

## Maria SZPERKOWSKA<sup>1</sup>, Władysław SIELUK<sup>1</sup>, Robert SZULIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RELPOŁ S.A. ZAKŁAD POLON, ul. Browarna 11, 65-849 Zielona Góra

<sup>2</sup>INSTYTUT METROLOGII ELEKTRYCZNEJ, UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

# Zintegrowany cyfrowy system zabezpieczeń i pomiarów dla rozdzielni średniego napięcia

Mgr inż. Maria SZPERKOWSKA

Studia wyższe ukończyła na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w Poznaniu w 1975r. Jest Dyrektorem Generalnym Polonu wchodzącego w skład Relpol S.A. Firma zajmuje się projektowaniem, wytwarzaniem i sprzedażą przekaźników elektromagnetycznych; systemów cyfrowych zabezpieczeń, automatyki, pomiarów, sterowania, komunikacji i rejestracji dla stacji elektroenergetycznych SN oraz systemów monitorowania promieniowania radioaktywnego.

e-mail: [Szperkowska.M@relpol.com.pl](mailto:Szperkowska.M@relpol.com.pl)



Władysław SIELUK

Kierownik działu konstrukcyjnego w Zakładzie Polon wchodzącym w skład spółki Relpol S.A. Koordynuje i nadzoruje pracę konstruktorów i programistów opracowujących nowe rozwiązania dla urządzeń produkowanych w firmie, z dziedziny Stacjonarnych Monitorów Promieniowania i Systemów Cyfrowych Zabezpieczeń stosowanych w elektroenergetycznych rozdzielniach średnich napięć.

e-mail: [Sieluk.W@relpol.com.pl](mailto:Sieluk.W@relpol.com.pl)



Dr inż. Robert SZULIM

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1995r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Metrologii Elektrycznej w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze (obecnie Uniwersytet Zielonogórski). Zajmuje się zagadnieniami związanymi z sieciami komputerowymi, systemami pomiarowo sterującymi, hurtowniami danych oraz zastosowaniem metod sztucznej inteligencji.

e-mail: [R.Szulim@ime.uz.zgora.pl](mailto:R.Szulim@ime.uz.zgora.pl)



### Streszczenie

W artykule zostanie zaprezentowany system cyfrowych zabezpieczeń i pomiarów dla rozdzielni SN opracowany w firmie Relpol S.A. zakład Polon w Zielonej Górze. Zaprezentowane zostaną najważniejsze możliwości urządzenia wraz z jego budową sprzętową i najważniejszymi modułami programowymi. Przedstawione zostaną także możliwe obszary zastosowań omawianego systemu.

**Słowa kluczowe:** cyfrowy system zabezpieczeń stacji średniego napięcia.

## Integrated digital protection and measurement system for medium voltage distribution stations

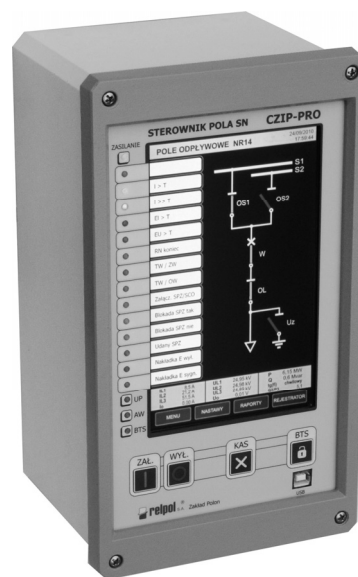
### Abstract

The paper presents a digital protection and measurement system for medium voltage distribution stations developed in the Relpol S.A. company, division Polon in Zielona Góra. The system comprises of several hardware components and modules of specialized software. Their role and functionality are briefly explained in the paper. Thanks to the modular construction, it is possible to fast adapt the equipment to dynamically changing expectations and needs. The system uses the real-time operating system Windows CE, and specialized software which provides protection and metering functions. The status of the system and setup is presented by a graphic user interface using a colour LCD screen with touch control support – Fig 1. Protection functions require fast measurement of many primary quantities like phase currents and voltages as well as zero components of voltages and currents. The primary quantities are used to calculate many derivative values used then by digital protection functions. The system protection functions should react within the time of 60 ms after detecting a dangerous situation like a phase short circuit or a ground short circuit. Possible areas of the system application are also presented.

**Keywords:** digital protection system for medium-voltage stations.

## 1. Wprowadzenie

System CZIP-PRO[1] jest przeznaczony do kompleksowej obsługi wszystkich pól rozdzielni średniego napięcia, w sieciach o dowolnym sposobie uziemienia punktu zerowego dzięki czemu dobrze sprawdza się też w rozdzielniach przemysłowych – rys. 1.



Rys. 1. System CZIP-PRO

Fig. 1. The CZIP-PRO system

Objemuje również automatykę samoczynnego załączania rezerwy (SZR) i zespół dla pola strony 110kV transformatora zasilającego.

Urządzenia wchodzące w skład systemu realizują wszystkie funkcje dotychczasowych układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej stosowanych w rozdzielniach SN i umożliwiają realizację nowych zadań wynikających z aktualnych potrzeb eksploatacyjnych sieci. Bardzo istotną cechą zespołów typu CZIP-PRO jest ich zdolność do łatwej współpracy z dyspozytorskimi systemami kontroli i nadzoru pracy sieci elektroenergetycznej.

System CZIP-PRO to grupa nowoczesnych urządzeń złożonych z wielu komponentów sprzętowych i wyspecjalizowanych modułów programowych. Dzięki zastosowaniu budowy modułowej, uzyskano możliwość szybkiego dostosowania sprzętu do dynamicznie zmieniających się oczekiwań i potrzeb użytkowników. Jednostka centralna wykorzystuje system operacyjny czasu rzeczywistego Windows CE oraz specjalizowane oprogramowanie realizujące funkcje zabezpieczeniowe i pomiarowe urządzenia wraz z interfejsem użytkownika wykorzystującym kolorowy ekran dotykowy. Dzięki takiej budowie urządzenia obsługa systemu mimo ogromnej liczby nastaw wpływających na jego pracę jest prosta z punktu widzenia użytkownika. Użycie systemu operacyjnego Windows CE ułatwiło zbudowanie atrakcyjnego wizualnie i prostego w obsłudze graficznego interfejsu użytkownika.

## 2. Parametry i zadania urządzenia

Urządzenia CZIP-PRO opracowano z myślą o realizacji funkcji zabezpieczeniowych i celu pomocniczego, polegającego na dokonywaniu pomiarów wielkości elektrycznych, przydatnych do potrzeb ruchowych w polu stacji.

Realizacja obu celów wymaga dokonywania systematycznych pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych pola. Dla większości pól zespoły CZIP-PRO dokonują pomiaru zasadniczych wielkości, stanowiących podstawę realizacji kryteriów zabezpieczeniowych:

- trzech prądów fazowych: IL1, IL2, IL3,
- składowej zerowej prądu: I0,
- składowej zerowej napięcia: U0,
- trzech napięć fazowych: UL1, UL2, UL3.

Wyszczególnione wielkości stanowią zestaw mierzonych wartości źródłowych. Wszystkie wielkości źródłowe wprowadzane są do urządzenia za pomocą obwodów wejściowych, których zasadniczymi elementami są precyzyjne przekładniki prądowe i napięciowe. Przekładniki zapewniają niezbędną izolację galwaniczną zacisków wejściowych od obwodów wewnętrznych a ponadto dokonują wstępnego przystosowania sygnału do cech i zakresów obwodów pomiarowych przekładnika. Pomiary wielkości źródłowych mają postać próbek cyfrowych. W sprzęgniętym bezpośrednio z torem pomiarowym komputerze, próbki prądów i napięć poddawane są wstępnemu skalowaniu i obróbce cyfrowej.

W zespołach CZIP-PRO użyteczną informacją o wielkości źródłowej jest rzeczywista wartość skuteczna prądów i napięć (true RMS). Wartość skuteczna w możliwie największym stopniu odwzorowuje cechy mocowe i energetyczne przebiegu w warunkach współdziałania harmonicznych częstotliwości podstawowej.

Na podstawie wielkości źródłowych wyznaczane są obliczeniowo wartości pochodne. Zalicza się do nich m.in. obliczeniową admitancję ( $Y_0$ ), konduktancję ( $G_0$ ) i susceptancję ( $B_0$ ) obwodu ziemnozwarciowego. Pozostałe wartości pochodne odnoszą się w całości do pomiarów ruchowych w polu. Należą do nich szacowane chwilowe moce trójfazowe czynne i bierno, moce uśrednione w kroczących oknach 15-to minutowych oraz chwilowy tangens kąta fazowego odbioru. Ponadto obliczane są kumulowane, dwukierunkowe energie czynne i bierno w strefach czasowych, szacowane energie strat w linii w strefach czasowych, moce szczytowe w kroczących oknach 15-to minutowych w strefach czasowych, kumulowane, dwukierunkowe energie całkowite czynne i bierno oraz uśrednione tangensy kątów fazowych dla kierunku wypływu energii.

Wszystkie mierzone wartości źródłowe i obliczeniowe wartości pochodne przeliczane są do systemu jednostek SI i mogą być na życzenie operatora prezentowane na ekranie wyświetlacza oraz, na żądanie komputera nadzorczego, wysyłane poprzez linie sprzęgu szeregowego w postaci komunikatów komputerowych.

Dla ułatwienia obsługi eksploatacyjnej zespołu, a także dla uproszczenia testowania i oceny metrologicznej, wielkości źródłowe i część obliczeniowych wielkości pochodnych jest prezentowana na zewnątrz w dwóch różnych skalach: jako wartości wtórne, wyrażone w jednostkach sygnałów obserwowanych na zaciskach urządzenia oraz jako wartości pierwotne, przeliczone przez przekładnie na stronę SN.

Bazując na wartościach mierzonych i wyliczanych wielkości, sterowniki CZIP-PRO realizują szereg funkcji zabezpieczeniowych i sterowniczych [1]. Do najistotniejszych z nich można zaliczyć:

- zabezpieczenie nadprądowe od skutków zwarć międzyfazowych,
- zabezpieczenia ziemnozwarciowe wg. kryteriów admitancyjnych, porównawczo-admitancyjnych  $R/Y_0$  [2], szczególnie przydatnych dla zabezpieczenia linii od skutków doziemień wysokooporowych. Łącznie do wyboru jest kilkanaście kombinacji zabezpieczeń admitancyjnych. Zabezpieczenie wyposażono we wspólne wejście dla filtrów typu Ferrantiego i Holmgreena.

- zabezpieczenie mocy zwrotnej, które pozwala uniknąć zbędnych przepływów mocy i niezamierzonego łączenia różnych sekcji szyn zbiorczych, gdy odbiorca ma dołączoną do swojej rozdzielni więcej niż jedną linię SN i doprowadza do pracy równoległej transformatorów 110kV/SN,
- zabezpieczenia pod i nadnapięciowe.

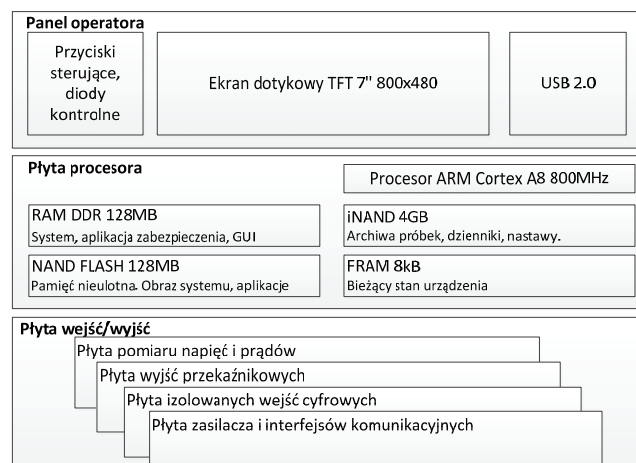
## 3. Budowa urządzenia

Konstrukcja urządzenia pozwala wydzielić dwie zasadnicze części, jak sprzętowa część pomiarowo-sterująca oraz dedykowane oprogramowanie opracowane na potrzeby systemu pracujące pod kontrolą systemu operacyjnego Windows CE.

### 3.1. Sprzętowa część pomiarowa

Urządzenie składa się z sześciu podstawowych bloków funkcjonalnych:

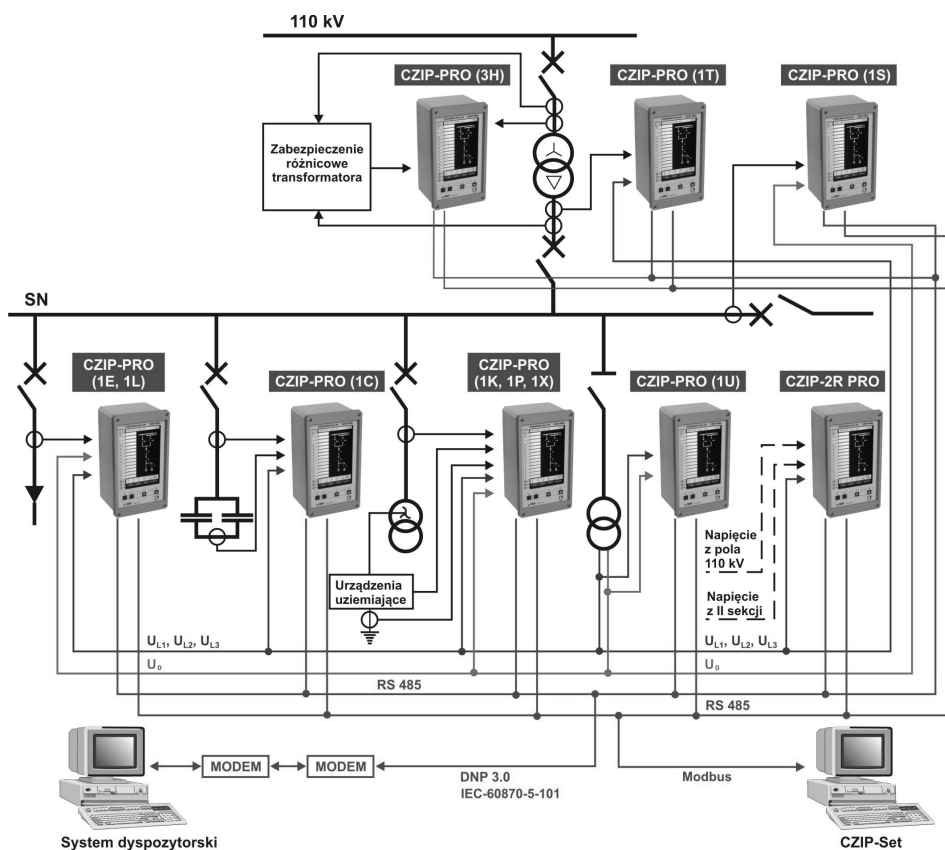
- moduł zasilacza impulsowego i interfejsów komunikacyjnych (RS422/RS485, Ethernet).
- pakiet optoizolowanych wejść cyfrowych, który obsługuje 28 wejść dwustanowych w zakresie napięć wejściowych 88-253 V.
- pakiet wyjść przekładnikowych, który udostępnia 20 wyjść stykowych.
- pakiet wejść pomiarowych, który za pośrednictwem precyzyjnych przekładników pomiarowych, odbiera sygnały z ośmiu wejść pomiarowych (4 prądowe i 4 napięciowe) i za pomocą ośmiokanałowego - 24 bitowego przetwornika AD przetwarza je do postaci próbek cyfrowych (3125 próbek na sekundę). Konstrukcja układu pomiarowego zapewnia zachowanie właściwej dynamiki w szerokim zakresie pomiarowym (0-192 A dla wejść prądowych i 0-130 V dla pomiaru napięć fazowych). Maksymalny błąd pomiaru nie przekracza 1,5% dla całego zakresu pomiarowego napięć fazowych, a dla prądów fazowych, w zakresie 0,35 - 50 A.
- płyta procesora, która stanowi centralny element architektury sprzętowej urządzenia. Jej konstrukcja oparta jest na procesorze ARM Cortex A8 800MHz.
- panel operatora, który zapewnia kontakt z operatorem za pomocą siedmioocalowego wyświetlacza graficznego TFT z ekranem dotykowym oraz 18 dwubarwnych diod świecących.



Rys. 2. Podstawowe moduły sprzętowe urządzenia  
Fig. 2. Basic hardware modules of the device

### 3.2. Część programowa

Podstawowa funkcjonalność urządzeń CZIP-PRO zawarta jest w ich oprogramowaniu. Całe oprogramowanie można podzielić na dwie główne warstwy: systemową i aplikacyjną.



Rys. 3. Uproszczony schemat aplikacyjny systemu CZIP-PRO w klasycznej rozdzielni SN

Fig. 3. Simplified diagram of a classical MV distribution station using CZIP-PRO devices

Warstwa systemowa zbudowana jest na bazie MS Windows CE Embedded 6.0 R3 oraz dedykowanych sterowników systemowych. W środowisku tego systemu działają wieloprocesowe aplikacje: aplikacja zabezpieczeniowa oraz aplikacja graficznego interfejsu użytkownika (GUI). Ze względu na charakter podstawowej funkcjonalności urządzenia, poszczególnym procesom nadane zostały rygorystyczne priorytety decydujące o hierarchii dostępu do zasobów obliczeniowych komputera. Procesy z najwyższymi priorytetami, na bieżąco weryfikują obserwowane sygnały wejściowe pod kątem spełnienia kryteriów zabezpieczeniowych i potrzeby zainicjowania działań przewidzianych dla stanów awaryjnych lub ostrzegawczych. Podczas normalnej, bezawaryjnej pracy rozdzielni dostęp do zasobów komputera pokładowego uzyskują niskopriorytetowe procesy pomocnicze, dedykowane funkcjom obliczeniowym elektrycznych wielkości pochodnych (moce, energie czynne i bierne, tangensy kątów fazowych i wiele innych). Najniższe priorytety przydzielone zostały procesom interfejsu użytkownika, w tym obsługującym protokoły komunikacyjne, archiwizację raportów o zdarzeniach, czy wreszcie GUI. Aplikacja GUI pozwala na prezentację stanu urządzenia na aktywnych obrazach synoptycznych możliwych do konfigurowania przez użytkownika. Istnieje możliwość zdalnego nadzorowania pracy urządzenia za pomocą wyspecjalizowanego oprogramowania przeznaczonego dla komputera PC pracującego pod kontrolą systemu Windows oraz wbudowanych interfejsów komunikacyjnych, jak Ethernet, czy RS422.

#### 4. Przykładowe zastosowania

Urządzenia wchodzące w skład systemu CZIP-PRO zapewniają kompleksową obsługę wszystkich pól stacji rozdzielczych średniego napięcia, w zakresie zabezpieczeń, automatyk stacyjnych,

funkcji sterowniczych, pomiarów, rejestracji i komunikacji. Dzięki dużej elastyczności w zakresie konfigurowania parametrów oraz bogatym zestawom predefiniowanych nastaw, obsługa urządzeń jest wyjątkowo prosta, mimo dużej liczby i złożoności realizowanych funkcji. Wyżej wymienione cechy, gwarantują możliwość zastosowania sterowników połowych CZIP-PRO, w systemach energetyki zawodowej, jak również w aplikacjach przemysłowych. W przykładowej instalacji dla rozdzielni SN system CZIP-PRO może realizować wiele zadań związanych z zabezpieczeniem pracy różnych urządzeń energetycznych – rys. 3. W różnych punktach mogą pracować urządzenia realizujące inne zadania. Dzięki modułowej budowie istnieje możliwość zmiany profilu pracy urządzenia jedynie po zmianie jego funkcji programowych, co sprowadza się do wykonaniu kilku poleceń w graficznym interfejsie użytkownika.

#### 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono budowę i działanie systemu cyfrowych zabezpieczeń i pomiarów dla rozdzielni średniego napięcia CZIP-PRO. Jest to złożony system pomiarowo-kontrolny, który działa w czasie rzeczywistym z bardzo ostrymi wymaganiami czasowymi na poziomie kilkudziesięciu milisekund w momencie wykrycia awarii. System posiada budowę modułową, opartą o system operacyjny czasu rzeczywistego Windows CE.

#### 6. Literatura

- [1] Relpol S.A. System CZIP karta informacyjna, 2012
- [2] Lorenc J.: Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.

otrzymano / received: 28.06.2012

przyjęto do druku / accepted: 02.08.2012

artykuł recenzowany / revised paper