, komputerów klienckich zlokalizowanych u dyżurnego inżyniera ruchu elektrowni (DIRE) oraz u kierowników bloków (KB), redundantnej sieci komunikacyjnej umożliwiającej dostęp do obu instancji serwerów SRM LFC oraz sieci procesowej, służącej do komunikacji z regulatorami turbin.

Komunikacja ze zdalnymi serwerami RC LFC i WC SMPP odbywa się poprzez dedykowany układ sieciowy do OSP – połączenia szeregowe (X.21, G.703) oraz szerokopasmowy WAN.

Serwery WL LFC posiadają także połączenia z serwerem SOWE/EL, które umożliwiają pobieranie planów BPKD SOWE w przypadku awarii/braku planów w systemie LFC.

Instancje SRM LFC mają identyczne zestawy działających aplikacji i usług. W przeciwieństwie do swoich poprzedników (SOWE, ARCM) LFC jest systemem zapewniającym pełną replikację wymienianych w nim danych. Mechanizm redundancji SRM LFC wykorzystuje autorskie rozwiązanie *data exchange heartbeat*, odpowiedzialne za automatyczne i natychmiastowe przełączanie się serwerów w tryb *master/slave* po wykryciu sytuacji awaryjnej (czerwony łącznik na rys. 1). Zestawienie torów replikacji metodą *ad-hoc* pozwala na obejście pełnej infrastruktury sieciowej, co skraca czasy replikacji danych, zmniejsza awaryjność i odciąża sieci przemysłowe od generowania w nich nadmiarowego ruchu.

¹ Opisane dalej w tekście.

² Wymogi PSE Operator SA dotyczące szybkości regulacji mocy w paśmie regulacji wtórnej dla bloku to reakcja rzędu 5 sekund po stronie automatyki blokowej, zaś aktywacja całego pasma regulacyjnego nie może przekraczać 15 minut.

2. Tryby sterowania JWCD oraz integracja WL z istniejącymi układami automatyki System LFC może realizować sterowanie blokami JWCD w następujących wariantach:

- **praca automatyczna**
 - **bez ingerencji personelu obsługującego** – wg wartości mocy zadanej na kolejne kwadransy z planów BPKD LFC oraz zgodnie z bieżącymi poleceniami regulacyjno-sterującymi z RC LFC w zakresie zadanych stanów regulacji pierwotnej i wtórnej oraz wartości mocy zadanej w paśmie regulacji wtórnej
 - **z ingerencją personelu obsługującego** – JWCD pracuje w trybie automatycznym LFC, jednak DIRE lub KB z powodów technologicznych

dokonuje ręcznego ustawienia niektórych parametrów pracy. Przykładowo przy ręcznym wyłączeniu regulacji wtórnej – blok nie realizuje regulacji wtórnej, a WL LFC pomija wszystkie polecenia z RC LFC dotyczące regulacji wtórnej w JWCD

- **praca w trybie ręcznym** – JWCD nie pracuje w żadnym z wyżej wymienionych trybów automatycznych, zaś regulator turbiny realizuje wybrany przez operatora blok program, np.: „Regulacja ciśnienia pary świeżej”, „Regulacja mocy zadanej przez operatora”, „Sterowanie ręczne”.

Poniższy schemat ilustruje przykłady rozwiązań komunikacji WL LFC z automatyką blokową, wykorzystując wejście

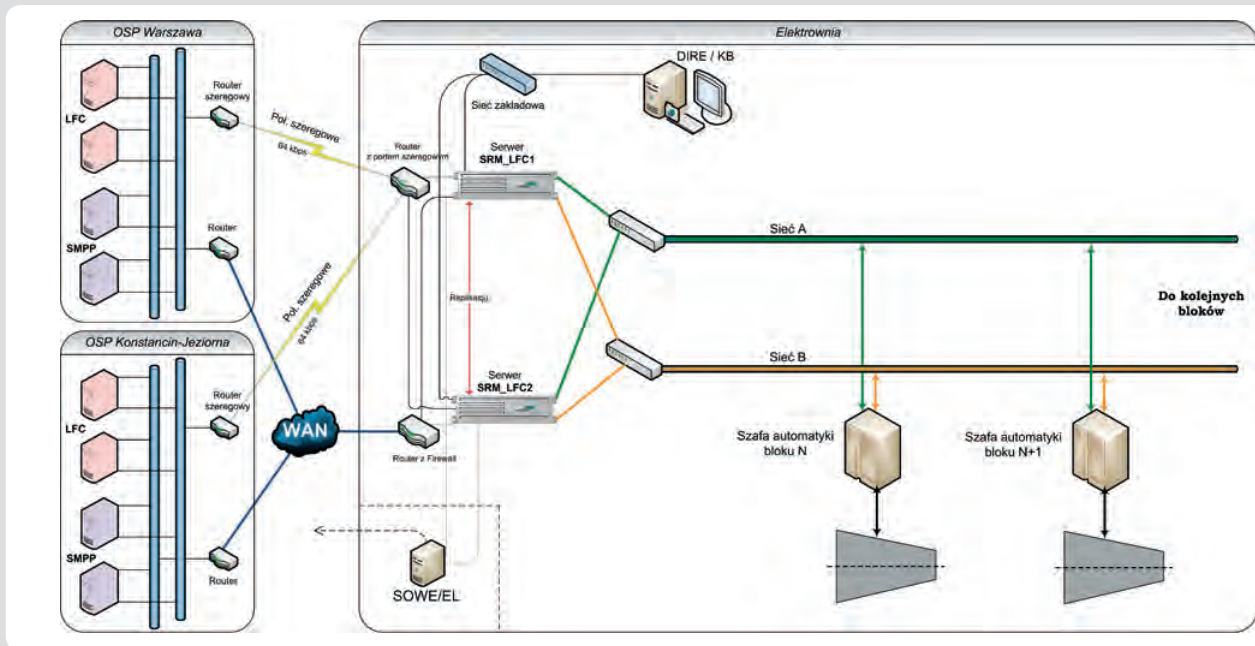
bezpośrednie na sterownik bądź poprzez bramki MGate systemu automatyki MASTER.

3. Różnice pomiędzy systemami SOWE i LFC

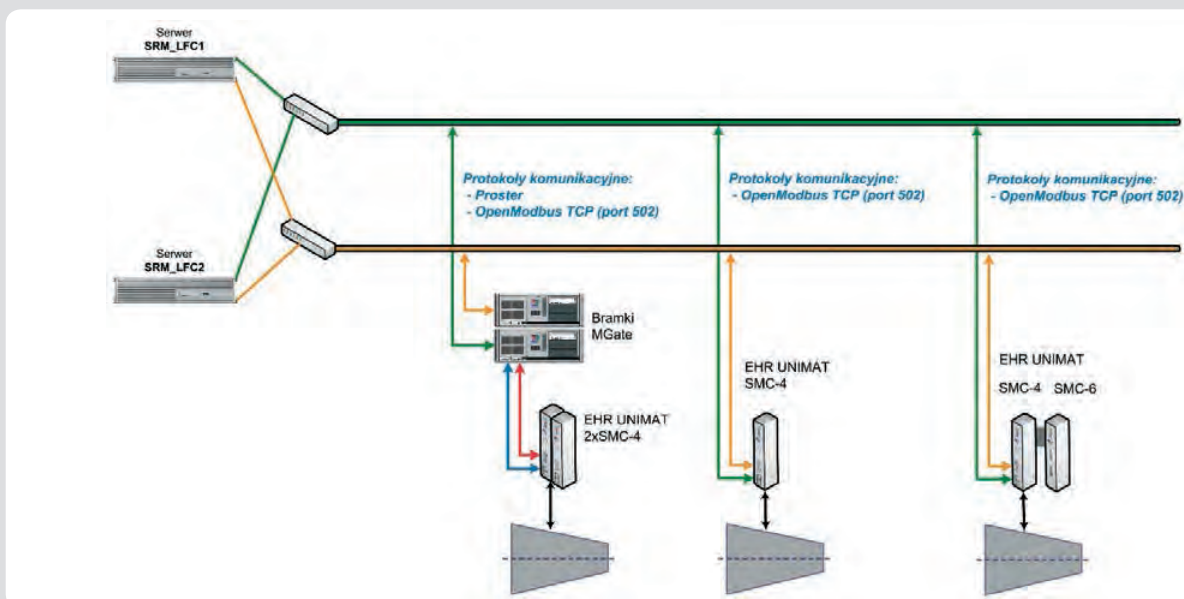
Krótkie podsumowanie najistotniejszych różnic pomiędzy systemem SOWE i LFC zawiera tab. 1.

4. Architektura oraz funkcjonalność oprogramowania SRM LFC

Implementacja SRM LFC, autorstwa IASE sp. z o.o., wykorzystuje wielowarstwową, modułarną architekturę składającą się z trzech zasadniczych poziomów bazujących na wzorcu projektowym MVC (ang. *Model-View-Controller*). Umożliwia to wyraźną



Rys. 1. Schemat ogólny połączeń sieciowych SRM LFC



Rys. 2. Przykłady połączeń SRM LFC z automatyką blokową

	SOWE	LFC
Wartość regulacji wtórnej	Sygnal Y1 (jednostka: stopnie, zakres: [-31, 31])	Pw_cmd (jednostka: MW, zakres: zależny od JWCD)
Znakowanie czasem planów BPKD	Czas lokalny	Czas UTC
Lokalizacja systemu SMPP	Zwykle wyizolowany, osobny serwer	Zintegrowany z WL LFC
Wymiana danych z OSP	Dokumenty XML, ICCP-TASE.2 w SMPP	Protokół czasu rzeczywistego ICCP-TASE.2 (LFC i SMPP)
Czas reakcji na przełączenia regulacji	Rozdzielczość planu BPKD 15 minut + czas realizacji w automatyce ~30 s	Reakcja natychmiastowa, maksymalnie 5 s zwłoki po stronie WL
Realizacja redundancji	Zimna rezerwa	Gorąca rezerwa
Architektura systemu	Rozproszona (komponenty systemu rozrzucone na kilka serwerów, co przekłada się na większą złożoność oraz dłuższe czasy reakcji)	Zwarta – całość oprogramowania na redundanтным układzie serwerów WL LFC
Konfiguracja	Niejednolita	Standardowa konfiguracja protokołu ICCP-TASE.2 (format XML)
Dostęp do danych SRM	Wymaga z reguły dodatkowego oprogramowania typu <i>thin client</i> zainstalowanego na komputerze użytkownika	Praktycznie z dowolnej lokalizacji sieciowej poprzez przeglądarkę internetową – protokół HTTP(S)

Tab. 1. Różnice pomiędzy systemami SOWE i LFC

i naturalną separację funkcjonalności poszczególnych elementów, co przekłada się na przejrzystość implementacji oraz stwarza elastyczniejsze warunki przyszłej rozbudowy. Dzięki modularnej strukturze można łatwo rozszerzyć np. część sieciową o obsługę dodatkowych protokołów komunikacyjnych bądź wzbogacić aktualne moduły archiwizacji danych o obsługę zewnętrznych źródeł magazynowania danych. Przekłada się to również na lepszą skalowalność systemu jako całości.

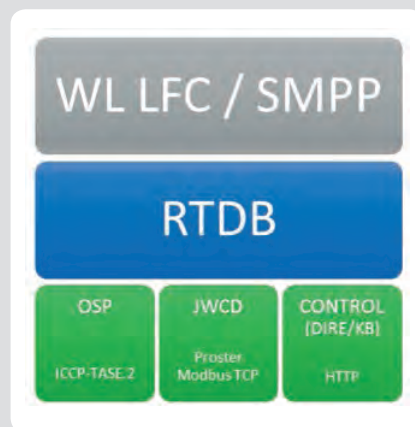
Warstwę komunikacyjną (kolor zielony na rys. 3) tworzą protokoły wymiany danych. Odbywa się tu dialog ze zdalnymi serwerami RC LFC oraz WC SMPP w zakresie nawiązywania i utrzymania połączeń (asocjacji ICCP), odbierania planów mocy zadanej BPKD dla JWCD oraz realizacja poleceń regulacyjno-sterujących LFC, a także zwrotne udostępnianie bieżących parametrów pracy JWCD do WC SMPP (w trybie RBE³ bądź normalnym – na żądanie z OSP). Komunikacja SRM z automatyką blokową odbywa się w jednym z wariantów przedstawionych wcześniej na rys. 2. Dostęp do danych SRM umożliwia usługa sieciowa (*web service*) poprzez protokół HTTP. Udostępnia ona informacje o stanach wykonywanych procesach, planach BPKD, zdarzeniach, wartościach sygnałów, przełączników i zmiennych wewnętrznych systemu.

Warstwa danych (kolor niebieski na rys. 3) to warstwa pośrednicząca pomiędzy warstwą komunikacyjną a warstwą prezentacji, w której dominującą rolę pełni baza danych czasu rzeczywistego (RTDB). Działająca w architekturze klient/serwer RTDB składa się, replikuje oraz zarządza wszystkimi

danymi pochodzącymi zarówno z zewnątrz (plany BPKD oraz sterowania z OSP), jak i z wnętrza systemu (sygnały z PLC/DCS). Aplikacje oraz procesy robocze SRM komunikują się ze sobą poprzez mechanizmy RTDB, realizując m.in. wykonywanie bieżących poleceń regulacyjno-sterujących w stronę automatyki blokowej JWCD. Warstwa prezentacji (kolor szary na rys. 3) jest odpowiedzialna głównie za wizualizację danych. W jej skład wchodzi także główna usługa WL LFC pracująca w trybie terminalowym⁴.

5. Przepływ oraz akwizycja danych

Serwery SRM pracują nieprzerwanie w trybie gorącej rezerwy (*master/slave*), wymieniając między sobą informacje statusowe (mechanizm *heartbeat*) i w razie awarii zamieniając się rolami. Krajowy serwer RC LFC może ustanowić połączenie z dowolnie wybranym serwerem WL LFC (w analogiczny sposób nawiązują połączenia serwery SMPP). Wszystkie polecenia regulacyjne oraz plany BPKD przesyłane z RC LFC do wybranego serwera SRM są replikowane na sąsiednią instancję SRM LFC. Otrzymane polecenia regulacyjne są (po ich walidacji) wysyłane do automatyki blokowej JWCD z serwera wiodącego (pracującego aktualnie w trybie *master*). Otrzymane plany BPKD archiwizowane są w lokalnych bazach danych serwerów SRM LFC, a następnie zostają wykorzystane we właściwych kwadransach do wypracowania poleceń regulacyjnych dla konkretnych JWCD. Wymiana danych serwerów SRM LFC z urządzeniami komunikacyjnymi automatyki blokowej JWCD odbywa się dwutorowo poprzez redundančne sieci. Oba serwery SRM LFC stale utrzymują komunikację z JWCD, odczytując



Rys. 3. Model warstwowy instancji SRM LFC

z automatyki blokowej bieżące parametry pracy bloków. Serwery SRM umożliwiają personelowi obsługującemu uruchomienie witryny zarządzania systemem LFC, nadzorowanie jego pracy, dokonywanie przełączania trybów pracy poszczególnych JWCD oraz zadawanie wartości ręcznych.

Rys. 4 ilustruje powyższy, uproszczony przepływ danych pomiędzy poszczególnymi elementami systemu LFC, podsumowując dotychczas omawianą funkcjonalność pojedynczego SRM LFC.

Akwizycja danych w systemie jest prowadzona poprzez niezależną usługę systemową, w której następuje trendowa rejestracja zmiennych analogowych, dwustanowych oraz zdarzeń z bloków JWCD do bazy MS SQL Server (oprogramowanie MasterToDB). Dane rejestracji archiwalnie dostępne są dla OSP, a także zasilają witryny zdarzeń oraz wykresów operatorów bloków.

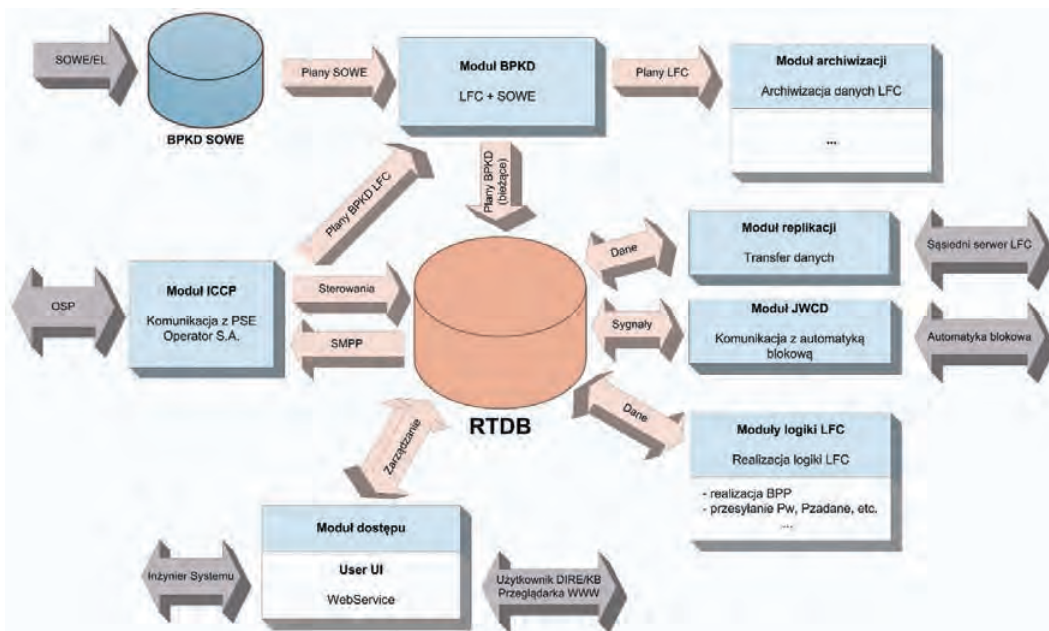
6. Interfejs użytkownika

Każdy serwer SRM LFC posiada własną instancję serwera IIS, hostującego identyczny zestaw witryn sieci web zaimplementowanych w technologii ASP.NET. Przez interfejs WWW użytkownik uzyskuje jednoczesny dostęp do systemu LFC oraz SOWE. Po autoryzacji system automatycznie przechodzi do widoku panelu zarządzania, z którego (zgodnie z przydzielonymi uprawnieniami) użytkownik może:

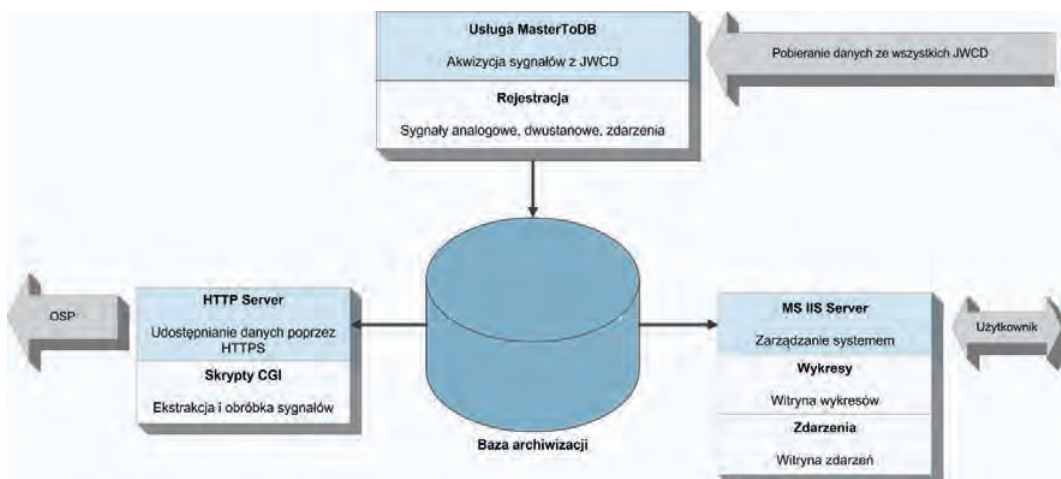
- otrzymywać alarmy dotyczące niepoprawnych poleceń z RC LFC oraz problemów komunikacyjnych z OSP
- uzyskiwać bieżące informacje statusowe o stanach usług i modułów systemów LFC oraz SOWE
- przeglądać plany BPKD oraz zdarzenia bezpośrednio z automatyki blokowej
- zestawiać sygnały na wykresach i generować wykresy danych historycznych
- wybierać preferowany SRM dla danego bloku lub przełączać tryby pracy poszczególnych JWCD (tryby AUTO/REKA – tylko DIRE i/lub kierownicy/operatorzy bloków).

³ Dane przesyłane są przy zmianach wartości sygnałów bądź po upływie tzw. czasu integralności (w systemie LFC to 15 min bezczynności w paśmie komunikacji SMPP protokołu ICCP-TASE.2).

⁴ Tryb pracy wykorzystywany głównie w celach diagnostycznych, przy pracach wdrożeniowych i pilotażowych SRM LFC na obiektach.



Rys. 4. Schemat przepływu danych wewnątrz SRM LFC



Rys. 5. Akwizycja oraz udostępnianie danych historycznych w SRM LFC

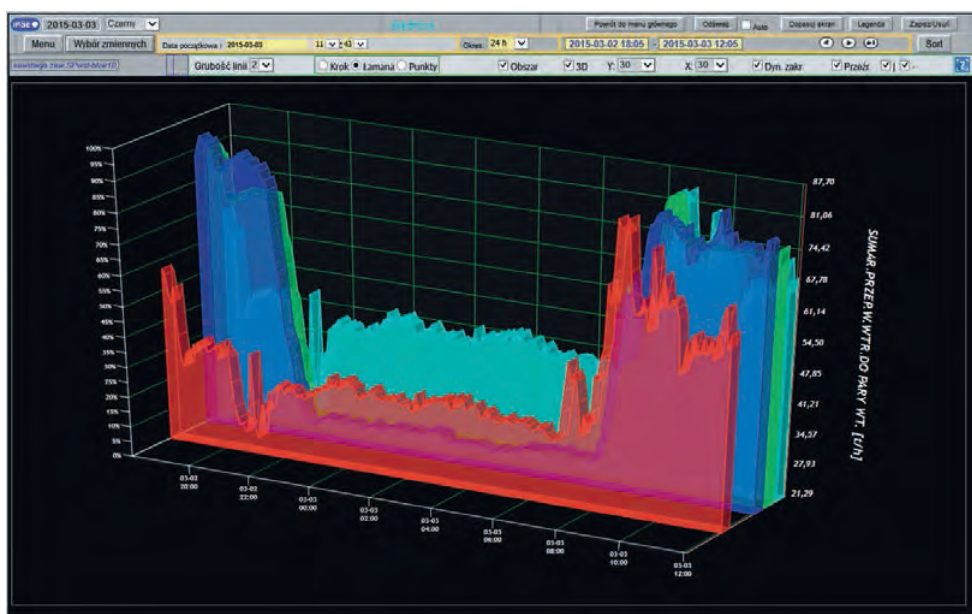
BLOK (NR)	TRYB PRACY				MOC BPP (MW)		MOC ZADANA (MW)	MOC RZECZYWISTA (MW)	REGULACJA PIERWOTNA	REGULACJA WTYRNA	POSŁ. TURB.	TRYB A/R	MOC ZADANA RELA (MW)
	Srv	Dire	Oper.	Reg.	NAST. EPMA	REALIZOWANA							
1	L	L	L	A	LS:350 350	S:350 350	349	349	A WYŁ	A Z ZAŁ -1	NMA	A	329
2	L	L	L	A	LS:350 350	S:350 350	349	349	A WYŁ	A Z ZAŁ -1	NMA	A	362
3	L	L	L	A	LS:360 360	S:360 360	359	359	A WYŁ	A Z ZAŁ -1	NMA	A	348
4	S	S	S	A	310	310	309	309	A WYŁ	A WYŁ	NMA	A	340

2013-12-04 10:14:31.765 - Brak połączenia ICPP z RC LFC ponad 15 min - skontaktuj się z KDM.
 2013-12-04 09:59:32.738 - Brak aktywnych połączeń ICPP z RC LFC do serwerów WL LFC.

Rys. 6. Widok głównego panelu sterowania systemem LFC

IASE 2013-12-05 127.0.0.1 dire		Planuj Lfc		Ni bloku 2		Data 2013-12-05		Wczoraj		Dzisiaj		Jutro		Powrót	
Dane z bloku: 2		DZIS: realizowany		Wersja: Realiz.		Pobierz plan									
00:00	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	03:15	03:30	03:45
260	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N
04:00	04:15	04:30	04:45	05:00	05:15	05:30	05:45	06:00	06:15	06:30	06:45	07:00	07:15	07:30	07:45
240	240	240	240	240	240	240	272	312	352	370	370	370	370	370	370
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N
08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N
12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45
370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N
16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45
370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N
20:00	20:15	20:30	20:45	21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45
370	370	370	370	370	370	370	330	326	326	320	280	240	240	240	240
W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N	W/N

Rys. 7. Podgląd planów BPKD



Rys. 8. Wykresy 3D: widok archiwalnej rejestracji sygnałów

7. Rozszerzenia standardowej funkcjonalności WL LFC, autorstwa IASE sp. z o.o. Podczas przeprowadzania prac modernizacyjnych WL LFC w elektrowniach Opole oraz Bełchatów została wydzielona usługa systemowa udostępniająca rozszerzony zestaw sygnałów podsystemu SMPP do centrali w PGE GiEK w Bełchatowie. Wymiana danych odbywa się tu również w protokole czasu rzeczywistego ICCP-TASE.2. Rozwiązanie to zapewniło dodatkowy monitoring pracy systemu LFC bez nadmiernego obciążania głównych procesów SRM. Opracowany został także mechanizm sygnalizacji prac remontowych i przeglądów turbiny przez inżyniera systemu, polegający na wyłączeniu danej JWCD z komunikacji z OSP. Wszystkie wartości zwracane z JWCD na stronę OSP zostają wyzerowane oraz oznakowane jako niewiarygodne, zapobiegając przedostawaniu się przypadkowych

wartości zwrócić do OSP, z czego elektrownia może zostać rozliczona w późniejszym czasie. Polecenia regulacyjno-sterujące z OSP zostają zablokowane w SRM, zwracając status niedostępności danej JWCD. Wprowadzono również możliwość wyboru preferowanego SRM (LFC/SOWE) dla każdej JWCD z poziomu wspólnego panelu zarządzania SRM, upraszczając tym samym proces przełączania się na zapasowy SRM w przypadku wystąpienia awarii.

8. Wdrożenia i odbiory

Węzły lokalne LFC wykonane przez IASE sp. z o.o. zostały wdrożone i odebrane przez PSE Operator SA w Elektrowni Opole (obsługa czterech bloków JWCD) oraz w Elektrowni Bełchatów (obsługa 13 bloków JWCD). Wdrożenia były przeprowadzane stopniowo dla poszczególnych JWCD każdego z obiektów, tak jak i oficjalne odbiory poszczególnych JWCD przez OSP. Podczas

wdrożeń wszystkie zauważone nieprawidłowości były naprawiane jeszcze przed przystąpieniem do oficjalnych testów z OSP. Część funkcjonalności została jednak zaimplementowana nieco później (tj. obsługa szybkiego przerzucania połączeń na sprawy SRM lub blokowanie wysyłania przez SMPP sygnałów z bloków odstawionych do remontu lub będących w stanie postoju).

9. Podsumowanie

Standard LFC wprowadził wiele innowacyjnych rozwiązań w stosunku do poprzednich implementacji systemów ARCM. Ciągła praca w czasie rzeczywistym zapewnia natychmiastową mobilizację dostępnych JWCD, dzięki czemu sieć KSE może szybciej osiągać stabilizację po wystąpieniu w niej zakłóceń. Protokół ICCP-TASE.2, zapewniający sprawdzoną wcześniej w systemie SMPP niezawodną transmisję danych, jest standardem transmisyjnym w wielu

systemach elektroenergetycznych, co stwarza perspektywę realnej integracji LFC z tymi systemami. Standaryzacja rozwiązań technologicznych daje również nadzieję na stworzenie bardziej jednolitej globalnej infrastruktury komunikacyjnej, co może się stać nawet bodźcem do implementacji inteligentnej sieci typu Smart Grid, zdolnej do heurystycznej autorekonfiguracji w przypadku wystąpienia awarii jednego lub kilku jej elementów.

Bibliografia

1. PSE Operator SA, Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC, Warszawa 2011.
2. PSE Operator SA, Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach, Warszawa 2013.
3. Pasiut G., Komarzynec M., Kurzynski A., Wybrane zagadnienia w zakresie dostosowania bloków do udziału w obronie i odbudowie zasilania KSE, materiały konferencyjne, Warszawa 2007.
4. Union for the Coordination of Transmission of Electricity, Instrukcja pracy systemów połączonych UCTE (wersja 2.2, poziom E), 2004.

Dariusz Wojtanowicz

mgr inż.

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: dariusz.wojtanowicz@iase.wroc.pl

Absolwent Wydziału Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej. Od 2011 roku pracuje w Instytucie Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o. we Wrocławiu, obecnie na stanowisku specjalista inżynierjno-techniczny. Zajmuje się rozwojem oraz optymalizacją oprogramowania automatyki systemu MASTER, jest współtwórcą opracowanego w Instytucie systemu rozdziału mocy LFC.

Roman Skakowski

dr inż.

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: roman.skakowski@iase.wroc.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego Instytutu Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Charkowie na Ukrainie. Doktorat uzyskał w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. Od 1996 roku pracuje w Instytucie Automatyki Systemów Energetycznych, obecnie na stanowisku kierownika Zakładu Informatyki Elektroenergetycznej. Specjalizuje się w rozwoju polskiego systemu automatyzacji MASTER, jest współtwórcą systemu nadrzędnego MASTER oraz opracowanego w Instytucie systemu rozdziału mocy LFC dla polskich elektrowni.

Edward Ziaja

mgr inż.

Institut Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o.

e-mail: edward.ziaja@iase.wroc.pl

Prezes zarządu w Instytucie Automatyki Systemów Energetycznych sp. z o.o. Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej. Autor i współautor 3 patentów oraz wzorów użytkowych oraz laureat 8 nagród rektora za działalność naukową i wynalazczą na Politechnice Wrocławskiej. Autor i współautor wdrożeń 10 patentów w elektroenergetyce polskiej oraz ponad 30 prac publikowanych w prasie branżowej.