

Mgr inż. Sergiusz Trzcionka,
mgr inż. Marcin Flakus,
mgr inż. Paweł Skoczyłoda
ZPrAE Sp. z o.o.

TRANSFORMACJA OBWODÓW WTÓRNYCH KONWENCJONALNEJ STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ NA POSTAĆ CYFROWĄ ZGODNĄ Z NORMĄ IEC 61850 Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZENIA TMU-11 PRODUKCJI ZPrAE

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie wyników przeprowadzonych badań dotyczących przekształcenia obwodów wtórnych konwencjonalnej stacji elektroenergetycznej na postać cyfrową zgodną z normą IEC 61850. Badania te prowadzone były w celu opracowania założeń dla prototypu tzw. jednostki scalającej (*Merging Unit – MU*) - urządzenia które zbiera wszystkie informacje z aparatury pierwotnej zamontowanej w polu stacji elektroenergetycznej w takiej formie, w jakiej są one dostępne (tradycyjnie lub cyfrowo), a następnie konwertuje je na formę cyfrową w protokole IEC 61850 i wysyła do stacyjnych urządzeń EAZ. Przedstawiono główne funkcje, jakie jednostka scalająca może pełnić, analizę dotyczącą typów oraz liczby sygnałów pochodzących od aparatury pierwotnej w różnych typach pól, wybrane zagadnienia dotyczące redundancji sprzętowej oraz obciążenia danymi szyny procesowej. Zwrócono również uwagę na inne, stwierdzone podczas prowadzonych badań, zagadnienia związane z przesyłem danych i strukturą urządzeń stacyjnych cyfrowej stacji elektroenergetycznej.

1. Koncepcja obwodów wtórnych stacji elektroenergetycznej w KSE wykorzystujących jednostkę scalającą

Ileokroć poruszana jest tematyka stacji cyfrowej i wymiany danych pomiędzy urządzeniami połączonymi szyną procesową, temat ten sprowadzony jest do wymiany sygnałów GOOSE (binarnych), strumieni SV (wartości prądów i napięć) oraz schematycznej architektury „cyfrowych obwodów wtórnych”. Zagadnienia te są bardzo precyzyjnie opisane w obowiązujących normach. Rzadko jednak tematyka ta przedstawiana jest w kontekście tego jak przekształcić istniejący model informacyjny stacji na formę cyfrową; ile i jakie typy sygnałów wysyłanych przez przeróżne urządzenia stacyjne mają być odwzorowane cyfrowo; skąd i dokąd sygnały te są wysyłane.

Prace oparto na istniejących modelach obwodów wtórnych stacji elektroenergetycznych. Dokonano oszacowania liczby i typów połączeń elektrycznych i cyfrowych pomiędzy urządzeniami aparatury stacyjnej oraz systemami nadrzędnymi, aby stworzony całkowicie cyfrowy model w bezpośredni sposób odpowiadał stanowi istniejącemu. Takie podejście miało na celu odtworzenie istniejącego (klasycznego) modelu informacyjnego w formie cyfrowej nie narzucając rozwiązań podyktowanych zmianą sposobu wymiany danych. Analiza taka miała pozwolić na określenie parametrów brzegowych dla urządzenia dokonującego wymiany danych (przepustowość łączy, wydajność procesorów itd.).

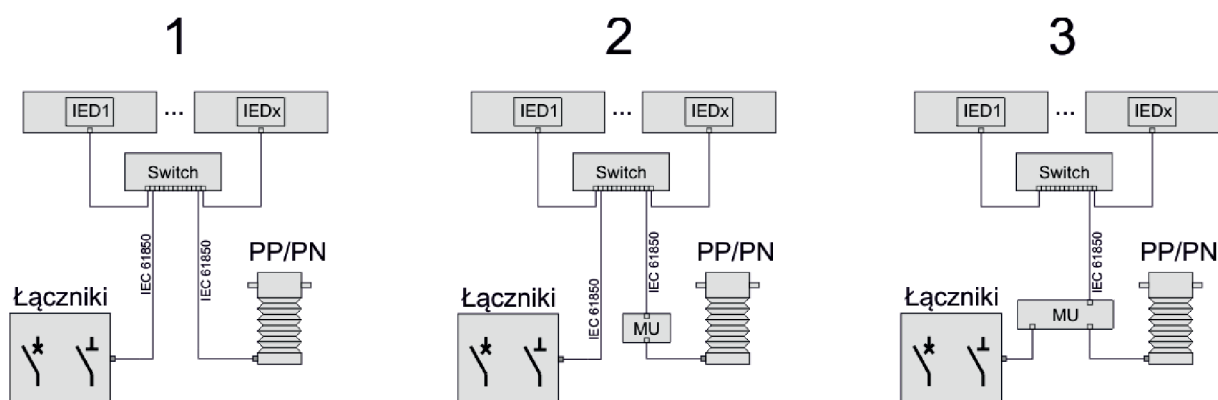
Jako punkt wyjściowy analizy przyjęto koncepcję urządzenia stanowiącego jednostkę scalającą pomiędzy wszystkimi polowymi aparatami pierwotnymi a aparaturą obwodów wtórnych. W zależności od rodzaju zastosowanej aparatury pierwotnej informacje wymieniane z pozostałymi urządzeniami będą albo w pełni cyfrowe, albo częściowo cyfrowe a częściowo analogowe. Dla potrzeb analizy założono trzy charakterystyczne warianty, przy czym liczba kombinacji jest tutaj praktycznie nieograniczona:

- 1) wszystkie aparaty wysyłają dane w formie cyfrowej zgodnie z IEC 61850,
- 2) dane z przekładników prądowych i napięciowych przesyłane są analogowo, wszystkie pozostałe sygnały cyfrowo,
- 3) wszystkie informacje są wymieniane z aparaturą w polu w sposób analogowy – drutowo.

Konsekwencją zastosowanego rozwiązania będzie zakres funkcji, jaki jednostka scalająca musi realizować. W przypadku 1. wszystkie aparaty, tj. przekładniki, łączniki wyposażone są w cyfrowe łącza i wysyłają one strumień SV oraz sygnały GOOSE które mogą być przekazane bez ich zmiany do urządzeń IED. W takim układzie rolę jednostki scalającej na poziomie pola przejmuje switch ethernetowy.

Przypadek 2. zakłada większość aparatów wyposażonych w łącza cyfrowe. Wyłącznie przekładniki pozostają w formie konwencjonalnej z połączeniem „drurowym”. Do wymiany danych potrzebne jest zatem urządzenie, które przetworzy sygnały analogowe na strumień SV, zgodny z IEC 61850.

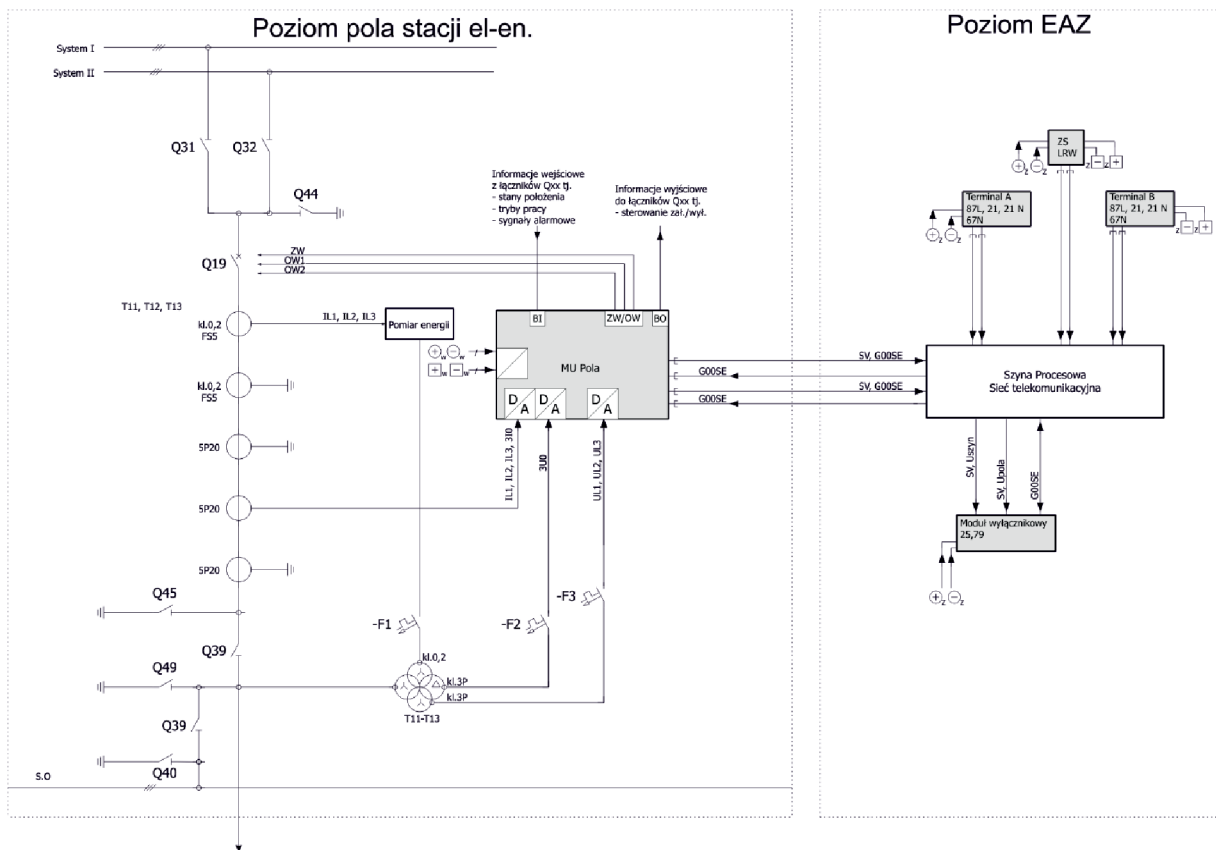
Przypadek 3. zakłada wymianę wszystkich informacji z aparaturą pierwotną w polu stacji elektroenergetycznej w sposób tradycyjny. Wymaga to najbardziej zaawansowanej i rozbudowanej jednostki scalającej, musi być ona bowiem wyposażona w odpowiednio duży komplet wejść oraz wyjść binarnych, pozwalający na sterowanie urządzeniami i odbieranie od nich sygnałów, komplet wyjść wyłączających (szybkich i mocnych) do sterowania cewkami wyłączników mocy, a także w komplet wejść prądowych i napięciowych. Procesor wraz z infrastrukturą tak zaprojektowanego urządzenia musi obsługiwać wszystkie ww. sygnały oraz ich konwersję z formy cyfrowej na tradycyjną i odwrotnie, zapewniając jednocześnie spójność i integralność danych.



Rys. 1. Struktura telekomunikacyjna dla różnych wariantów aparatury pierwotnej

W zależności od przyjętego rozwiązania jednostka MU stanowić będzie w skrajnym przypadku w pełni wyposażony terminal polowy, z tą tylko różnicą, że funkcje logiczne zastąpi moduł konwertujący sygnały analogowe na cyfrowe. Na drugim biegunie będzie to wyłącznie rozbudowany switch, który będzie zbierał cyfrowe dane z aparatury polowej, nadawał im odpowiednią kolejność i zasilał nimi szynę procesową. W praktyce oczekuje się, że faktyczne rozwiązania znajdą się gdzieś pomiędzy, przekształcając część sygnałów, a część wyłącznie przesyłając dalej.

Decyzja o tym jaki wariant zostanie zrealizowany leży po stronie inwestora, a zależność będzie ona głównie od rodzaju aparatury pierwotnej zastosowanej w polu stacji elektroenergetycznej. Jeśli istniejąca, konwencjonalna aparatura będzie w dużej mierze nowa i nie będzie wymieniana podczas modernizacji obiektu, to można ją pozostawić i zastosować rozwiązanie MU konwertujące sygnały analogowe na cyfrowe. Jeśli część aparatury pierwotnej będzie obsługiwała komunikację w protokole IEC 61850, to sygnały te mogą zostać bezpośrednio wprowadzone na szynę procesową.



Rys. 2. Przyjęta koncepcja cyfrowej stacji elektroenergetycznej

W analizie celowo założono oddzielne jednostki scalające dla układów pomiarowych i zabezpieczeniowych. Z punktu widzenia techniki możliwe jest zrealizowanie obydwu tych układów łącznie. Zastosowane rozwiązanie zależy będzie głównie od wytycznych inwestora wynikających z organizacji pracy i jej podziału pomiędzy osoby eksploatujące dany obiekt.

2. Liczby sygnałów obsługiwanych przez jednostki scalające

Prace nad uniwersalną jednostką scalającą oparto na założeniu, że powinno być to urządzenie obsługujące wszystkie przedstawione w punkcie 1 warianty. Jako warunki brzegowe dalszej analizy przyjęto pełną konwersję sygnałów pochodzących oraz wysyłanych do aparatury pierwotnej w sposób analogowy (drutowo). W celu odpowiedniego oszacowania liczby danych konwertowanych i przesyłanych przez jednostki scalające, a dalej przez urządzenia stacyjnej szyny procesowej rozważono różne układy stacji, w których jednostki scalające będą pracowały. Jednostka scalająca powinna mieć możliwość obsługi wszystkich aparatów zainstalowanych w polu rozpatrywanej rozdzielni. Trzeba przez to rozumieć odbiór i wysyłanie następujących typów sygnałów dwustanowych:

- stany łączników,
- sterowania (*zamknij/otwórz*) łącznikami,
- analizę trybów sterowania napędami łączników,
- sygnały alarmowe z łączników,
- sygnały alarmowe z przekładników pomiarowych,
- sygnały alarmowe z pola, tj. zaniki napięcia.

W odniesieniu do powyższych WE/WY binarnych, zwrócono dodatkowo uwagę na fakt, iż szczególnym przypadkiem łącznika jest wyłącznik, dla którego należy przewidzieć tzw. szybkie-mocne wyjścia sterujące, współpracujące z cewkami mocy. Obwody te powinny posiadać dużą

moc łączeniową o odpowiednich parametrach. Dodatkowo ze względu na istotność sygnałów wyłączających wyjścia powinny posiadać dużą szybkość zadziałania w celu minimalizacji czasów likwidacji awarii w systemie elektroenergetycznym.

Założono także obsługę jednego kompletu wejść analogowych z rdzeni przekładników, tj. jednostka scalająca powinna posiadać obwody pomiarowe czterech prądów oraz czterech napięć. Obsługę kolejnych rdzeni przekładników pomiarowych należy w myśl zasady redundancji powierzyć niezależnym urządzeniom. Ze względu na poziom bezpieczeństwa w polu powinny być zainstalowane przynajmniej dwa komplety jednostek scalających. Ostateczna ilość określona zostanie przez operatora danego obiektu biorąc pod uwagę ryzyko związane z awarią w danym polu.

W poniższych tabelach przedstawiono sygnały pochodzące z wyłącznika pola oraz pojedynczego odłącznika, które powinna obsługiwać jednostka scalająca.

Tabela 1

Lista sygnałów wyłącznika pola

LP.	NAZWA SYGNAŁU	TYP
Sygnały wejściowe		
1.	Wyłącznik załączony	BI
2.	Wyłącznik wyłączony	BI
3.	Wyłącznik gotowy	BI
4.	Wyłącznik Aw	BI
5.	Wyłącznik - obniżka SF6 1 st.	BI
6.	Wyłącznik - obniżka SF6 2 st.	BI
7.	Wyłącznik rozbrojony	BI
8.	Wyłącznik - przekroczenie czasu zbrojenia	BI
9.	Wyłącznik - zanik napięcia w obwodach zasilania i ogrzewania	BI
10.	Wyłącznik - zadziałanie zab. zasilania napędu	BI
11.	Wyłącznik - zadziałanie zab. silnika	BI
12.	Wyłącznik - sterowanie zdalne	BI
13.	Wyłącznik - sterowanie lokalne	BI
14.	Wyłącznik - sterowanie odstawione	BI
Sygnały wyjściowe		
1.	ZW	BO
2.	OW1 (dla NN: OW1 L1, OW1 L2, OW1, L3)	BO
3.	OW2 (dla NN: OW2 L1, OW2 L2, OW2, L3)	BO

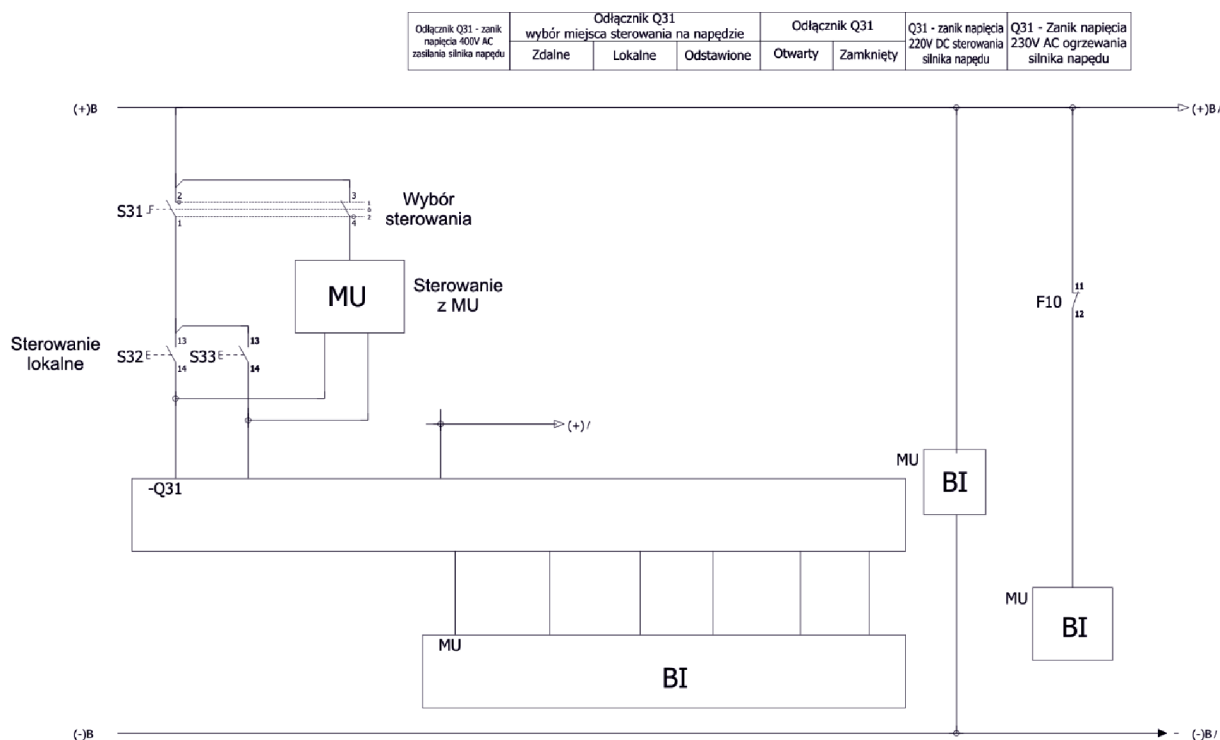
Tabela 2

Lista sygnałów pojedynczego łącznika pola

LP.	NAZWA SYGNAŁU	TYP
Sygnały wejściowe dla MU		
1.	Qxx otwarty	BI
2.	Qxx zamknięty	BI
3.	Qxx - Zanik napięcia 400 V AC zasilania silnika napędu	BI
4.	Qxx - Zanik napięcia 220 V DC sterowania silnika napędu	BI
5.	Qxx - Zanik napięcia 230 V AC ogrzewania silnika napędu	BI
6.	Qxx - sterowanie zdalne	BI
7.	Qxx - sterowanie lokalne	BI
8.	Qxx - sterowanie odstawione	BI
Sygnały wyjściowe dla MU		
1.	Qxx otwórz	BO
2.	Qxx zamknij	BO

W zależności od liczby odłączników i uziemników (liczba tego typów aparatów w polu może być różna – przykładowo dla rozdzielni 3 systemowej wynosi ona 9) ilość sygnałów również będzie się zmieniać. Mnożąc liczbę sygnałów pojedynczego łącznika oraz liczbę łączników w polu otrzymano wymaganą ilość sygnałów, która dla pola 3 systemowego wynosi odpowiednio 64 sygnały wejściowe oraz 16 sygnałów wyjściowych.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat aplikacyjny obsługi odłącznika przez jednostkę scalającą.



Rys. 3. Przyjęta koncepcja obsługi łącznika przez jednostkę scalającą

Przeanalizowano najpopularniejsze układy stacji elektroenergetycznych w Polsce, oszacowując liczbę sygnałów wykorzystywanych w tych elementach sieci, a co za tym idzie liczbę wejść oraz wyjść, w które jednostka scalająca musi być wyposażona.

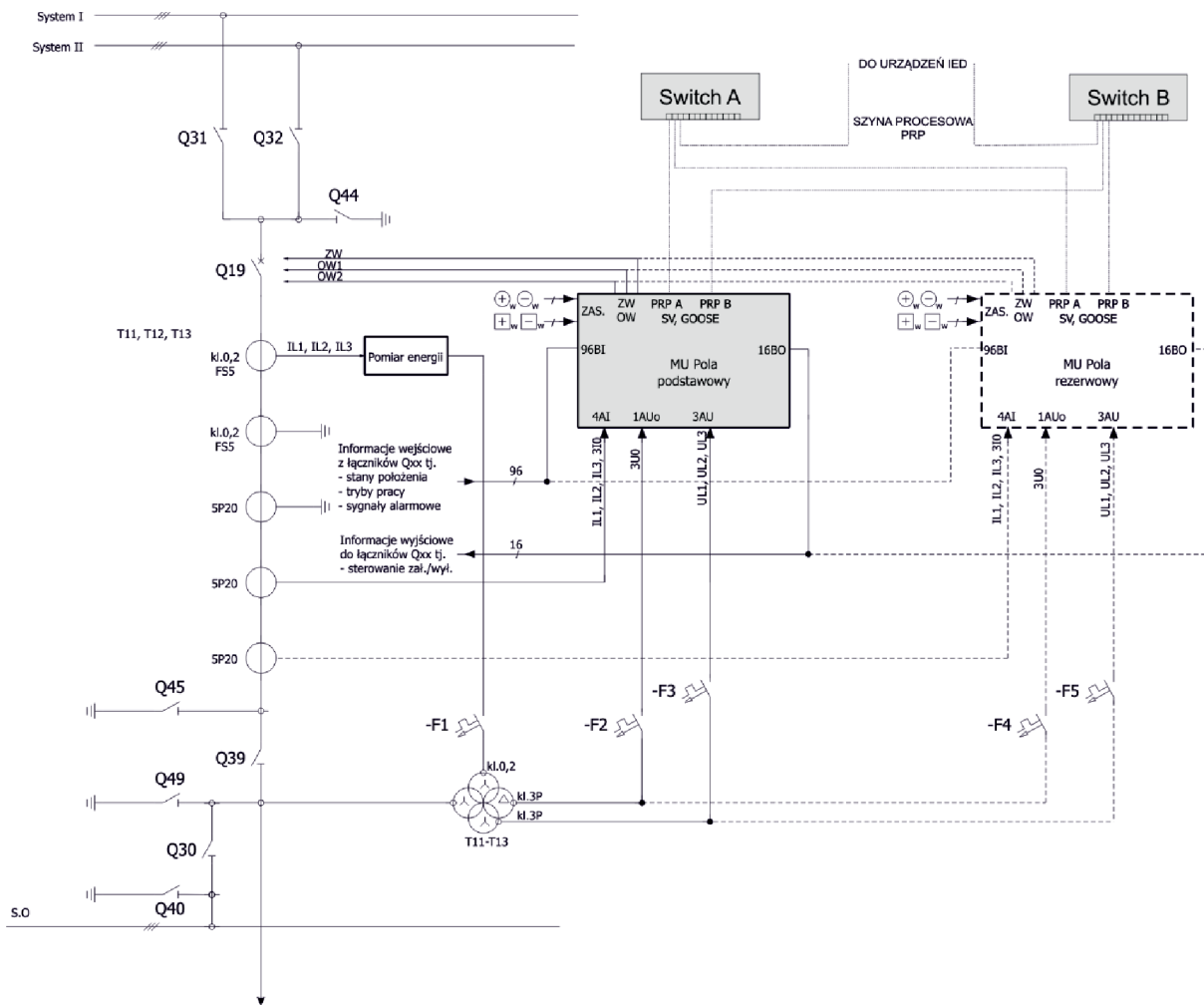
Tabela 3

Sygnały wyłącznika pola rozdzielni WN/NN

Typ pola	BI	BO	OW/ZW	AU	AJ
Pole linii 110 kV rozdzielnia 1 systemowa	65	10	3	4	4
Pole linii 110 kV rozdzielnia 3 systemowa	81	14	3	4	4
Pole linii 220 kV rozdzielnia 2 systemowa	76	12	7	4	4
Pole mostka systemowego 400kV rozdzielni 3/2W	58	6	8	4	4
Pole mostka środkowego 400kV rozdzielni 3/2W	64	8	8	4	4
Ilość maksymalna	81	14	8	4	4

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w celu zapewnienia obsługi każdego typu pola uniwersalna jednostka scalająca musi mieć możliwość wyposażenia maksymalnie w:

- 96 wejść binarnych,
- 16 wyjść sterujących normalnych,
- 8 wyjść sterujących mocnych,
- 4 wejścia pomiaru napięcia,
- wejścia pomiaru prądu.



Rys. 4. Jednokreskowy schemat pola z jednostkami skalającymi

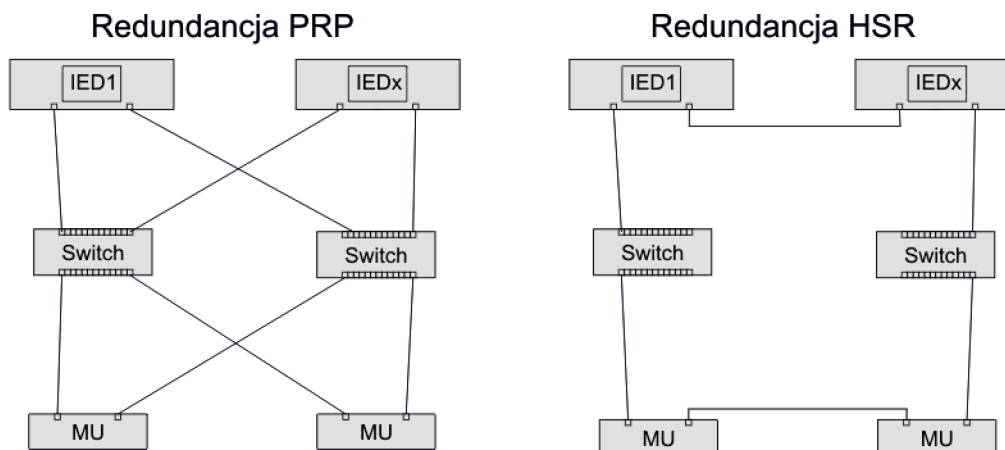
Po tym jak urządzenie typu *Merging Unit* odbierze „po drucie” sygnały z pola następuje odpowiednie ich pakowanie do strumieni SV lub do sygnałów GOOSE zgodnych ze standardem IEC 61850. Sygnały GOOSE oraz strumienie SV transmitowane są po tzw. szynie procesowej do cyfrowej aparatury EAZ. Na rysunku 4 pokazano redundantnie pracujące jednostki skalające, które obsługują jednocześnie wszystkie sygnały dwustanowe, natomiast pomiary pobierają z różnych rdzeni przekładników.

3. Szyna procesowa cyfrowej stacji elektroenergetycznej

Komunikacja pomiędzy urządzeniami automatyki zainstalowanymi w polu odbywa się w ramach szyny procesowej. Pojęcie komunikacji w tym przypadku rozumieć należy jednak szerzej, odbywa się to w obecnie stosowanych urządzeniach. W ramach komunikacji „przez szynę procesową” przekazywane są wszystkie dane, na podstawie których urządzenia EAZ podejmują działania. Komunikaty te mają charakter typu multicast, zatem wszystkie urządzenia wysyłają całą komunikację do sieci, a adresat podejmuje decyzję czy dany komunikat jest dla niego przeznaczony.

W przypadku aparatury EAZ kluczowa jest całkowita niezawodność i stabilność połączenia. Ewentualne opóźnienie, zawieszenie lub zerwanie transmisji będzie miało skutki podobne jak pozostawienie otwartego obwodu wyłączającego lub zwartego obwodu prądowego. Dlatego też szczególnie ważne jest zapewnienie odpowiedniej redundancji połączeń i urządzeń łączeniowych działających w ramach szyny procesowej. Norma zaleca bezprzerwową

redundancję połączeń wg standardu PRP (IEC 62439-3.4) lub HSR (IEC 62439-3.5). Wymusza to użycie dodatkowej infrastruktury sieciowej, ale zapewnia zdecydowanie większą pewność przesyłania danych w stosunku do pojedynczego kompletu. Rys. 5 przedstawia schemat układu połączeń dla obu typów redundancji, tj. wg topologii gwiazdy PRP oraz wg topologii pierścienia HSR.



Rys. 5. Liczby sygnałów uniwersalnego urządzenia *merging unit*

Na różnych poziomach stacji elektroenergetycznej można stosować różne rodzaje redundancji. Temat redundancji urządzeń w cyfrowych obwodach stacji elektroenergetycznej jest szalenie obszerny, a jednocześnie w dużej mierze zależny od poziomu ryzyka wiążącego się z danym elementem sieci oraz indywidualnym podejściem operatora, dlatego też w niniejszym artykule wyłącznie zasygnalizowano potrzebę redundancji w celu uwypuklenia związanej z nią kwestii zwielokrotniania ruchu po sieci. Dla potrzeb dalszej analizy przyjęliśmy dwa urządzenia MU dla obwodów zabezpieczeniowych w polu, co skutkowało będzie wyłącznie podwojeniem liczby danych, którymi zasilana jest szyna procesowa od strony pola.

W szynie procesowej, można wyróżnić trzy główne mechanizmy komunikacyjne zgodne ze standardem IEC 61850:

- *Sampled Values* – do przesyłania wartości pomiarowych w postaci strumieni danych (opisane w części 9-2 standardu),
- GOOSE – do szybkiego przesyłania informacji o zmianach stanu zachodzących procesów oraz wysyłania poleceń,
- PTP – do synchronizacji czasu współpracujących ze sobą urządzeń i układów.¹

Strumienie danych SV wysyłane są cyklicznie ze stałym odstępem czasowym, co tzw. próbkę. Przykład takiej ramki danych został przedstawiony na rys. 6. Wg normy IEC 61850 9-2LE strumień dla zabezpieczeń powinien być przesyłany z częstotliwością 4 kHz, generuje to przepływ informacji z jednego pola na poziomie ok. 4 Mb/s.

Sygnały GOOSE przesyłane są ze zmienną częstotliwością powtórzeń wg takiej zasady, że po zmianie sygnału następują częste powtórzenia ramek GOOSE w cyklu np. co 2 ms. W miarę upływu czasu od zmiany stanu (głównego sygnału binarnego) powtórzenia ramek są opóźniane osiągając ostatecznie jedną ramkę na 4 s, gdy nic się nie zmienia. Przykład takiej ramki danych został przedstawiony na rys. 7. Wg dokonanych przez nas kalkulacji może to generować ruch sieciowy na poziomie od 2 kb/s do nawet 5 Mb/s w skrajnym przypadku, gdyby zmiana stanu występowała co 2 ms.

¹ Warto wspomnieć, że w momencie publikacji dokumentu IEC 61850-9-2LE zalecanym sposobem synchronizacji próbkowania był sygnał 1PPS, jednakże do tego sposobu wymagane było dodatkowe okablowanie. Zaletą protokołu PTP jest wykorzystanie do transmisji łącza Ethernet.

Tak częsta zmiana stanów jest przypadkiem czysto teoretycznym. Wykonana analiza rzeczywistego działania urządzeń wskazuje, że z tyt. komunikatów GOOSE należy przyjąć pasmo obciążenia magistrali komunikacyjnej na poziomie ok. 1 Mb/s.

W szynie procesowej przesyłane są także ramki danych synchronizacyjnych wg standardu IEC 1588. Ramka synchronizacyjna PTP została przedstawiona na rys. 8. Ze względu na dość rzadki cykl wymiany danych między urządzeniami wynoszący ok. kilku sekund, synchronizacja czasu nie obciąża w sposób istotny kanałów komunikacyjnych.

```

▼ Frame 1: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface \Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077}, id 0
  > Interface id: 0 (\Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077})
    Encapsulation type: Ethernet (1)
    Arrival Time: Jul 30, 2021 09:38:58.235948000 Środkowoeuropejski czas letni
    [Time shift for this packet: 0.000000000 seconds]
    Epoch Time: 1627630738.235948000 seconds
    [Time delta from previous captured frame: 0.000000000 seconds]
    [Time delta from previous displayed frame: 0.000000000 seconds]
    [Time since reference or first frame: 0.000000000 seconds]
    Frame Number: 1
    Frame Length: 126 bytes (1008 bits)
    Capture Length: 126 bytes (1008 bits)
    [Frame is marked: False]
    [Frame is ignored: False]
    [Protocols in frame: eth:ethertype:sv]
    [Coloring Rule Name: Broadcast]
    [Coloring Rule String: eth[0] & 1]
  > Ethernet II, Src: Critical_06:7a:bb (c4:ff:bc:76:7a:bb), Dst: Iec-Tc57_04:00:01 (01:0c:cd:04:00:01)
  > IEC61850 Sampled Values

```

Rys. 6. Przykładowa ramka danych SV z jednostki scalającej

```

▼ Frame 1: 900 bytes on wire (7200 bits), 900 bytes captured (7200 bits) on interface \Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077}, id 0
  > Interface id: 0 (\Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077})
    Encapsulation type: Ethernet (1)
    Arrival Time: Jul 28, 2021 08:37:49.188126000 Środkowoeuropejski czas letni
    [Time shift for this packet: 0.000000000 seconds]
    Epoch Time: 1627454269.188126000 seconds
    [Time delta from previous captured frame: 0.000000000 seconds]
    [Time delta from previous displayed frame: 0.000000000 seconds]
    [Time since reference or first frame: 0.000000000 seconds]
    Frame Number: 1
    Frame Length: 900 bytes (7200 bits)
    Capture Length: 900 bytes (7200 bits)
    [Frame is marked: False]
    [Frame is ignored: False]
    [Protocols in frame: eth:ethertype:goose]
    [Coloring Rule Name: Broadcast]
    [Coloring Rule String: eth[0] & 1]
  > Ethernet II, Src: Critical_03:27 (40:d8:55:17:c3:27), Dst: Iec-Tc57_01:00:01 (01:0c:cd:01:00:01)
  > GOOSE

```

Rys. 7. Przykładowa ramka danych GOOSE z jednostki scalającej

```

▼ Frame 16: 68 bytes on wire (544 bits), 68 bytes captured (544 bits) on interface \Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077}, id 0
  > Interface id: 0 (\Device\NPF_{EDB58CB3-8E2D-484C-906A-CDCE3D1B6077})
    Encapsulation type: Ethernet (1)
    Arrival Time: Jul 30, 2021 10:15:01.255034000 Środkowoeuropejski czas letni
    [Time shift for this packet: 0.000000000 seconds]
    Epoch Time: 1627632901.255034000 seconds
    [Time delta from previous captured frame: 0.552027000 seconds]
    [Time delta from previous displayed frame: 0.552027000 seconds]
    [Time since reference or first frame: 3.590101000 seconds]
    Frame Number: 16
    Frame Length: 68 bytes (544 bits)
    Capture Length: 68 bytes (544 bits)
    [Frame is marked: False]
    [Frame is ignored: False]
    [Protocols in frame: eth:ethertype:ptp]
    [Coloring Rule Name: Broadcast]
    [Coloring Rule String: eth[0] & 1]
  > Ethernet II, Src: RuggedCo_Bd:dd:e2 (94:b8:c5:8d:dd:e2), Dst: LLDP_Multicast (01:80:c2:00:00:0e)
  > Precision Time Protocol (IEEE1588)

```

Rys. 8. Przykładowa ramka synchronizacji PTP

Analiza przepustowości magistrali stacyjnej nakazuje wzięcie pod uwagę następujących ilości danych wysyłanych w sposób ciągły przez urządzenia EAZ:

- dla jednostek scalających (strumień SV oraz sygnały GOOSE – ok. 5 Mb/s)
- dla urządzeń IED (sygnały GOOSE – ok. 1 Mb/s).

Ilości przedstawione powyżej dotyczą pojedynczych urządzeń. W celu określenia całkowitych objętości strumieni danych uwzględnić należy wszystkie urządzenia wpięte do szyny procesowej na każdym poziomie urządzeń oraz ich redundancje. Na ilość danych wpływać będą zatem jednostki scalające, zabezpieczenia podstawowe, zabezpieczenia rezerwowe, sterowniki pola i inne. Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla rozdzielni 6-8 polowej interfejs 100 Mb/s może być wystarczający (w zależności od wyposażenia w inne urządzenia). W przypadku większej liczby pól interfejs urządzeń podpiętych do szyny procesowej powinien wynosić przynajmniej 1 Gb/s ciągłego transferu danych.

Aby ograniczyć obciążenie sieci, wprowadzono standard IEEE 802.1Q definiujący wirtualne sieci lokalne (VLAN). Generalnie użycie VLAN polega na wyizolowaniu z całej, fizycznej sieci LAN podsieci wirtualnych. W odniesieniu do stacji, VLAN może być używany do stworzenia grup IED, współpracujących ze sobą w celu realizacji określonych funkcji czy rodzajów automatyki stacyjnej. Należy pamiętać jednak o urządzeniach, które potrzebują zbierać informacje z całej rozdzielni, np. zabezpieczenie szyn zbiorczych (ZS), lokalna rezerwa wyłącznikowa (LRW) czy stacyjny rejestrator zakłóceń, dla których nie można wydzielić VLAN. Urządzenia IED obejmujące swoim działaniem całą rozdzielnię będą musiały posiadać odpowiednio szybkie interfejsy danych, lub wydzielone wyłącznie dla siebie szersze sieci VLAN.

4. Inne zagadnienia związane z przesyłem danych i strukturą urządzeń stacyjnych cyfrowej stacji elektroenergetycznej

W ramach prowadzonych prac koncepcyjnych i konstruktorskich nad opracowywaną w ZPrAE Sp. z o.o. uniwersalną jednostką scalającą TMU-11 stwierdzono szereg kwestii związanych z ustrojem stacji cyfrowej opartej na IEC 61850 nieuregulowanych w polskich czy międzynarodowych normach. Kwestie te istotnie wpływają na budowę zarówno jednostki scalającej, jak i całej infrastruktury stacyjnej. Producenci cyfrowych rozwiązań obwodów wtórnych wypracowali w tym zakresie swoje autorskie rozwiązania i mogą proponować je jako gotowe wzorce, jednak to operatorzy systemów elektroenergetycznych powinni w oparciu o możliwie pełne zrozumienie tej tematyki rozważyć i zaimplementować w swoich wewnętrznych standardach konkretne rozwiązania. Rozwiązania te powinny być uzależnione od ryzyka związanego z działaniem danego obiektu elektroenergetycznego, gotowością do samodzielnej obsługi tego typu urządzeń oraz zdobywanymi systematycznie doświadczeniami w eksploatacji urządzeń cyfrowych opartych w pełni na normie IEC 61850.

Poniżej opisano kwestie, które zdaniem autorów w sposób szczególny powinny zostać rozważone.

1. Układy ogólnostacyjne

Sposób współpracy układów ogólnostacyjnych zbierających dane z całej rozdzielni, jak np. różnicowe zabezpieczenie szyn zbiorczych, lokalna rezerwa wyłącznikowa czy rejestrator zakłóceń z pozostałymi układami o zasięgu jednego pola. Dla tych urządzeń należy przewidzieć znacznie szybsze interfejsy komunikacyjne, możliwość wydzielenia oddzielnej szyny procesowej z dedykowanymi jednostkami scalającymi lub w oparciu o szczegółową analizę zastosowanych na obiekcie rozwiązań inny, indywidualnie opracowany sposób ich działania.

2. Funkcje jednostek scalających

Zakres funkcji realizowanych przez jednostki scalające, wynikający z obecnego układu funkcjonalnego aparatury EAZ ogranicza się do zbierania sygnałów, przekształcania ich na spójny język standardu IEC 61850 oraz przesyłania dalej do aparatów podejmujących decyzje lub decyzje te wykonujących. Technicznie nic nie stoi na przeszkodzie, żeby w ramach jednostki scalającej zaimplementować dodatkowe funkcje. Urządzenia takie mogłyby samodzielnie identyfikować i usuwać zwarcia w elementach sieci elektroenergetycznej lub rejestrować przebiegi prądów, napięć oraz wszystkie przechodzące przez nie sygnały binarne. Z technicznego punktu widzenia, wielofunkcyjne urządzenie polowe zamontowane w szafce

polowej mogłoby realizować większość funkcji zabezpieczeniowych samodzielnie, a te które wymagają informacji z dwóch lub więcej pól realizować w bezpośredniej współpracy z urządzeniami z tych pól. Takie rozwiązanie z jednej strony zmniejsza liczbę urządzeń równoległe zabezpieczających przed daną awarią, z drugiej jednak zmniejsza liczbę urządzeń pośredniczących, które mogą ulec uszkodzeniu, oraz redukuje ilości danych przesyłane przez szynę procesową.

3. Rejestracja zakłóceń

W zależności od przyjętej koncepcji oraz „poziomu zaufania” do urządzeń będących na styku „wartości analogowych i cyfrowych” układ stacyjnego rejestratora zakłóceń można potraktować wyłącznie jako magazyn danych cyfrowych zbieranych z szyny procesowej stacji, lub tradycyjnie - jako zupełnie oddzielny układ z niezależnymi wejściami pomiarowymi, napięciowymi oraz dwustanowymi w celu dodatkowej weryfikacji, czy dane pochodzące z jednostek scalających nie są błędne.

4. Częstotliwość próbkowania sygnałów analogowych

W przypadku urządzeń IED z własnymi wejściami pomiarowymi producent ustala samodzielnie częstotliwość próbkowania dostosowaną do własnych algorytmów pomiarowych oraz dokładności obliczania. Narzucona przez normę częstotliwość próbkowania 4 kHz (lub 4,8 kHz) wymusza na producentach EAZ dostosowanie swoich algorytmów decyzyjnych. Producenci zabezpieczeń przekaźnikowych deklarują wewnętrzne częstotliwości próbkowania od 1 kHz do 16-20 kHz, a w przypadku badania zjawisk falowych częstotliwość ta może przekraczać nawet 1 MHz. Rozwiązanie „cyfrowej” stacji zgodnej z IEC 61850 powoduje, że część autorskich algorytmów pomiarowo-decyzyjnych nie będzie mogła być stosowana lub może nastąpić pogorszenie dokładności działania wybranych urządzeń.

5. Ograniczenie redundancji wejść pomiarowych

Tradycyjne przekładniki prądowe lub napięciowe zasilają danymi szereg stacyjnych urządzeń decyzyjnych, zlokalizowanych w różnych miejscach, wyposażonych w niezależne i różnej konstrukcji moduły pomiaru prądów lub napięć. Zabezpieczenie podstawowe, zabezpieczenie rezerwowe, zabezpieczenie szyn zbiorczych, układ lokalnej rezerwy wyłącznikowej czy układ rejestracji wszystkie mają własne, oddzielne wejścia prądowe lub napięciowe. W stacji cyfrowej z wykorzystaniem MU wyposażonej w wejścia pomiarowe, nawet stosując redundancje dwóch niezależnych jednostek scalających, wszystkie powyższe układy pomiarowe zastępowane są dwoma, zlokalizowanymi obok siebie układami. W stacji z cyfrowymi przekładnikami układ pomiarowy może być jeszcze bardziej ograniczony w zależności od konstrukcji przekładnika lub urządzenia realizującego jego funkcję.

6. Spójność danych w strumieniach SV

Analizując proces przesyłania danych pomiarowych (strumieni SV) poprzez sieć Ethernet należy wspomnieć o różnicach w sposobie tworzenia, strukturze i częstotliwości wysyłania ramek z próbkami. Pierwotnie struktura ramek była opisana w normie IEC 61850-9-2 w sposób dość ogólny, pozwalając na dużą dowolność. Ramki SV różnych producentów różniły się między sobą na tyle, że niektóre urządzenia mogły błędnie lub w ogóle nie komunikować się między sobą. W konsekwencji opracowane zostały wytyczne pod nazwą IEC 61850-9-2LE. Urządzenia spełniające ściśle jej wymagania komunikują się między sobą prawidłowo. Równoległe jednak, standard ramek SV został określony w normie dotyczącej cyfrowego interfejsu dla przekładników IEC 61869-9. Skutkiem tego, zamiast ujednoczenia standardu powstało kolejne rozwiązanie. Norma IEC 61869-9 zakłada wsteczną kompatybilność, jednak preferowane są ramki o zmienionej strukturze i częstotliwości. W efekcie obecnie, aby zapewnić poprawną i powszechną komunikację, urządzenie powinno zapewniać możliwość ” wg normy IEC 61869-9 oraz „starszych” w obsłudze „nowszych ramek” normy IEC 61850-9-2LE. Sugerujemy, aby przy tworzeniu standardowych rozwiązań lub podejmowaniu decyzji o budowie układów opartych na wymianie strumieni danych SV operatorzy bardzo precyzyjnie określali zarówno oczekiwaną wersję normy, która ma być spełniona, jak i częstotliwości pracy układu.

Analizując powyżej przedstawione zagadnienia oraz kwestie do rozważenia, podkreślić należy, że droga do wprowadzenia rozproszonych, w pełni cyfrowych układów aparatury EAZ będzie wymagać od operatorów obiektów elektroenergetycznych szeregu decyzji dotyczących architektury systemu. Decyzje te powinny być podejmowane na podstawie zbieranych obserwacji i doświadczeń eksploatacyjnych. Jedynym słusznym rozwiązaniem wydaje się zatem stopniowe, pilotażowe wprowadzanie aparatów cyfrowych w pojedynczych obszarach dotychczas obsługiwanych przez urządzenia analogowe i jednocześnie skrupulatne weryfikowanie efektów tych zmian – zarówno osiągniętych korzyści jak i ustępstw które musiały zostać zaakceptowane.

Literatura

- [1] IEEE-1588 *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. - <https://standards.ieee.org/standard/61588-2021.html>
- [2] *Opracowanie autonomicznych urządzeń nazywanych węzłami sterującymi szyny procesowej (ang. Merging Unit - MU) oraz modułów będących elementami urządzeń automatyki zabezpieczeniowej (moduły EAZ) Etap I* - Marcin Januszewski, Ryszard Kowalik, Karol Kurek
- [3] PN-EN 61850-7-1: *Systemy i sieci telekomunikacyjne do automatyzacji przedsiębiorstw energetycznych - Część 7-1: Podstawowa struktura komunikacyjna - Zasady i modele*
- [4] PN-EN 61850-9-2_2012: *Systemy i sieci telekomunikacyjne do automatyzacji przedsiębiorstw energetycznych - Część 9-2: Specjalne odwzorowanie usługi komunikacyjnej (SCSM) – Wartości próbkowane przesyłane zgodnie z ISO/IEC 8802-3*
- [5] PN-EN IEC 62439-3:2018-03: *Protokół Redundancji Równoległej (PRP) i Bezstratna Redundancja o Wysokiej Dostępności (HSR)*