

Dr inż. Dariusz Sajewicz

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, 15-351 Białystok, ul. Wiejska 45D, d.sajewicz@pb.edu.pl

Nowoczesne laboratorium elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej – dydaktyczne stanowisko dyspozytorskie

W artykule przedstawiono wymagania oraz ewolucję zintegrowanych systemów zabezpieczeń i sterowania stacji elektroenergetycznych wymuszoną rozwojem techniki cyfrowej i możliwościami sprzętu. Zaprezentowano dyspozytorskie stanowisko laboratoryjne oparte na systemie nadzoru, sterowania i rejestracji zdarzeń stacją elektroenergetyczną e²YANKEE.

1. Wstęp

Współczesne zespoły automatyki zabezpieczeniowej, realizowane w technice cyfrowej, zmieniły w sposób zasadniczy zakres i możliwości funkcyjne automatyki zabezpieczeniowej [1].

Wprowadzenie struktur wieloprocessorowych o odpowiedniej mocy i szybkości obliczeniowej umożliwia pełnienie przez te zespoły najnowszej generacji nie tylko dotychczasowej roli „strażnika” [4] zabezpieczanego obiektu elektroenergetycznego, ale rozszerza ich możliwości funkcyjne o:

- pomiary i rejestracje online (przebiegi analogowe i dwustanowe);
- sterowanie (zmiana stanu i kontrola położenia łączników w polu);
- komunikacyjne i koordynacyjne (łącze inżynierskie, systemy nadrzędne, restytucja SE); samo test w zakresie software;
- samo diagnoza hardware.

Przed wprowadzeniem urządzeń cyfrowych ukształtował się powszechnie obowiązujący model w zakresie organizacji obwodów wtórnych stacji elektroenergetycznych, polegający na wykorzystaniu autonomicznych urządzeń dla poszczególnych realizowanych funkcji.

Rozwój techniki cyfrowej i narzędzi programistycznych doprowadził do ukształtowania się zupełnie odmiennej struktury systemu sterowania, nadzoru i zabezpieczeń w stacji elektroenergetycznych. Wszystkie funkcje w zakresie lokalnego oraz zdalnego nadzoru i sterowania stacji przejął system komputerowy, w tym również funkcję nadzoru nad działaniem zabezpieczeń.

W artykule przedstawiono warstwę softwarową dedykowanego systemu nadzoru, sterowania i rejestracji zdarzeń e²YANKEE, opracowanego w celach dydaktycznych do laboratorium EAZ. Zadaniem systemu jest integracja cyfrowych sterowników polowych oraz automatów SPZ, SZR i SCO umieszczone w poszczególnych stanowiskach laboratoryjnych, co pozwoli na znaczną poprawę jakości kształcenia studentów i osiągnięcia jego efektów.

2. Zintegrowane systemy zabezpieczeń i sterowania stacji elektroenergetycznych

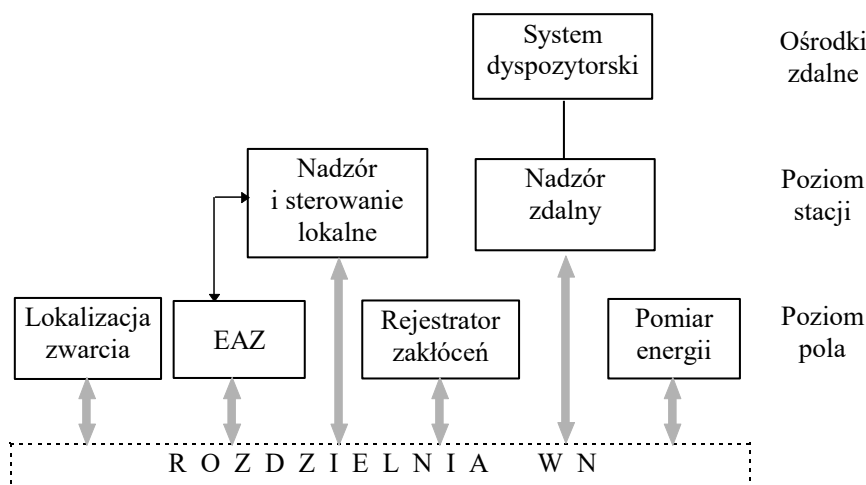
Uwzględniając najnowsze możliwości sprzętu i tendencje rozwojowe wymaga się aby nowoczesne systemy sterowania komputerowego spełniały następujące zadania [5]:

- monitoringu: pozyskiwanie, transmisja i przetwarzanie danych, obsługa alarmów;
- sterowania: wydawanie i monitoring poleceń, sygnał zwrotny o wykonaniu polecenia, wielkości sterowane (moc czynna, konfiguracja sieci, moc bierna, rozdział obciążeń itp.)
- planowania - symulacja „co się stanie gdy..?”

Systemy komputerowe realizujące funkcje monitoringu i sterowania posiadają rozbudowany interfejs użytkownika, który powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- ograniczenia ilości wyświetlanej informacji do poziomu racjonalnej percepcji operatora,
- hierarchicznej struktury ważności informacji,
- redundancji informacji w poziomach szczegółowości wyboru,
- szybkiego wybór poziomu szczegółowości dla znawcy,
- łatwego dostępu do informacji szczegółowych bez tracenia obrazu całości,
- jednakowego celu z różnych obrazów, formularzy i tabel,
- wyświetlania pożądanej informacji szczegółowej na żądanie,
- unikania niekoniecznych kroków wyboru,
- funkcji pomocy dla rzadko używanych opcji,
- komunikatywności (możliwości podjęcia szybkiej aplikacji w oparciu o prezentowaną informację).

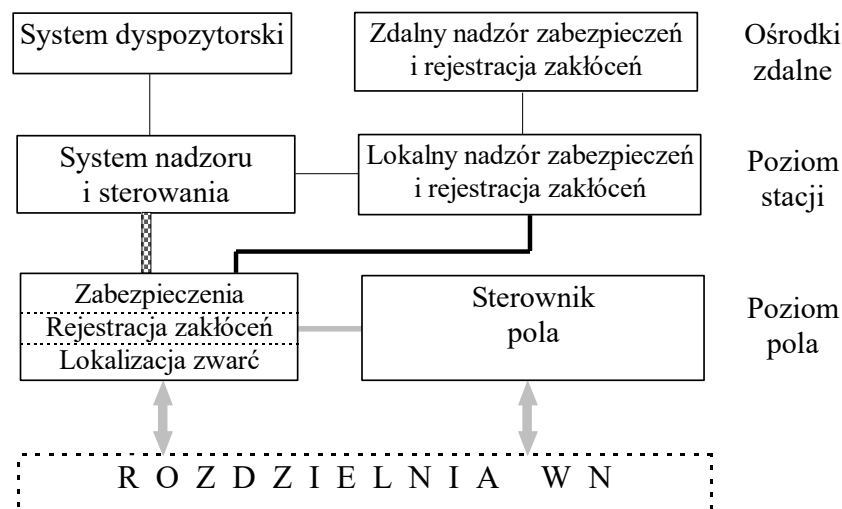
Na rys. 1 przedstawiono strukturę obwodów wtórnych stacji [6], w której wykorzystywano autonomiczne urządzenia dla poszczególnych funkcji z zaznaczeniem występujących powiązań pomiędzy urządzeniami i układami.



Rys. 1. Struktura systemu zabezpieczeń, nadzoru i sterowania stacji z automatycznymi urządzeniami do poszczególnych funkcji [6]

W takiej strukturze każdy z automatycznych układów pracował niezależnie od innych i spełniał inne wymagania. Uszkodzenie jednego z układów praktycznie nie miało żadnego wpływu na działanie pozostałych, poza uszkodzeniem zasilania pomocniczego, wspólnego dla wielu układów.

Rozwój techniki cyfrowej ukształtował odmienną strukturę systemów sterowania, nadzoru i zabezpieczeń w stacji elektroenergetycznych. System komputerowy przejął funkcje w zakresie lokalnego oraz zdalnego nadzoru i sterowania stacji. Podstawowe funkcje automatyki zabezpieczeniowej realizowane są przez wydzielone urządzenia cyfrowe integrujące w sobie bardzo często funkcje rejestracji zakłóceń i lokalizacji miejsca zwarcia. Strukturę takiego systemu przedstawiono na rys.2.

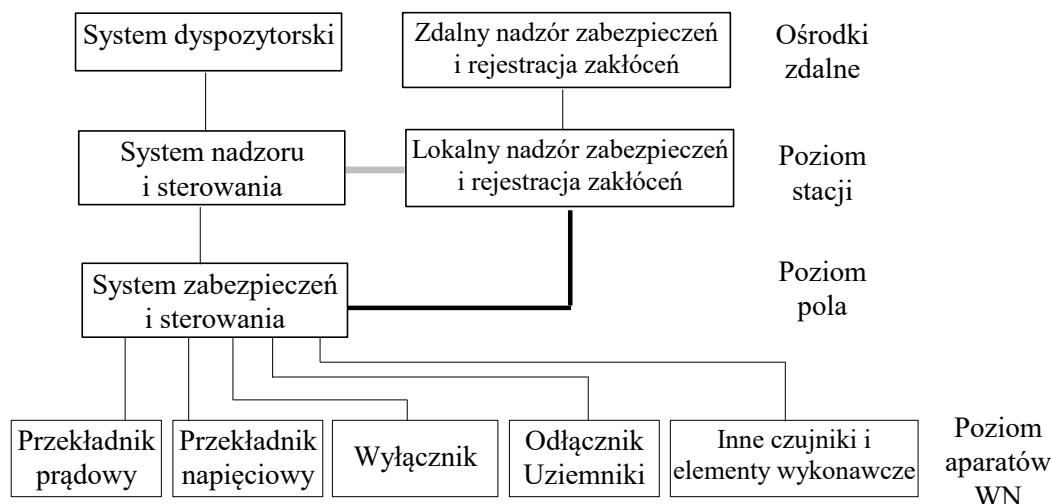


Rys. 2. Skoordynowany system sterowania i zabezpieczeń w stacji [6], gdzie: linie jasnoszare - wariant ze sprzężeniem zabezpieczenia ze sterownikiem pola, linia czarna - wariant ze sprzężeniem zabezpieczenia z układem nadzoru zabezpieczeń, linia kreskowana - wariant ze sprzężeniem zabezpieczenia z systemem nadzoru i sterowania na poziomie stacji

W ostatnim czasie pojawiają się propozycje rozwiązań, w których zakłada się integrację funkcji zabezpieczeń z innymi funkcjami realizowanymi na poziomie pola (rys.3).

U podstaw tego rodzaju koncepcji leży przeświadczenie, że nowoczesne mikroprocesorowe „terminale” zabezpieczeń komputerowych mogą bez szkody dla ich podstawowych parametrów, zwłaszcza niezawodnościowych, przejąć również takie funkcje jak: sterowanie aparatami WN, sygnalizacja stanu tych aparatów, tj. położenia zestyków głównych oraz pomiary napięć i prądów.

Te nowe koncepcje wiązane są zwykle z możliwością umieszczenia układów cyfrowych bezpośrednio na poziomie poszczególnych aparatów WN: przekładników pomiarowych, wyłączników, odłączników, transformatorów itp. z uwzględnieniem szeroko rozumianych funkcji diagnostycznych realizowanych dla tych urządzeń. Cyfrowa transmisja zwykle światłowodowa znajduje zastosowanie w takiej strukturze również do powiązania poszczególnych urządzeń WN z systemem zabezpieczeń i sterowania poziomu pola.



Rys. 3. Zintegrowany system zabezpieczeń i sterowania w stacji [6], gdzie: linie jasnoszare - wariant z pośrednią transmisją informacji do układu nadzoru zabezpieczeń, linia czarna - wariant z bezpośrednią transmisją informacji do układu nadzoru zabezpieczeń

Za ścisłą integracją funkcji zabezpieczeniowych z innymi funkcjami nadzoru i sterowania przemawia również przewidywany rozwój zabezpieczeń typu adaptacyjnego, charakteryzujących się tym, że ich algorytm działania ulega samoczynnej modyfikacji w zależności od warunków pracy zabezpieczanego elementu sieciowego lub warunków pracy systemu energetycznego. Do tego celu niezbędne są informacje dostępne w systemie nadzoru i sterowania.

3. System nadzoru, sterowania i rejestracji zdarzeń stacją elektroenergetyczną e²YANKEE

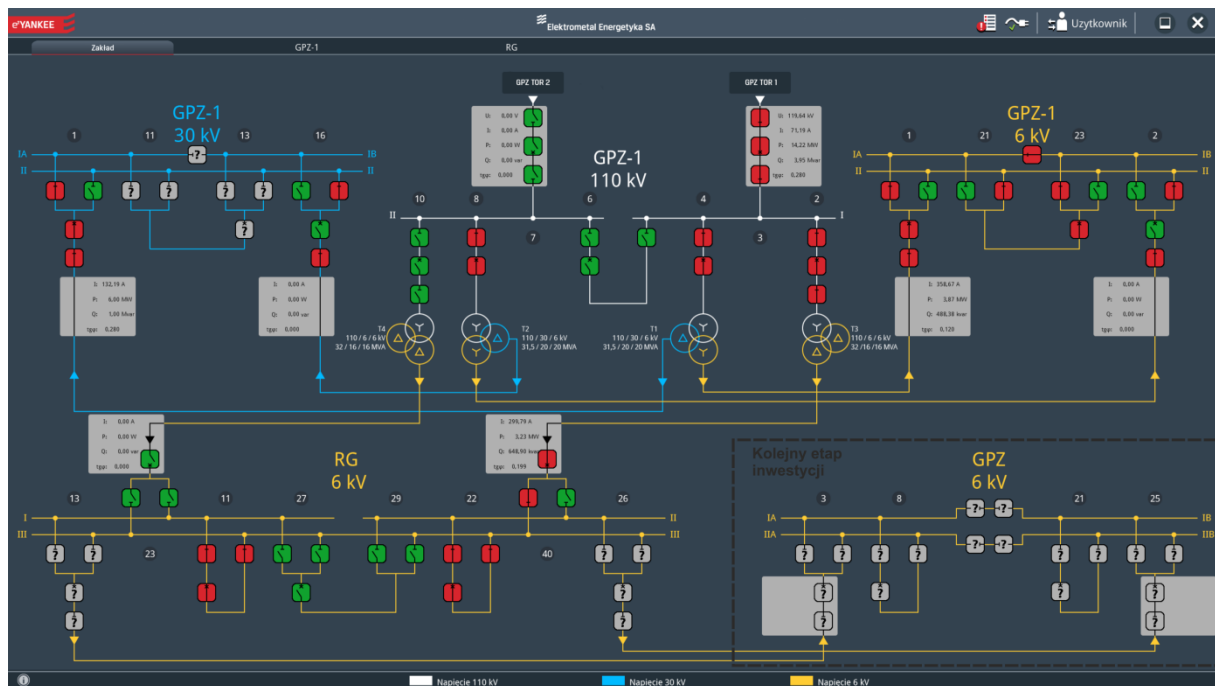
System e²YANKEE jest aplikacją umożliwiającą odwzorowanie synoptyczne pól WN i SN modelu stacji elektroenergetycznych WN/SN w dowolnych układach pracy i konfiguracji, został on opracowany na bazie pakietu Asix w wariantcie przedstawionym na rysunku 2.

Asix jest programowym pakietem projektowania i realizacji przemysłowych systemów IT dla przedsiębiorstw, procesów, linii technologicznych, maszyn i urządzeń, zapewniający bogatą funkcjonalność, jakiej oczekuje się od systemów SCADA [7]. Poza standardową wizualizacją i sterowaniem, realizuje efektywną archiwizację danych, raportowanie i sporządzanie graficznych trendów, zarządzanie alarmami, recepturowanie, wizualizację w Internecie, wielojęzyczność, monitorowanie i śledzenie produkcji.

Pakiet Asix znalazł zastosowanie m.in. w energetyce i ciepłownictwie, oczyszczalniach ścieków, przemyśle spożywczym, budynkach inteligentnych, przemyśle chemicznym i maszynowym, koksownictwie oraz systemach telemetrycznych.

Główne zadania opracowanego na potrzeby laboratorium EAZ systemu e²YANKEE, to wizualizacja i sterowanie wyłącznikami poszczególnych pól, wyświetlanie i archiwizacja pomiarów, odczyt rejestratorów zdarzeń i zakłóceń z wybranych zabezpieczeń oraz podgląd i analiza danych historycznych [8].

Zrzut ekranu widoczny na rys.4 prezentuje ekran główny systemu przedstawiający schemat synoptyczny stacji WN/SN. Nawigacja między poszczególnymi polami może być wykonywana poprzez wybranie odpowiedniego pola z górnego menu lub kliknięcie obszaru synoptyki stacji związanego z danym polem. Po otwarciu danego pola powrót do podglądu synoptyki stacji możliwy przez wybranie pozycji „Stacja” znajdującej się w górnym menu.







Rys.4. Ekran główny systemu e²YANKEE z widoczną rozdzielnią trójsystemową 110kV, 30kV i 6kV

Po wybraniu pola prezentowany jest wycinek synoptyki stacji będący odwzorowaniem wybranego pola wraz ze stanem łączników znajdujących się w danym polu, oraz zestawem bieżących wartości pomiarów realizowanych przez sterowniki. Dla wybranych pól dostępna jest możliwość sterowania łącznikami, odczyt rejestratorów zdarzeń oraz rejestratorów zakłóceń. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wybrane pola systemu wraz z ich krótką charakterystyką.

Sygnalizacja pracy łączników

System realizuje ciągły nadzór stanu wyłączników oraz wybranych odłączników i uzemienników na stacji przedstawiając ich stan przy pomocy następujących grafik.

Grafika	Opis stanu
	Wyłącznik zamknięty
	Wyłącznik otwarty
	Rozbrojenie napędu wyłącznika przy zamkniętym wyłączniku
	Rozbrojenie napędu wyłącznika przy otwartym wyłączniku
	Nieznany stan wyłącznika (brak komunikacji ze sterownikiem lub awaria wyłącznika)

	Awaria wyłącznika
	Odłącznik zamknięty
	Odłącznik otwarty
	Nieznany stan odłącznika (brak komunikacji ze sterownikiem lub awaria łącznika)
















Pomiary

W widoku każdego pola prezentowane są wartości wybranych, bieżących pomiarów odczytanych z urządzeń. Brak komunikacji sygnalizowany jest poprzez wyświetlenie czerwonego napisu „Błąd” dla danego pomiaru.










Alarmy

Dla wybranych pól w dolnej części ekranu znajdują się tabele alarmów. Górna tabela zawiera listę aktywnych alarmów, które wymagają potwierdzenia przez operatora. Dolna tabela umożliwi przegląd alarmów historycznych potwierdzonych przez operatora (rys.5).

Alarmy aktywne:

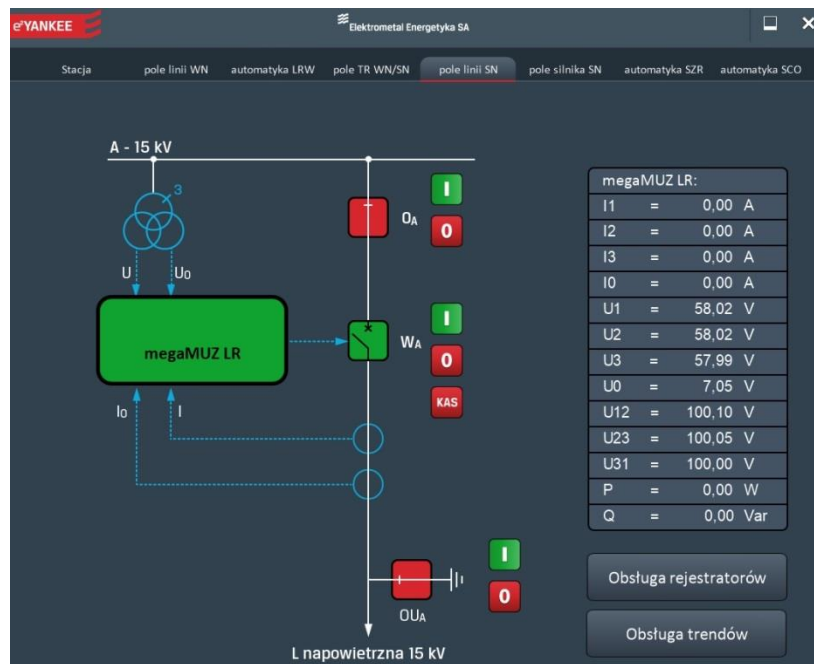
Typ	Opis	Czas początku
	Odłącznik (3) - Sygnalizacja UP	2017-05-04 12:22:40.009
	I < - Zadziałanie	2017-05-04 12:23:58.017
	Tech (7) - Zadziałanie	2017-04-25 17:11:23.864
	Stop urządzenia	2017-04-25 17:12:37.876
	AWSC - Otwórz	2017-04-25 17:11:22.575
	AWSC - Wyłączenie	2017-04-25 17:11:21.984
	Tech (7) - Blokada	2017-04-25 17:12:37.658
	Odłącznik (3) - Sygnalizacja UP	2017-04-25 17:11:21.566
	U > (1) - Pobudzenie	2017-04-25 17:12:29.956
	Wyłącznik (1) - Zamknięty	2017-04-25 17:11:21.395
	U > (1) - System	2017-04-25 17:12:29.956
	AWSC - Otwórz	2017-04-25 17:11:16.973
	U > (2) - Blokada	2017-04-25 17:12:29.956
	AWSC - Pobudzenie	2017-04-25 17:10:49.134
	U > (2) - Sygnalizacja UP	2017-04-25 17:12:29.767

Alarmy historyczne:

Typ	Opis	Czas początku
	Wyłącznik (1) - Zabrojony	2017-05-04 12:24:15.182
	AWSC - Pobudzenie	2017-05-04 12:22:40.009
	Wyłącznik (1) - Sygnalizacja UP	2017-05-04 12:24:13.701
	Stycznik (1) - Otwarty	2017-05-04 12:22:40.008
	Sterowanie wyłącznikiem - Blokada załączenia	2017-05-04 12:23:58.018
	I >> (2) - Przesp. działania w cyklu SPZ	2017-05-04 12:22:40.008
	I > (3) - Pobudzenie	2017-05-04 12:23:58.018
	Wyłącznik (1) - Otwarty	2017-05-04 12:22:40.008
	dł> nie stabilizowane - Sygnalizacja UP	2017-05-04 12:23:58.017
	Start urządzenia	2017-05-04 12:22:39.003

Rys.5. Widok okien alarmów aktywnych i historycznych wybranego pola systemu e²YANKE

Alarmy zostały pogrupowane wedle ważności i podzielone na kategorie, które można filtrować przy pomocy menu umieszczonego u dołu tabeli. Każdy alarm jest opatrzony stemplem czasowym wskazującym moment jego rejestracji w sterowniku oraz tekstem opisującym dane zdarzenie.



Rys.6. Widok okna systemu e²YANKEE, pole linii napowietrznej SN (synoptyka pola, pomiary, obsługa rejestratorów, obsługa trendów)

Sterowanie łącznikami

Dla wybranych pól (rys.6 i 7) możliwe jest sterowanie wyłącznikami oraz dla pola linii SN ze sterownikiem megaMUZ-LR również odłącznikiem oraz uziemnikiem. W celu wykonania sterowania danym łącznikiem należy użyć przycisków umieszczonych obok danego łącznika.

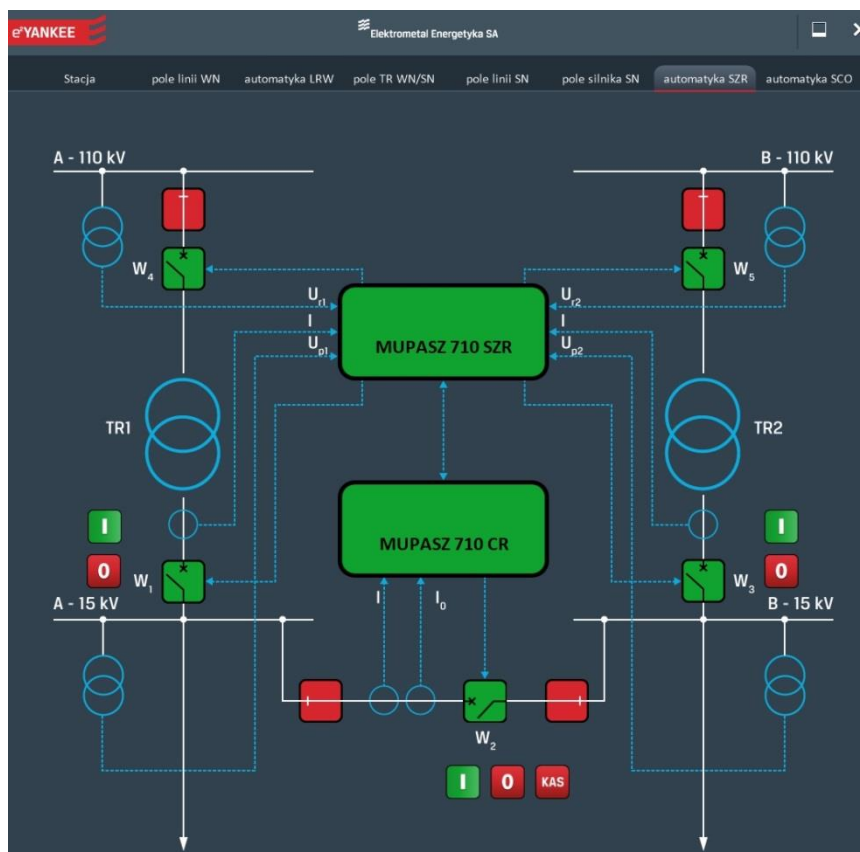
Zamknięcie danego łącznika wymaga potwierdzenia stosownego komunikatu, natomiast w przypadku otwarcia potwierdzenie wymagane jest tylko dla odłącznika i uziemnika, otwieranie wyłącznika jest wykonywane natychmiastowo i nie wymaga potwierdzenia przez operatora. W przypadku wykonania próby błędnego sterowania (np. otwarcie odłącznika przy zamkniętym wyłączniku) polecenie sterowania zostanie odrzucone przez sterownik, a stan łącznika na synoptyce nie zostanie zmieniony.

Kasowanie

Dla sterowników polowych (rys.6 i 7) w przypadku wystąpienia alarmu AW/AL, lub blokady sterowania po zadziałaniu zabezpieczenia niemożliwe jest wykonanie sterowania łącznikiem. W tym celu przed wykonaniem sterowania należy wysłać do sterownika sygnał kasowania blokady. Wysyłanie sygnału kasowania wykonuje się przyciskiem z symbolem „KAS” umieszczonym przy przyciskach sterowania łącznikami.

Odczyt rejestratorów zakłóceń

Odczyt rejestratorów (rys.6) możliwy jest tylko dla pola linii SN ze sterownikiem megaMUZ LR i odbywa się przy pomocy oprogramowania inżynierskiego megaPRO. Z poziomu systemu oprogramowanie inżynierskie do obsługi rejestratorów uruchamia się poprzez przycisk „Obsługa rejestratorów” umieszczony w wizualizacji pola „pole linii SN”.



Rys.7. Widok okna systemu e²YANKEE, automatyka SZR (synoptyka pola, wizualizacja stanu łączników po stronie WN, sterownie łącznikami rozdzielni SN)

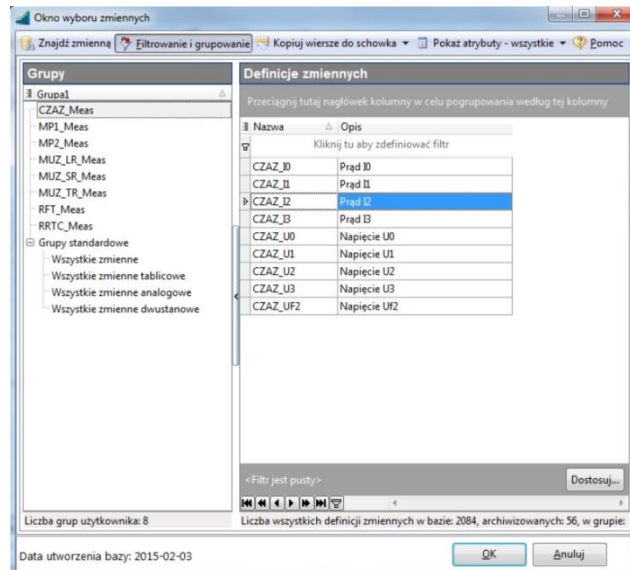
Analiza danych historycznych

System e²YANKEE przez cały czas działania archiwizuje wartości odczytywanych pomiarów w celu dania możliwości ich późniejszej akwizycji lub analizy. Dane są zapisywane do archiwum co 1 sekundę, z podziałem na archiwa 24 godzinne. Podział na 24 godzinne archiwa pozwala na analizowanie danych i wyliczanie agregatów dla danych z tego okresu.

Analiza danych historycznych odbywa się w oddzielnym programie dołączonym do systemu e²YANKEE, którego uruchomienie wywoływane jest przyciskiem „Obsługa trendów” w polu linii SN (rys.6).

W nowo otwartym oknie (rys.8) mamy możliwość wyboru wielkości archiwizowanej którą chcemy przedstawić na wykresie. Archiwizowane wartości pomiarowe podzielone zostały na grupy w zależności od sterownika. W celu dodania nowej wielkości należy wybrać grupę w listy po lewej stronie, a następnie z listy po prawej stronie wybrać pożądaną wielkość i nacisnąć przycisk OK. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowy wykres dla wybranych dwóch wielkości archiwalnych, prądy I1 i I2 zabezpieczenie linii WN CZAZ-RL.

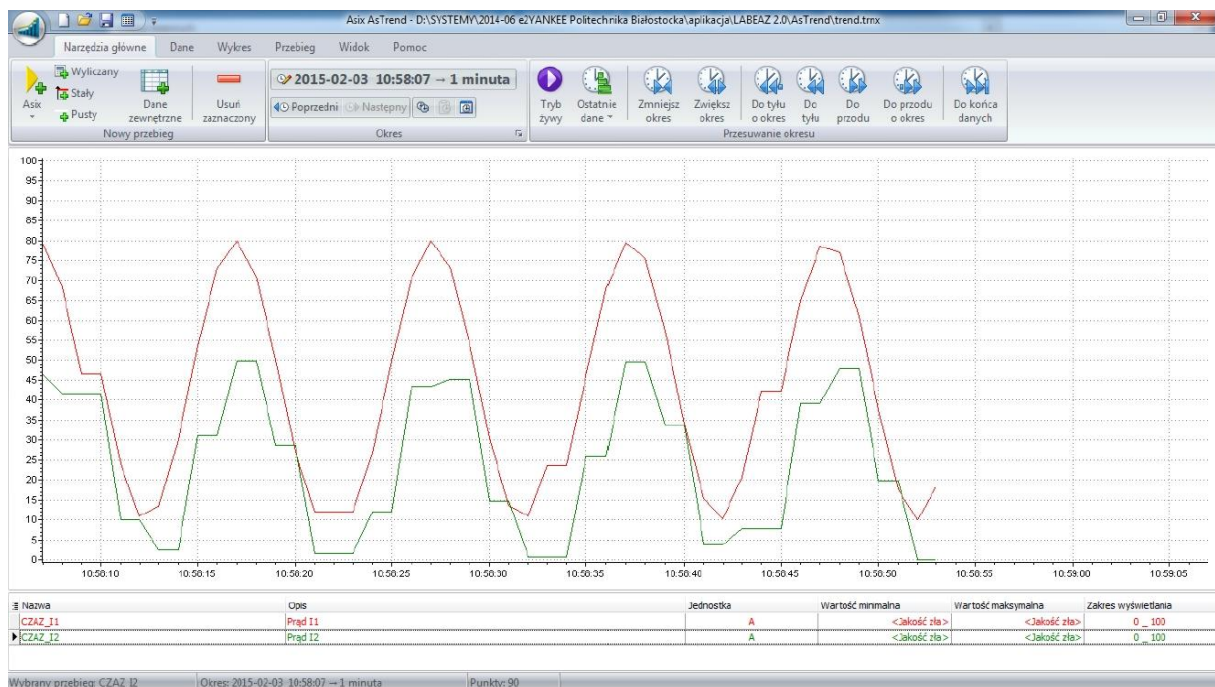
Dla każdego z przebiegów możliwe jest ustawienie zakresu wyświetlania. Opcję tą możemy ustawić poprzez kliknięcie prawym przyciskiem na pozycji związanej z danym wykresem na liście u dołu ekranu i wybranie z menu kontekstowego pozycji „Zakres”.



Rys.8. Okno dodawania nowej wielkości archiwalnej do analizy

Program umożliwia pracę w dwóch trybach pracy, które odpowiadają za różny sposób wyświetlania zarchiwizowanych danych:

- tryb żywy – w tym trybie program na bieżąco odczytuje dane archiwalne i wyświetla je na ekranie, jednocześnie przechodząc w tryb umożliwiający jedynie podgląd;
- ostatnie dane – w tym trybie wyświetlane są dane z ostatnich X wybranych minut;
- okres – w tym trybie możliwe jest wybranie interesującego nas zakresu danych archiwalnych.



Rys.9. Wykres dla wybranych dwóch wielkości archiwalnych, prądy I1 i I2 zabezpieczenie linii WN CZAZ-RL

Program w trybie żywym umożliwia jedynie podgląd wykresów. Wszelka edycja parametrów może być przeprowadzana po wyłączeniu trybu żywego.

Eksport analizowanych fragmentów danych może być wykonywany w dwojaki sposób. Możliwy jest eksport do schowka lub pliku graficznego w formacie BMP albo wydrukowanie wykresu na fizycznej drukarce lub wirtualnej drukarce PDF.

4. Wnioski

Dzisiejszym systemom nadzoru i sterowania stawiane są bardzo różne wymagania zarówno dotyczące zbierania jak największej liczby informacji, jak również przetwarzania zebranych danych, oraz prezentowania ich w przejrzystej i zrozumiałej formie. Jedno z najbardziej znaczących zadań to łatwość i przejrzystość w posługiwaniu się systemem przez osoby do tego celu przeznaczone.

Posługiwanie się systemem nadzoru i sterowania powinno być jak najbardziej „intuicyjne”, lecz także powinno zawierać rozbudowane systemy kontroli swoich działań, a również w jak największym stopniu system powinien kontrolować obsługującego go człowieka.

Stanowisko laboratoryjne dyspozytorskie wyposażono w dedykowany system nadzoru, sterowania i rejestracji zdarzeń e²YANKEE umożliwia podczas zajęć dydaktycznych zapoznanie się studentów: z funkcjonowaniem obsługi operatorskiej, zasadami i standardami wymiany informacji oraz ze sposobami wizualizacji stanów pracy stacji elektroenergetycznej.

Literatura

1. Korniluk W., Woliński K.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa. Wyd. 3. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2012 r.
2. Sajewicz D.: Projekt koncepcyjny nowoczesnego laboratorium elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. Wiadomości Elektrotechniczne, nr 1 (2015), s. 16-19.
3. Instrukcje do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu Automatyka Elektroenergetyczna. Politechnika Białostocka. Wydział Elektryczny. Białystok 2014-17r.
4. Halinka A., Winkler W. : „Struktury współczesnych cyfrowych zespołów automatyki zabezpieczeniowej”. Automatyka elektroenergetyczna 4/96.
5. Głuszek Artur : „Zastosowanie nowoczesnych technologii informatycznych do kierowania pracą sieci elektroenergetycznych”. ”. Prace Instytutu Automatyki Systemów Elektroenergetycznych. „Zastosowanie nowoczesnych technologii informatycznych do kierowania pracą sieci elektroenergetycznych”. Wrocław 1994 r.
6. Nahotko Mirosław : „Automatyka zabezpieczeniowa w ogólnej strukturze systemu komputerowego stacji NN”. Automatyka elektroenergetyczna 4/96.
7. ASKOM Sp. z o. o.: Asix.evo 8. Dokumentacja użytkownika dla Asix.Evo. Gliwice 2015.
8. Elektrometal Energetyka S.A.: System nadzoru e²YANKEE. Instrukcja obsługi. Wersja D6-1.0. Warszawa 2016 r.