

mgr inż. Eugeniusz Smolarz,
inż. Rafał Pasuga
ZPBE ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA Sp. z o.o. Gliwice

Innowacyjny sposób sprawdzania kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych

Streszczenie: W publikacji przedstawiono innowacyjny sposób sprawdzania kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych, który wykorzystano przy uruchamianiu nowej stacji elektroenergetycznej 220/110/20 kV Biskupice oraz na pracującej już wiele lat stacji 220/110 kV Klecina.

Sposób ten pozwala na sprawdzenie kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych jeszcze na etapie badań pomontażowych oraz jest przydatny w szczególności na nowobudowanych stacjach elektroenergetycznych oraz w sytuacjach kiedy wymuszony w czasie prób prąd obciążenia jest za mały aby określić jednoznacznie kierunkowość zabezpieczeń. Dodatkowo istnieje możliwość potwierdzenia prawidłowej kierunkowości nawet przy bardzo małym obciążeniu już od ok. 3% J_N .

1. Wprowadzenie

Wraz z rozwojem Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieceniowej (EAZ) pojawiają się coraz nowsze generacje zabezpieczeń jednak zabezpieczenia odległościowe jak i ziemnozwarciowe kierunkowe stosowane są od momentu ich powstania i nic nie wskazuje aby szybko zniknęły. Wprawdzie układy EAZ uległy one dużym przeobrażeniom od dużych ciężkich elektromechanicznych skrzynek do małych i lekkich terminali komputerowych wyposażonych w całą bibliotekę różnego rodzaju zabezpieczeń, automatyk i układów logicznych to konieczność sprawdzenia kierunkowości czyli poprawności podłączenia obwodów prądowych i napięciowych do zabezpieczenia odległościowego czy też ziemnozwarciowego oraz właściwej parametryzacji tych zabezpieczeń pozostaje i niejednokrotnie przysparza wiele dodatkowych problemów natury organizacyjnej, ruchowej i finansowej.

Poszukiwanie skutecznego sposobu sprawdzania kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych, który byłby do wykorzystania jeszcze na etapie badań pomontażowych czyli jeszcze przed podaniem napięcia a następnie obciążeniem, z punktu widzenia całego procesu uruchamiania stało się dużym wezwaniem dla naszej firmy. Korzyści jakie daje taka metoda są niepodważalne. Pozwala to uniknąć zaangażowania, często na długi okres czasu, służb dyspozytorskich, które są zmuszone do wykonywania niekorzystnych dla systemu przełączeń, obsługi innego układu wybranego do zasilania uruchomianego obiektu oraz służb zabezpieczeń obsługujących zasilający i uruchamiany obiekt. Są jednak takie sytuacje, że sprawdzenie kierunkowości staje się wręcz niemożliwe ze względów ruchowych czy obiektowych tak jak to miało miejsce w stacji 220/110 kV Biskupice. W tym miejscu należy się głęboki ukłon dla PSE - Operator, która to firma a w szczególności jej specjaliści, którym sprawy związane z EAZ są bardzo bliskie, uznała ten problem za bardzo ważny i postanowiła sfinansować

prace pozwalające rozwiązać ten problem nie tylko z punktu widzenia swoich interesów ale również wielu innych podmiotów współpracujących z KSE takich jak zakłady energetyczne, elektrownie, sieci przemysłowe no i oczywiście całej rzeszy wykonawców, realizatorów inwestycji elektroenergetycznych.

2. Sprawdzanie kierunkowości zabezpieczeń metodą tradycyjną.

Zanim przejdziemy do omawiania sprawdzania kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych spróbujmy prześledzić proces realizacji inwestycji w którym miejscu ten problem występuje. Uogólniając proces realizacji inwestycji przebiega mniej więcej w taki sposób.

- 1) Uzgodnienia założeń projektowych, dobór urządzeń i zabezpieczeń.
- 2) Wykonanie projektu wykonawczego i jego zatwierdzenie.
- 3) Realizacja obiektu (budowa, montaż urządzeń pierwotnych i wtórnych oraz obwodów).
- 4) Badania pomontażowe urządzeń pierwotnych i wtórnych, rozruch obiektu w tym konfiguracja, nastawienie, sprawdzenie charakterystyk i próby funkcjonalne zabezpieczeń.
- 5) Odbiór obiektu przez komisję odbioru, opracowanie programu uruchomienia, wybranie układu do zasilania uruchamianego obiektu, mobilizacja dypospozycji ruchu, służb zabezpieczeń i obsługi obiektu uruchamianego i zasilającego uruchamiany obiekt.
- 6) Uruchomienie obiektu w czasie którego oprócz wielu czynności wynikających z realizacji poszczególnych punktów programu uruchomienia jedną z czynności jest **sprawdzanie kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych**. Nie zawsze jednak istnieją warunki ruchowe, które są w stanie spełnić wymagania stawiane przez producentów zabezpieczeń jeżeli chodzi o określenie kierunku tj. 10-20% J_n . W takim przypadku pozostaje czekanie na zwarcie, które zweryfikuje poprawną kierunkowość. Pozostaje jednak dalej pytanie jak uruchomić obiekt.

Przytoczmy te punkty normy **PN-E-04700 „Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych”**, które mówią o tym czego się oczekuje od układów zabezpieczeń po wykonaniu badań pomontażowych odbiorczych i przeanalizujmy te punkty.

p. 1.2.5 Pomontażowe badania odbiorcze

Pomontażowe badania odbiorcze to oględziny, pomiary oraz próby urządzeń i układów przeprowadzone po ich zainstalowaniu, w celu stwierdzenia przydatności i gotowości urządzeń i układów do eksploatacji w miejscu zainstalowania.

W tym punkcie mówi się o **stwierdzeniu przydatności i gotowości do eksploatacji w miejscu zainstalowania** co oznacza, że powinniśmy podjąć w trakcie badań pomontażowych takie działania w stosunku do układów zabezpieczeń a w szczególności zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych, które pozwolą na takie stwierdzenie.

p. 3.1 Program pomontażowych badań odbiorczych

Program badań urządzenia i/lub układu obejmuje wykonanie co najmniej następujących prób i sprawdzeń:

- a) sprawdzenie dokumentacji,
- b) oględziny urządzenia,

- c) próby i pomiary parametrów urządzenia i/lub układu,
- d) sprawdzenie działania urządzenia i/lub układu oraz próby działania w warunkach pracy o ile to jest możliwe,
- e) badania dodatkowe.

W p.3.1.d mówi się o **sprawdzeniu działania układu zabezpieczeń oraz wykonania prób działania w warunkach pracy** oczywiście jeżeli to jest możliwe co oznacza, że należy wykorzystać wszystkie możliwe i dostępne środki aby ten punkt spełnić ponieważ nie spełnienie tego w trakcie badań pomontażowych powoduje wiele problemów.

p. 3.2 Warunki przystąpienia do badań i przeprowadzenia pomiarów.

p. 3.2.2 Przeprowadzenie badań w czasie ruchu próbnego lub eksploatacji wstępnej.

Badania mogą być przeprowadzone w czasie ruchu próbnego lub w czasie eksploatacji wstępnej, jednak wówczas przeprowadzający badania nie wykonuje łączzeń w obwodach głównych.

W tym punkcie dopuszcza się, że **niektóre badania układów zabezpieczeń dopuszcza się do wykonania w trakcie ruchu próbnego lub nawet eksploatacji wstępnej** jednak dodatkowe uwarunkowania jakimi jest to, że wszystkie przełączenia i łączenia w obwodach pierwotnych muszą być uzgadniane z odpowiednią dyspozycją ruchu. Wykonuje je personel ruchowy obiektu co powoduje bardzo duże utrudnienie zarówno dla wykonawcy jak i dla zleceniodawcy. Należy również wspomnieć w tym miejscu o aspekcie finansowym tego problemu dla obu stron tj. wykonawcy oraz inwestora.

Biorąc pod uwagę te wszystkie rozważania najlepszym rozwiązaniem dla całego procesu uruchamiania obiektu, zarówno dla wykonawcy jak i dla zleceniodawcy a w szczególności dla komisji odbioru byłoby, gdyby już na etapie badań pomontażowych i rozruchowych kierunkowość zabezpieczeń była sprawdzona, a w protokołach z badań zabezpieczeń zamiast uwagi „po obciążeniu należy sprawdzić kierunkowość” byłby jednoznaczny wniosek o przydatności zabezpieczenia do eksploatacji. Natomiast jeżeli chodzi o sam proces uruchamiania to byłby tam punkt po obciążeniu (nawet bardzo małym rzędu kilku procent prądu znamionowego) „potwierdzenie kierunkowości zabezpieczeń” Taka wizja stała się założeniem z jakim przystąpiono do poszukiwania rozwiązania, które by spełniło te wymagania.

Oczywiście przyjęto dla proponowanej metody jeszcze wiele innych założeń takich jak:

- prostota i uniwersalność,
- możliwość zastosowania na każdym obiekcie,
- nie wymagającej kosztownych urządzeń i przedsięwzięć,
- wykorzystanie w miarę możliwości stosowanych powszechnie przyrządów,
- jednoznaczny poziom wiarygodności na etapie badań pomontażowych,
- możliwość potwierdzenia tej metody po obciążeniu nawet bardzo małym prądem rzędu kilku procent,

Zanim jednak przejdziemy do szczegółów zastanówmy się o co właściwie chodzi przy sprawdzaniu kierunkowości zabezpieczeń. Chodzi o to aby sprawdzić czy obwody pierwotne i wtórne prądowe oraz napięciowe są prawidłowo podłączone do zabezpieczenia a wielkości pomiarowe, które mierzy to zabezpieczenie będą powodowały prawidłowe i selektywne działanie w trakcie zakłóceń oraz pokazywały właściwe wskazania w trakcie normalnej pracy (oczywiście te zabezpieczenia, które posiadają takie możliwości) czyli czy zabezpieczenia są prawidłowo skonfigurowane i nastawione. Podsumowując chodzi o sprawdzenie obwodów pierwotnych, wtórnych i zabezpieczeń.

Zabezpieczenia w szczególności zabezpieczenia odległościowe i ziemnozwarciowe które w czasie badań pomontażowych podlegają takim zabiegom jak konfiguracja, nastawienie parametrów nastawczych zgodnie danymi obliczonymi przez odpowiednie służby i ich sprawdzenie oraz wykonanie kompleksowych prób funkcjonalnych.

Kiedy wszystkie badania pomontażowe i rozruchowe są wykonane dla całego obiektu zazwyczaj zostaje on zgłoszony do odbioru technicznego. Wówczas zaczyna działalność Komisja Odbioru Obiektu powołana przez inwestora, która ma za zadanie dokonać odbioru wszystkich prac związanych z budową, montażem, badaniami pomontażowymi i rozruchowymi, dokonać oceny czy obiekt został wykonany zgodnie z warunkami umowy i zgodnie z obowiązującymi przepisami i przekazać do uruchomienia. Uruchomienia zgodnie z wcześniej opracowanym Programem Uruchomienia Obiektu w uzgodnieniu ze służbami ruchowymi, zabezpieczeń i eksploatacji obiektu dokonuje Komisja Uruchomienia Obiektu przy współudziale wykonawców. W tym programie oprócz wszelkich prób poprawności działania poszczególnych urządzeń, prób napięciowych i prądowych i wielu innych prób jest również próba sprawdzenia kierunkowości zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych. Próba ta niejednokrotnie staje się dużym problemem dla służb dyspozytorskich, które zmuszone są do skomplikowanych przełączeń w systemie elektroenergetycznym i mimo to wielokrotnie nie jest w stanie spełnić wymagań dostawców zabezpieczeń w celu określenia kierunkowości zabezpieczeń. Zazwyczaj te wymagania wynoszą od 10 do 20% prądu znamionowego zabezpieczenia.

2.1. Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczeń odległościowych.

Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczeń odległościowych w trakcie obciążenia polega na sprawdzeniu, czy zabezpieczenie odległościowe widzi prawidłowy kierunek przepływu mocy zgodny z rzeczywistym. W różnych zabezpieczeniach wymagany minimalny poziom prądu, przy którym można już określić kierunek, waha się w granicach od 10 do 20% I_n . W nowoczesnych terminalach cyfrowych kierunek pokazany jest bezpośrednio na wyświetlaczu zabezpieczenia, natomiast w starszych typach zabezpieczeń odległościowych elektromechanicznych lub późniejszych statycznych należało wybrać odpowiednią kombinację prądów i napięć, wprowadzić do zabezpieczenia. Dodatkowo często należało zmienić nastawy na bardziej czułe. Do tego należy dodać, że często do tego punktu programu uruchomienia dochodziło po wielu godzinach oczekiwania, niejednokrotnie odbywało się to w późnych godzinach nocnych, co przy konieczności dokonywania przełączeń w obwodach prądowych czy napięciowych w szafce kablowej stwarzało dodatkowe komplikacje.

2.2. Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczeń ziemnozwarciowych jest znacznie bardziej skomplikowane niż zabezpieczeń odległościowych ponieważ w normalnych warunkach pracy przy trójfazowym symetrycznym przesyle mocy na wyjściu filtrów składowych zerowych prądu (zazwyczaj układ Holmgreen'a) i napięcia (otwarty trójkąt) brak sygnałów. Dlatego aby wymusić odpowiednią składową zerową prądu należało dokonać przełączeń w obwodach wtórnych prądowych wybierając odpowiedni prąd w zależności od przesylu mocy, a składową zerową napięcia uzyskiwało się poprzez eliminowanie jednego lub dwóch napięć z „otwartego trójkąta”. Tutaj należy zaznaczyć, że te zmiany w obwodach wtórnych prądowych i napięciowych najczęściej były możliwe

do wykonania w szafce kablowej, która znajdowała się w polu co przy złych warunkach pogodowych było dużym utrudnieniem.

Ogólnie sprawdzanie kierunkowości zabezpieczenia ziemnozwarciowego polega na podaniu prądu i napięcia na człon kierunkowy o przesunięciu fazowym odpowiadającym przesunięciu między napięciem i prądem kolejności zerowej przy zwarceniu z ziemią. Instrukcja sprawdzania mówi aby podać na człon kierunkowy jedną z trzech niżej podanych kombinacji prądów i napięć:

- I. prąd: I_R lub $I_R + I_S$ napięcie $U_{ST} \Delta$
- II. prąd: I_S lub $I_S + I_T$ napięcie $U_{TR} \Delta$
- III. prąd: I_T lub $I_T + I_R$ napięcie $U_{SR} \Delta$

Dla uniknięcia pomyłek przy łączeniu przewodów w otwartym trójkącie, należy wybrać takie napięcie, którym można zasilić człon kierunkowy przez przełączenie tylko jednego przewodu w otwartym trójkącie.

3. Innowacyjna metoda sprawdzania kierunkowości zabezpieczeń

Biorąc pod uwagę wszystkie dotychczasowe niedogodności związane ze sprawdzaniem kierunkowości zabezpieczeń w trakcie prób uruchomieniowych po podaniu napięcia i obciążeniu szukano sposobu na wykonanie tego sprawdzenia w trakcie badań pomontażowych i tak powstała metoda opisana poniżej.

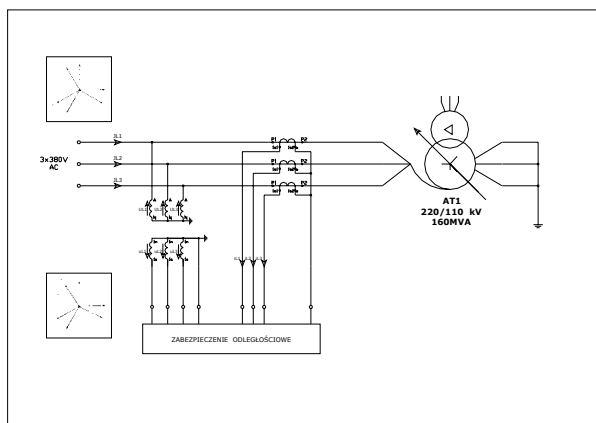
Nowa metoda składa się zasadniczo z dwóch etapów ale jest jeszcze etap trzeci, przeznaczony bardziej dla osób odbierających, którego celem jest potwierdzenie poprawności wykonanych sprawdzeń w trakcie 1 i 2 etapu już podczas pierwszego, nawet bardzo małego rzędu od ok. 3% obciążenia.

Opisana poniżej metoda została przetestowana w szerokim zakresie na nowobudowanej stacji 220/110/20 kV Biskupice na zabezpieczeniach firmy SIEMENS odległościowych typu 7SA522 na linii 220 kV i 7SA512 na autotransformatorze 220/110 kV po stronie 220 kV oraz ziemnozwarciowych typu 7SJ621 na linii 220 kV i 7SJ612 na autotransformatorze 220/110 kV po stronie 220 kV oraz na zabezpieczeniach firmy ABB odległościowych typu REL670 oraz ziemnozwarciowych typu REF543 na liniach 110 kV LG-1 i LG-2. Ponadto metodę tę sprawdzono na czynnej ruchowo od wielu lat stacji 220/110 kV Klecina na zabezpieczeniu odległościowym firmy BBC typu LH1wc w polu 110 kV autotransformatora 220/ 110 kV ATR2 .

3.1. Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczenia odległościowego

Etap 1 to sprawdzenie poprawności podłączenia obwodów prądowych i napięciowych do zabezpieczenia przy założeniu, że wszystkie badania pomontażowe przekładników, obwodów i zabezpieczeń zostały wykonane z wynikiem pozytywnym.

W tej części metody zasila się obwody pierwotne napięciem $3 \times 0,4$ kV przed przekładnikami napięciowymi a obciążenie stanowi zwarty po stronie napięcia 110 kV autotransformator 220/110 kV o mocy 160 MVA. Ponieważ autotransformator znajdował się na końcu linii a zasilanie było od strony linii w kierunku autotransformatora to przepływ mocy był od linii do autotransformatora czyli taki jak przy przesyle od linii do szyn. W tym przypadku zabezpieczenie odległościowe powinno przy takim kierunku wskazywać kierunek „do tyłu”. Układ do sprawdzania zabezpieczenia odległościowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1 Układ zasilania obwodów pierwotnych do sprawdzania kierunkowości zabezpieczenia odległościowego.

Dla przykładu kiedy zasilane było pole linii 220 kV od strony przekładników napięciowych napięciem 3 x 0,4 kV to w obwodach napięciowych wtórnych pojawiło się napięcie fazowe ok. 100 mV a obciążeniem był autotransformator 220/110 kV o mocy 160 MVA zwarty po stronie 110 kV co dało obciążenie prądowe ok. 7 A w obwodach pierwotnych i ok. 12 mA w obwodach wtórnych. Następnie po podłączeniu specjalnego prototypu przyrządu typu ANOT-10x. zdjęto wykres wektorowy prądów i napięć na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1 a wykres wektorowy na rys.2. Wyniki pomiarów na zaciskach zabezpieczenia odległościowego przedstawiono w tabeli 2 a wykres wektorowy napięć i prądów przedstawiono na rys.3.

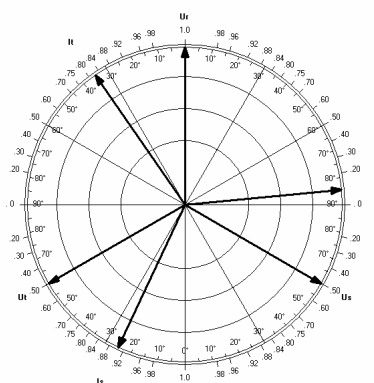
Pomiar na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV

Wskazania mierników:

Tabela 1

Woltomierz				Amperomierz			
U	V	K	cos[K]	I	A	K	cos[K]
R-0	225,10	0,0	1,000	R	6,85	84,4	0,097
S-0	224,51	119,1	-0,485	S	6,90	205,0	-0,9066
T-0	224,95	240,3	-0,492	T	6,88	325,3	0,822

Wykres wektorowy:



Rys. 2 Wykres wektorowy prądów i napięć na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV

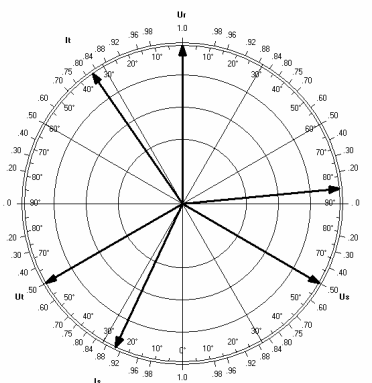
Pomiar na zaciskach zabezpieczenia odległościowego typu 7SA522 w polu Linii 220kV.

Wskazania mierników

Tabela 2

Woltomierz				Amperomierz			
U	V	K	cos[K]	I	A	K	cos[K]
R-0	0,102	0,0	1,007	R	0,011	83,1	0,121
S-0	0,102	119,2	-0,482	S	0,011	203,5	-0,917
T-0	0,102	240,5	-0,495	T	0,011	323,5	0,804

Wykres wektorowy:



Rys. 3 Wykres wektorowy prądów i napięć na zaciskach zabezpieczenia odległościowego typu na linii 220 kV Klecina.

Porównując wykresy wektorowe prądów i napięć po stronie pierwotnej linii 220 kV z wykresem wektorowym prądów i napięć na zaciskach zabezpieczenia odległościowego nie trudno zauważyć ich porównywalność. Minimalne różnice katowe wynikają częściowo z uchybów przekładników i były zależne od poziomu prądu i napięcia tj. im wyższy poziom prądu i napięcia tym mniejszy uchyb a częściowo z uchybu przyrządu ANOT-10x. Należy w tym miejscu dodać, że przy pomiarze wykresu wektorowego prądów i napięć na zaciskach zabezpieczenia odległościowego była również dodatkowo sprawdzana przekładnia przekładników napięciowych i prądowych oraz identyfikacja faz poprzez wyłączenie kolejno wszystkich faz na zasilaniu.

Wniosek końcowy z tych badań. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz wcześniejszych badań pomontażowych dotyczących przekładników i obwodów prądowych i napięciowych można jednoznacznie stwierdzić, że obwody prądowe i napięciowe wraz z przekładnikami przyłączone do zabezpieczenia są zgodne z projektem technicznym i nadają się do eksploatacji.

Na podstawie tych badań nie można jednak stwierdzić, że samo zabezpieczenie odległościowe jest prawidłowo skonfigurowane i nastawione dlatego konieczne było opracowanie kolejnego etapu badań (etap 2), który by tę lukę uzupełnił.

Etap 2 to sprawdzenie prawidłowej konfiguracji oraz poprawnego nastawienia zabezpieczenia odległościowego przy założeniu, że wcześniej zostały wykonane badania pomontażowe zabezpieczenia czyli sprawdzono poprawną konfigurację zabezpieczenia oraz nastawiono go zgodnie z danymi podanymi przez odpowiednie służby. Etap 2 jest kontynuacją etapu 1, w którym sprawdzaliśmy układ zabezpieczenia począwszy od obwodów pierwotnych do zacisków zabezpieczenia. Etap 2 polega na sprawdzeniu części

układu zabezpieczenia odległościowego od jego zacisków poprzez zabezpieczenie do obwodów zewnętrznych takich jak obwody sterowania, sygnalizacji, rejestracji, systemu sterowania i nadzoru (SSN) itp. Praktycznie to polega na podłączeniu testera do sprawdzania zabezpieczeń do jego zacisków i wygenerowaniu takich prądów i napięć, które spowodują uzyskanie na podłączonym do tych samych zacisków przyrządzie ANOT-10x identycznego wykresu wektorowego jaki uzyskaliśmy podczas zasilania obwodów pierwotnych napięciem $3 \times 0,4$ kV czyli w tym wypadku takim jak przedstawiony na rysunku 3. Taki stan jest punktem wyjściowym do badań w etapie 2, który pozwala teraz na sprawdzenie zabezpieczenia odległościowego w pełnym zakresie. Pierwszym sprawdzeniem w tych warunkach było ustawienie napięć do poziomu znamionowych i podnoszenie prądów trójfazowo do momentu jednoznacznego określenia kierunku przez zabezpieczenie. Dla tego konkretnego przypadku tj. dla zabezpieczenia firmy SIEMENS typu 7SA522 poziom prądu przy którym zabezpieczenie rozróżniało kierunek wynosił ok. 15%. Dla porównania dla zabezpieczeń firmy ABB typu REL670, które były zainstalowane na liniach 110 kV LG-1 i LG-2 poziom prądu przy którym zabezpieczenie rozróżniało kierunek wynosił ok. 20%. W tym momencie praktycznie można powiedzieć, że kierunkowość zabezpieczenia odległościowego została sprawdzona. Jednak byłoby grzechem nie wykorzystać możliwości jakie daje ta sytuacja. Mamy podłączony tester, na którym kierunek przepływu mocy jest jednoznacznie określony w stosunku do strony pierwotnej co pozwala na wykonanie wielu prób pobudzenia zabezpieczenia dla różnych zwarć i stref z działaniem na wyłączenie oraz pobudzenie automatyki SPZ.

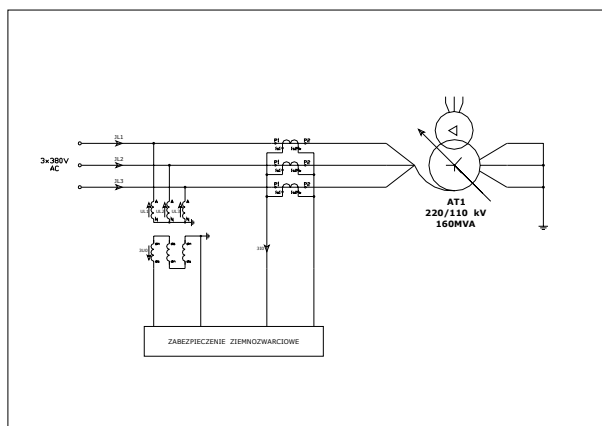
Na podstawie przeprowadzonych badań w etapie 2 oraz 1 można jednoznacznie stwierdzić, że zabezpieczenie odległościowe, które było przedmiotem badań nadaje się do eksploatacji.

Ze względu jednak na fakt, że komisja uruchomieniowa obiektu, zgodnie z opracowanym i uzgodnionym programem uruchomienia wykonuje szereg prób potwierdzających gotowość obiektu do eksploatacji opracowano jeszcze etap 3 sprawdzania kierunkowości zabezpieczenia odległościowego polegający na podłączeniu przyrządu ANOT-10x do zacisków zabezpieczenia podczas obciążenia i zdjęciu wykresu wektorowego, który zostanie wygenerowany nawet przy bardzo małym obciążeniu rzędu od ok.3% co pozwoli na zweryfikowanie poprawności kierunkowości zabezpieczenia odległościowego.

3.2. Sprawdzenie kierunkowości zabezpieczenia ziemnozwarciowego

Etap 1 to sprawdzenie poprawności skonfigurowania filtrów składowej zerowej prądu i napięcia oraz podłączenia tych obwodów do zabezpieczenia przy założeniu, że wszystkie badania pomontażowe przekładników, obwodów i zabezpieczeń zostały wykonane z wynikiem pozytywnym.

W tej części metody, podobnie jak dla zabezpieczeń odległościowych, zasila się obwody pierwotne napięciem $3 \times 0,4$ kV przed przekładnikami napięciowymi a obciążenie stanowi zwarty po stronie napięcia 110 kV autotransformator 220/110 kV o mocy 160 MVA. Po załączeniu zasilania w obwodach napięciowych wtórnych pojawiło się napięcie fazowe ok. 100 mV a obciążenie prądowe po stronie pierwotnej wynosiło ok. 7 A co dało w obwodach wtórnych prąd na fazę ok. 12 mA. Układ do sprawdzania zabezpieczenia ziemnozwarciowego przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4 Układ zasilania obwodów pierwotnych do sprawdzania kierunkowości zabezpieczenia ziemnozwarciowego.

Ponieważ dla układu trójfazowego symetrycznego na wyjściach filtrów składowej zerowej prądu i napięcia mamy wielkości zbliżone do zera to w celu wymuszenia składowej zerowej prądu i napięcia wyłączano kolejno fazy na zasilaniu, co pozwoliło sprawdzić poprawność konfiguracji filtrów składowej zerowej i wymusić w badanych obwodach składowe zerowe prądu i napięcia. W przykładzie, który jest tu przedstawiony wyłączono na zasilaniu fazę L2, ponieważ faza L1 jest uprzywilejowana w specjalnym prototypie przyrządu typu ANOT-10x. W tym przypadku na wyjściu filtra składowej zerowej napięcia pojawiło się napięcie $-U_S$ a na wyjściu filtra składowej zerowej prądu pojawił się prąd $-I_S$. W tym przypadku zabezpieczenie ziemnozwarciowe pokazało kierunek „do przodu”. Następnie zdjęto wykres wektorowy prądów i napięć na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3 a wykres wektorowy na rys.5. Wyniki pomiarów na zaciskach zabezpieczenia ziemnozwarciowego przedstawiono w tabeli 4 a wykres wektorowy napięć i prądów przedstawiono na rys.6.

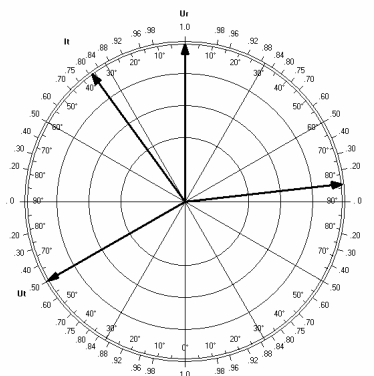
Pomiar na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV

Wskazania mierników:

Tabela 3

Woltomierz				Amperomierz			
U	V	K	cos[K]	I	A	K	cos[K]
R-0	225,25	0,0	1,000	R	6,86	83,6	0,111
S-0	0,00	-	-	S	0,00	-	-0
T-0	225,15	240,1	-0,498	T	6,90	323,9	0,822

Wykres wektorowy:



Rys. 5 Wykres wektorowy prądów i napięć na zasilaniu od strony pierwotnej przekładników napięciowych 220 kV

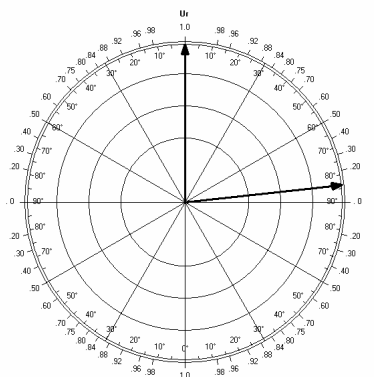
Pomiar na zaciskach zabezpieczenia ziemnozwarciowego typu 7SJ621 w polu Linii 220kV

Wskazania mierników

Tabela 4

Woltomierz				Amperomierz			
U	V	K	cos[K]	I	A	K	cos[K]
R-0	0,102	0,0	1,007	R	0,011	83,1	0,121
S-0	-	-	-	S	-	-	-
T-0	-	-	-	T	-	-	-

Wykres wektorowy:



Rys. 6 Wykres wektorowy prądów i napięć na zaciskach zabezpieczenia ziemnozwarciowego na linii 220 kV

Porównując wykresy wektorowe prądów i napięć po stronie pierwotnej linii 220 kV z wykresem wektorowym prądów i napięć na zaciskach zabezpieczenia ziemnozwarciowego nie trudno zauważyć, że po zsumowaniu prądów i napięć w filtrach składowych zerowych na ich wyjściu pojawią się odpowiednio $-U_S$ oraz $-I_S$ a kąt pomiędzy nimi pozostaje taki jaki jest pomiędzy napięciem a prądem fazowym po stronie pierwotnej tj. ok. -90°

Wniosek końcowy z tych badań. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz wcześniejszych badań pomontażowych dotyczących przekładników i obwodów prądowych i napięciowych można jednoznacznie stwierdzić, że obwody prądowe

i napięciowe wraz z przekładnikami przyłączone do zabezpieczenia są zgodne z projektem technicznym i nadają się do eksploatacji.

Na podstawie tych badań nie można jednak stwierdzić, że samo zabezpieczenie ziemnozwarciowe jest prawidłowo skonfigurowane i nastawione, dlatego konieczne było opracowanie również kolejnego etapu badań (etap 2), który by tę lukę uzupełnił.

Etap 2 to sprawdzenie prawidłowej konfiguracji oraz poprawnego nastawienia zabezpieczenia ziemnozwarciowego przy założeniu, że wcześniej zostały wykonane badania pomontażowe zabezpieczenia czyli sprawdzono poprawną konfigurację zabezpieczenia oraz nastawiono go zgodnie z danymi podanymi przez odpowiednie służby. Etap 2 jest kontynuacją etapu 1, w którym sprawdzaliśmy układ zabezpieczenia począwszy od obwodów pierwotnych do zacisków zabezpieczenia. Etap 2 polega na sprawdzeniu części układu zabezpieczenia ziemnozwarciowego od jego zacisków poprzez zabezpieczenie do obwodów zewnętrznych takich jak obwody sterowania, sygnalizacji, rejestracji, systemu sterowania i nadzoru (SSN) itp. Praktycznie to polega na podłączeniu testera do sprawdzania zabezpieczeń do jego zacisków i wygenerowaniu takiego prądu i napięcia składowej zerowej, które spowodują uzyskanie na podłączonym do tych samych zacisków przyrządzie ANOT-10x identycznego wykresu wektorowego jaki uzyskaliśmy podczas zasilania obwodów pierwotnych napięciem 3 x 0,4 kV czyli w tym wypadku takim jak przedstawiony na rysunku 6. Taki stan jest punktem wyjściowym do badań w etapie 2, który pozwala teraz na sprawdzenie zabezpieczenia ziemnozwarciowego w pełnym zakresie. Pierwszym sprawdzeniem w tych warunkach było ustawienie napięcia do poziomu maksymalnego napięcia U_0 i podnoszenie prądu I_0 do momentu jednoznacznego określenia kierunku przez zabezpieczenie. Dla tego konkretnego przypadku tj. dla zabezpieczenia firmy SIEMENS typu 7SJ621 poziom prądu przy którym zabezpieczenie rozróżniało kierunek wynosił ok. 15%. W tym momencie praktycznie można powiedzieć, że kierunkowość zabezpieczenia ziemnozwarciowego została sprawdzona. Jednak byłoby grzechem nie wykorzystać możliwości jakie daje ta sytuacja. Mamy podłączony tester, na którym kierunek przepływu mocy jest jednoznacznie określony w stosunku do strony pierwotnej co pozwala na wykonanie wielu prób pobudzenia zabezpieczenia dla różnych zwarć z działaniem na wyłączenie oraz pobudzenie automatyki SPZ.

Na podstawie przeprowadzonych badań w etapie 2 oraz 1 można jednoznacznie stwierdzić, że zabezpieczenie ziemnozwarciowe, które było przedmiotem badań nadaje się do eksploatacji.

Ze względu jednak na fakt, że komisja uruchomieniowa obiektu, zgodnie z opracowanym i uzgodnionym programem uruchomienia wykonuje szereg prób potwierdzających gotowość obiektu do eksploatacji opracowano jeszcze etap 3 sprawdzania kierunkowości zabezpieczenia ziemnozwarciowego polegający na podłączeniu przyrządu ANOT-10x do zacisków zabezpieczenia podczas obciążenia, dokonania odpowiednich przełączeń w obwodach prądowych i napięciowych np. wyeliminowaniu prądu i napięcia w fazie L2 i zdjęciu wykresu wektorowego, który zostanie wygenerowany nawet przy bardzo małym obciążeniu rzędu od ok. 3%.

Podsumowanie

Wdrażając tę metodę do procesu uruchamiania nowego lub modernizowanego obiektu można uniknąć kłopotliwego często problemu jakim jest spełnienie wymagań jakie stawiane są przez producentów zabezpieczeń do sprawdzenia kierunkowości. Służby dyspozytorskich dążące do ich spełnienia, muszą częstokroć dokonywać skomplikowanych przełączeń w systemie elektroenergetycznym zagrażających pewności zasilania, co w gospodarce wolnorynkowej ma szczególne znaczenie biorąc pod uwagę umowy na niezawodność zasilania. Nowoczesny system elektroenergetyczny, a takim bez wątplenia staje się KSE, to w szczególności nowoczesna EAZ obejmująca swym zasięgiem wszystkie elementy systemu elektroenergetycznego, działająca szybko i selektywnie również dla nowych obiektów od momentu ich podłączenia. Dlatego przygotowanie nowego obiektu do eksploatacji jeszcze przed podaniem napięcia czyli przed włączeniem do KSE jest z punktu widzenia niezawodności jego pracy bardzo ważne.