

## STEROWANIE I MONITORING OBIEKTÓW ENERGETYCZNYCH WG STANDARDU LFC

Dariusz WOJTANOWICZ, Roman SKAKOWSKI, Edward ZIAJA

Instytut Automatyki Systemów Energetycznych Sp. z o. o.,  
tel: (+71) 3484221; fax: (+71) 3482183; e-mail: sekretariat@iase.wroc.pl

**Streszczenie:** Artykuł przybliża zasadę działania nowego systemu rozdzielni mocy LFC będącego następcą systemu ARCM SOWE. Większość pracy skupia się na architekturze węzła lokalnego systemu LFC autorstwa IASE Sp. z o.o. Zostały przybliżone tu 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, 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.

**Słowa kluczowe:** ARCM, LFC, SMPP, ICCP-TASE.2.

### 1. INFORMACJE OGÓLNE

LFC to wdrażany obecnie przez PSE Operator S.A. 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). System LFC jest następcą systemu SOWE, 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.

Oficjalna specyfikacja WL LFC bardzo precyzyjnie określa sposób prowadzenia konwersacji w relacji OSP ↔ 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.

Wymogi projektowe stawiane węzłom lokalnym zostały sprecyzowane przez PSE Operator S.A. w dwóch dokumentach pt. „Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC” oraz „Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach”. Do najważniejszych celów projektowych OSP zaliczyć można:

- 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 RBE<sup>1)</sup>,
- integracja w WL funkcjonalności systemu LFC i SMPP,
- przejście z czasu lokalnego (w SOWE) na czas UTC (w LFC) w planach BPKD,
- 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, etc.)<sup>2)</sup>.

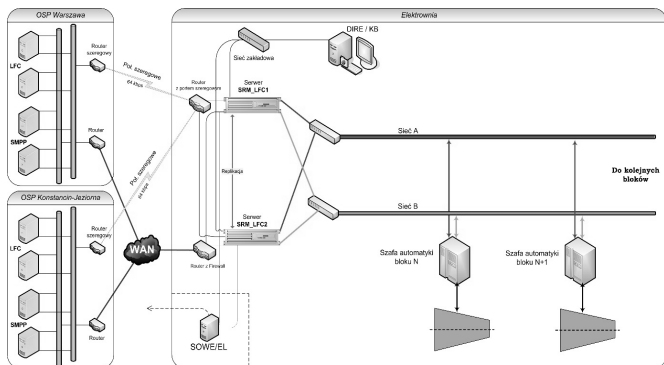
Z perspektywy IT system WL LFC składa się z redundantnej jednostki centralnej w postaci dwóch równorzędnych serwerów *SRM\_LFC1* i *SRM\_LFC2*, komputerów klienckich zlokalizowanych u Dyżurnego Inżyniera Ruchu Elektrowni (DIRE) oraz u Kierowników Bloków (KB), redundantnej sieci komunikacyjnej umożliwiającej 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 szeregowo (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.

<sup>1)</sup> Opisane dalej w tekście.

<sup>2)</sup> Wymogi PSE Operator S.A. 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.



Rys. 1. Schemat ogólny połączeń sieciowych SRM LFC

Instancje SRM LFC posiadają identyczne zestawy działających aplikacji i usług. W przeciwieństwie do swoich poprzedników (systemy SOWE, ARCM) LFC jest systemem zapewniającym pełną replikację wymienianych w nim danych. Mechanizm redundancji SRM LFC wykorzystuje autorskie rozwiązania *data exchange heartbeat*, odpowiedzialne za automatyczne i natychmiastowe przełączanie się serwerów w tryb *master/slave* po wykryciu sytuacji awaryjnej (linia czerwona 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.

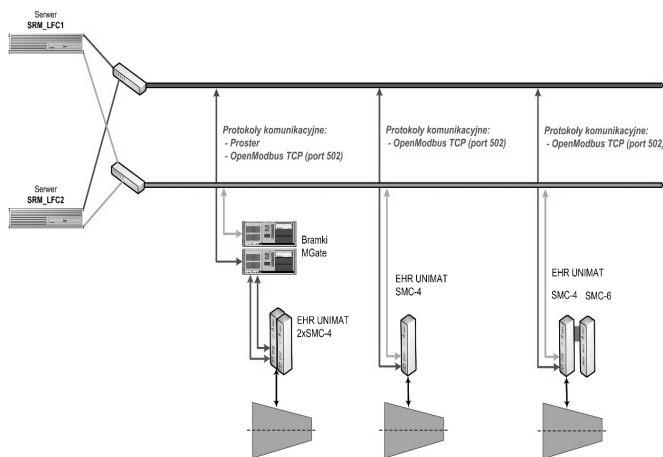
## 2. TRYBY STEROWANIA JWCD ORAZ INTEGRACJA WL Z ISTNIEJĄCYMI UKŁADAMI AUTOMATYKI

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 bloku program, np.: *Regulacja ciśnienia pary świeżej, Regulacja mocy zadanej przez operatora, Sterowanie ręczne*, itp.

Poniższy schemat ilustruje przykłady rozwiązań komunikacji WL LFC z automatyką blokową wykorzystując wejście bezpośrednie na sterownik, bądź poprzez bramki MGate systemu automatyki MASTER.



Rys. 2. Przykłady połączeń SRM LFC z automatyką blokową

## 3. 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. Umożliwia to wyraźną 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.



Rys. 3. Model warstwowy instancji SRM LFC

Warstwę komunikacyjną (kolor zielony na rys. 3) tworzą protokoły wymiany danych. Odbyna 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 RBE<sup>3)</sup> bądź normalnym – na żądanie z OSP). Komunikacja SRM z automatyką blokową odbywa

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

się w jednym z wariantów przedstawionych wcześniej na rysunku nr 2. Dostęp do danych SRM umożliwia usługa sieciowa (*web service*) poprzez protokół HTTP. Udostępnia ona informacje o stanach wykonywanych procesów, 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.

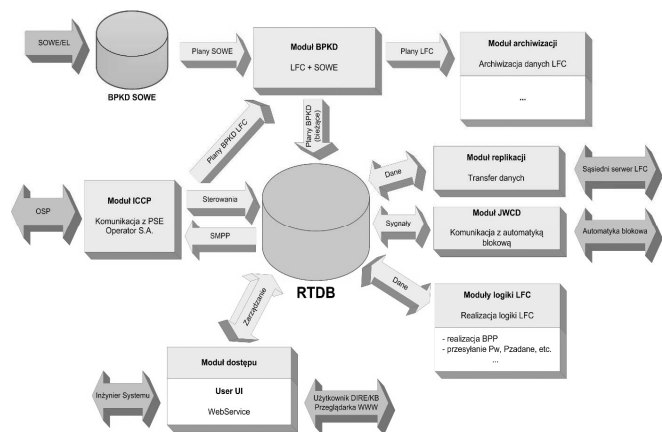
Warstwa prezentacji (kolor szary na rys. 3) odpowiedzialna jest głównie za wizualizację danych. W jej skład wchodzi także główna usługa WL LFC pracująca w trybie terminalowym<sup>4</sup>.

#### 4. PRZEPIĘTY ORAZ AKWIZYCJA DANYCH

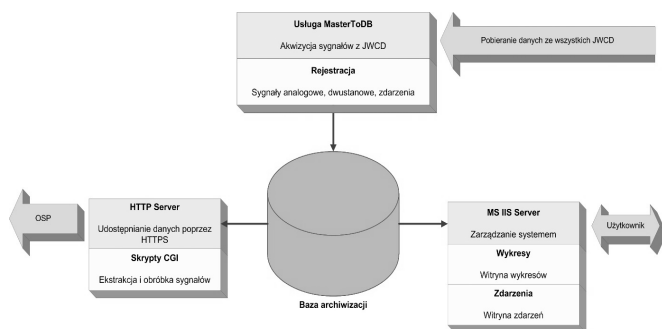
Serwery SRM pracują nieprzerwanie w trybie gorącej rezerwy (*master/slave*) wymieniając między sobą informacje statusowe (mechanizm *heartbeat*) i w razie awarii zamieniają się rolami. Krajowy serwer RC LFC może ustanowić połączenie z dowolnie wybranym serwerem WL LFC (w analogiczny sposób nawiązując 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 redundantne sieci. Oba serwery SRM LFC stale utrzymują komunikację z JWCD, odczytując z automatyki blokowej bieżące parametry pracy bloków. Serwery SRM umożliwiają personelowi obsługującemu na uruchomienie witryny zarządzania systemem LFC, nadzorować jego pracę, dokonywać przełączania trybów pracy poszczególnych JWCD oraz zadawać wartości ręczne. Rysunek nr 4 ilustruje powyższy, uproszczony przepływ danych pomiędzy poszczególnymi elementami systemu LFC, podsumowując dotychczas omawianą funkcjonalność pojedynczego SRM LFC.

Akwizycja danych w systemie prowadzona jest 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 archiwalnej dostępne są dla OSP, a także zasilają witryny zdarzeń oraz wykresów operatorów bloków.

<sup>4</sup> 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

#### 5. INTERFEJS UŻYTKOWNIKA

Każdy serwer SRM LFC posiada własną instancję serwera IIS, hostującego identyczny zestaw witryn sieci web zaimplementowanych w technologii ASP.NET. Poprzez 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/RĘKA – tylko DIRE i/lub kierownicy/operatorzy bloków).

TRZ PRACY	NOC BPKD (REALIZOWANA)	NOC WYKONANA	REZERWA PRĘDKOŚĆ	REZERWA WYKONANA	REZ. TUB.	TRZ. AK.
1	S:350 350	S:350 350	349	349	A WYL	NMA A
2	S:350 350	S:350 350	349	349	A WYL	NMA A
3	S:360 360	S:360 360	359	359	A WYL	NMA A
4	310	310	309	309	A WYL	NMA A

Rys. 6. Widok głównego panelu sterowania systemem LFC

## 6. 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 w stronę OSP zostają wyzerowane oraz oznakowane jako niewiarygodne zapobiegając przedostawaniu się „przypadkowych” wartości zwrótnie do OSP, z czego elektrownia może zostać rozliczona w późniejszym czasie. Polecenia regulacyjno-sterujące z OSP zostają „przyblokowane” 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.

## 7. WDROŻENIA I ODBIORY

Węzły lokalne LFC wykonane przez IASE Sp. z o.o. zostały wdrożone i odebrane przez PSE Operator S.A. w Elektrowni Opole (obsługa czterech bloków JWCD) oraz w Elektrowni Bełchatów (obsługa trzynastu bloków JWCD). Wdrożenia przeprowadzane były 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 sprawny SRM lub blokowanie wysyłania przez SMPP sygnałów z bloków odstawionych do remontu lub będących w stanie postoju).

## 8. PODSUMOWANIE

Standard LFC wprowadził szereg 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 stać się nawet bodźcem do implementacji „inteligentnej” sieci typu *smart grid*, zdolnej do heurystycznej auto-rekonfiguracji w przypadku wystąpienia awarii jednego lub kilku jej elementów.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. PSE Operator S.A., Wymogi wobec JWCD na potrzeby wdrażania systemu LFC, Warszawa 2011.
2. PSE Operator S.A., Procedura odbioru węzłów lokalnych systemu LFC w elektrowniach, Warszawa 2013.
3. Pasiut G., Komarzyniec 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.

## POWER PLANT CONTROL AND MONITORING ACCORDING TO THE LFC STANDARD

Article presents a general principle of operation of the new power distribution system LFC, the successor of the ARCM SOWE system. Briefly explains basic concepts used in the process of automatic control of the JWCD work in the KSE/UCTE. Presents also the concept and overall construction of operating in a distributed and heterogeneous environment LFC system, which consists of a central LFC/SMPP node and local nodes, represented by power plants working in the LFC network.

Most of the work focuses on the architecture of the local LFC node implemented by IASE Sp. z o.o [Ltd.]. Article brings closer the issues of automatic block control according to the plans and commands from the central LFC node, system data monitoring through integrated SMPP module and the issues associated with new communication protocols used by the LFC standard (including ICCP-TASE.2 protocol, IEC60870-6 standard).

In addition, a brief description of the system auxiliary processes is included, which are responsible for communication with automation systems, storage and sharing of historical data, signal control and visualization, as well as the specifications of the modules implementing the functionality of hot redundancy and data replication between working in master/slave relationship SRM LFC server instances.

**Keywords:** ARCM, LFC, SMPP, ICCP-TASE.2