

Mgr inż. Krystyna Przedmojska
Dr inż. Zygmunt Kuran
Mgr inż. Sławomir Skrodzki

Wpływ zakłóceń w obwodach wtórnych stacji elektroenergetycznych na działanie EAZ

1. Wstęp

Zespół autorski reprezentuje wieloletnie doświadczenia Instytutu Energetyki i Centralnego Okręgu Energetycznego przedmiot referatu został przedstawiony z punktu widzenia obu instytucji.

Obserwując obwody napięcia pomocniczego z pozycji Instytutu Energetyki możemy stwierdzić, że są to najważniejsze obwody w obiektach energetycznych. Mamy wrażenie, że zbyt mało uwagi poświęca się tym obwodom, pomimo że występujące z nimi kłopoty były zawsze największe. Żeby nie być gołosłownym nie mieliśmy nigdy okazji do wykonania pomiarów oscylograficznych w tych obwodach jak również nigdy nie opiniowaliśmy żadnego projektu. Obwody te znamy tylko przez pryzmat uszkodzeń przekładników i zakłóceń w działaniu zabezpieczeń. Możemy śmiało stwierdzić, że zakłócenia w obwodach wtórnych i w obwodach napięcia pomocniczego można sklasyfikować jako główny powód utrudniający wdrażanie zabezpieczeń analogowych i cyfrowych. Problemy te praktycznie nie istniały w okresie stosowania zabezpieczeń elektromechanicznych.

Sieć napięcia pomocniczego jest zakłócana przez oddziaływanie pola elektrycznego i magnetycznego pochodzącego zarówno z obwodów pierwotnych jak również i wtórnych. Odrębnym choć bardzo rzadkim źródłem zakłóceń są wyładowania atmosferyczne. Zakłócenia pochodzące od obwodów pierwotnych mają zdecydowanie mniejsze znaczenie od zakłóceń pochodzących od obwodów wtórnych. Przyczyną dużej uciążliwości zakłóceń w obwodach napięcia pomocniczego jest to, że normy przekładnikowe dotyczące kompatybilności nie stawiają wymagań co do poziomu emisji zakłóceń elektromagnetycznych przez urządzenia elektroenergetyczne. Obowiązujące normy: PN-92/E-88608, PN-92/E-88609, PN-92/E-88610, PN-IEC 255-11, PN-IEC 255-22-4 zawierają tylko wytyczne odnośnie badania odporności zabezpieczeń na zakłócenia. To powoduje, że walka z zakłóceniami polega tylko na zwiększaniu odporności urządzeń na zakłócenia.

2. Obszar występowania zakłóceń

Obwody zakłócanie:

- Napięcie pomocnicze zasilające przekładniki,
- Obwody sterowania dwustanowego,
- Obwody pomiarowe prądowe i napięciowe

Źródła zakłóceń

- Załączanie napięcia na długi obwód sterowniczy,
- Przerwanie prądu w długim obwodzie sterowniczym,
- Przerwanie prądu w obwodach zawierających indukcyjność,
- Nieprawidłowa praca urządzenia ładującego baterię akumulatorów,
- Zasilanie urządzeń tylko z zasilacza z odłączoną baterią akumulatorów,
- Krótkotrwałe zaniki napięcia pomocniczego,
- Przelączenia w obwodach napięcia pomocniczego,

- Doziemienia w obwodach napięcia pomocniczego,
- Zwarcie sieci 220V AC z siecią napięcia pomocniczego,
- Wyładowanie atmosferyczne,
- Praca silników komutatorowych.

Drogi rozchodzenia się zakłóceń

- Sprzężenie pojemnościowe pomiędzy żyłami kabli sterowniczych,
- Sprzężenia pomiędzy obwodami magnetycznymi i prądowymi,
- Fale elektromagnetyczne pochodzące od obwodów wtórnych,
- Fale elektromagnetyczne pochodzące od procesów łączeniowych w obwodach pierwotnych i od wyładowań atmosferycznych.

3. Zakłócenia amplitudy napięcia pomocniczego

Według obowiązujących norm wartość napięcia pomocniczego dla zapewnienia poprawnej pracy urządzeń automatyki zabezpieczeniowej powinna wynosić od $0,8U_n$ do $1,1U_n$. W praktyce są jednak bardzo poważne problemy z dotrzymaniem wymaganego poziomu napięcia. Dla zapewnienia pełnego naładowania baterii poziom napięcia w normalnych warunkach utrzymywany jest bardzo często na poziomie bliskim górnej dopuszczalnej granicy. Wtedy najmniejsze przepięcie powoduje przekroczenie napięcia dopuszczalnego. Szczególnie duże przepięcia powstają przy przełączeniach i SZR-ach. Często występującym zakłóceniem w obwodach napięcia pomocniczego jest odłączenie się zasilacza od baterii. Aparatura jest zasilana wtedy wprost z zasilacza. W zasilaczach starego typu powstają wtedy, szczególnie przy małym obciążeniu, przepięcia przekraczające znacznie wartość 300V. Występują również przepięcia powodowane zasilaniem zabezpieczeń z prowizorycznych zasilaczy zbudowanych z autotransformatora, np. 250V i prostownika, przepięcie może osiągnąć wtedy 350V. Z doświadczenia wiemy, że zasilacze, które pracują poprawnie przy napięciu 450V nie uszkodzają się. Przepięcia i wysoki poziom napięcia były przyczyną wielu uszkodzeń zasilaczy. Uszkodzenia te można podzielić na dwie grupy:

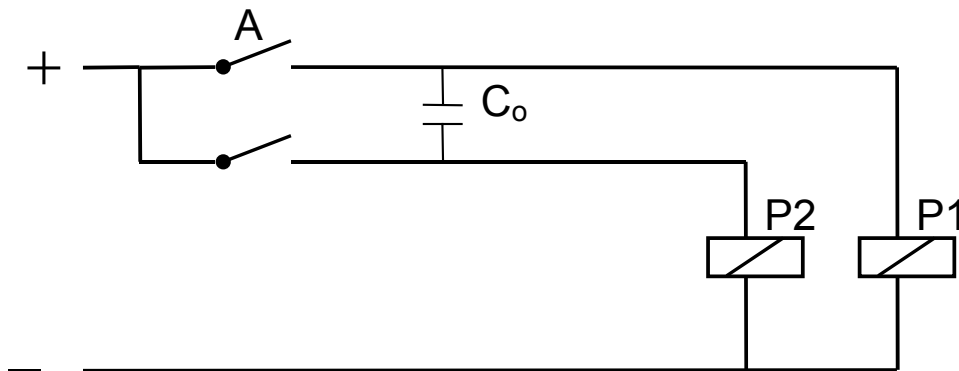
- Uszkodzenia cieplne spowodowane obniżeniem sprawności zasilaczy przy podwyższonym trwale poziomie napięcia. Uszkodzenia te dotyczą tylko zasilaczy starego typu, w których sprawność energetyczna pogarszała się ze wzrostem napięcia.
- Napięciowe uszkodzenie przetwornic w wyniku nadmiernego wzrostu napięcia. Sytuację pogarszają prostowniki znajdujące się na wejściach zasilaczy, które powodują, że kondensatory wejściowe ładują się do szczytowej wartości przepięcia. Najczęściej uszkodzają się tranzystory przetwornicy lub eksplodują kondensatory wejściowe, a brak kondensatorów powoduje również uszkodzenie przetwornic. Nowoczesne zasilacze budowane są na napięcia zmienne co powoduje, że w sieci 220VDC mają duży zapas napięciowy.

Odrębną grupę zakłóceń stanowią zaniki napięcia powodowane na przykład wykręcaniem i wkręcaniem bezpiecznika. Bardzo często jest to powodem błędnego działania niektórych zabezpieczeń. Trzeba tu zaznaczyć, że zgodnie z wymaganiami normy zabezpieczenia powinny być uodpornione na takie zakłócenia. W ramach badań dopuszczających sprzęt zabezpieczeniowy do stosowania w energetyce wykonywanych w Instytucie Energetyki badania takie są wykonywane.

4. Zakłócenia powstające przy przekazywaniu sygnałów dwustanowych

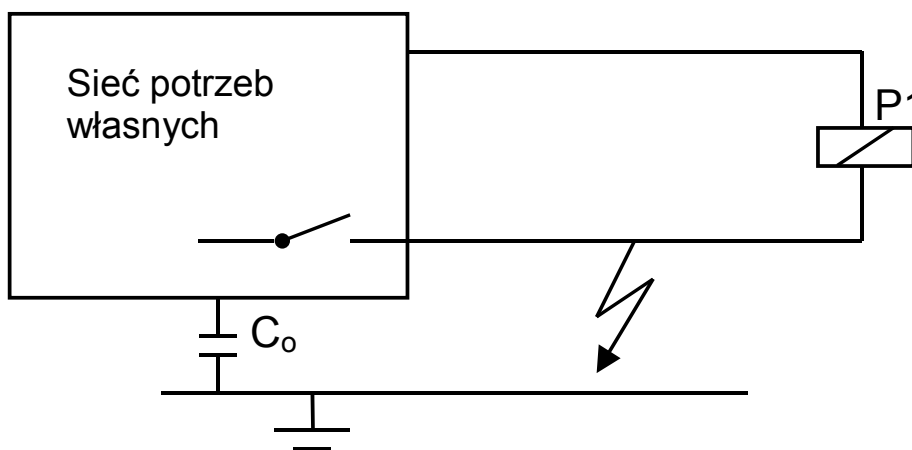
Zakłócenia powstające przy przekazywaniu sygnałów dwustanowych należą do najczęstszych zakłóceń. Mechanizm powstawania zakłóceń przedstawiony jest na rysunku 1,

na którym zestyk A steruje przekaźnikiem P1. Poprzez sprzężenie pojemnościowe C_o napięcie podawane zestykiem A może spowodować zadziałanie przekaźnika P2.



Rys1. Zakłócanie przekaźnika P2 przy załączaniu przekaźnika P1

Jeszcze większe prawdopodobieństwo błędnego zadziałania przekaźnika P2 występuje przy otwieraniu zestyku A, wtedy powstające przepięcie, znacznie większe od napięcia znamionowego i o znaku przeciwnym do napięcia zasilania, ma dużo większe możliwości oddziaływania na przekaźnik P2. Mechanizm ten będzie funkcjonował podobnie jeśli w sąsiedztwie przewodu sterującego przekaźnikiem będzie znajdował się przewód podłączony do napięcia przemiennego. Opisane zakłócenia są groźne przy kablach sterowniczych o długości liczonej w setkach metrów. Znacznie większe zagrożenie zbędnego działania przekaźnika P1 jest sytuacja przedstawiona na rys.2, na którym zakłócenie polega na zwarciu do ziemi przewodu sterującego przekaźnikiem. Wtedy prąd zmieniający potencjał całej sieci względem ziemi popłynie przez przekaźnik powodując jego działanie.



Rys.1 Zakłócenie przekaźnika P1 przy doziemieniu

Widzimy tutaj, że główna zaleta sieci izolowanej polegająca na możliwości jej pracy ze zwarciami doziemnymi jest w tym wypadku tylko teorią. . Jeśli natomiast chodzi o oddziaływanie obwodów pierwotnych na przekazywanie sygnałów dwustanowych, to naszym zdaniem oddziaływanie to jest pomijalne.

Zapobieganie poprzez zmianę układu

Jakie są sposoby zwalczania tych zjawisk? Jeśli chodzi o wymienione zakłócenia, to podnoszenie poziomu napięcia nic nie pomaga, a raczej przeszkadza bo energia pola

elektrycznego rośnie z kwadratem napięcia. Skutecznym sposobem było by ekranowanie każdej pary żył kabla sterowniczego lub przynajmniej stosowanie skrętek. Skuteczne jest również nie wprowadzanie do jednego kabla sterowniczego zakłócających się napięć.

Zwiększanie odporności układów dwustanowych na zakłócenia można uzyskiwać poprzez:

- Zmniejszanie rozległości sieci napięcia stałego, okazuje się bowiem, że w bardzo dużych sieciach korzyści wynikające z faktu izolowania sieci zmniejszają się, gdyż sieć w dużym stopniu zachowuje się tak jak sieć uziemiona.
- Sterowanie odbiorników dwubitowo, plusem i minusem. Takie sterowanie zapobiega zbędnym działaniom przy doziemieniu jednego przewodu,
- Sterowanie odbiornika stykiem przełączanym, tak że w stanie nie wysterowanym odbiornik jest zwarty stykiem biernym. Obie metody zwiększają również odporność obwodu na sprzężenia pojemnościowe.

Jeśli szukać argumentów uzasadniających powszechne stosowanie napięcia 220V DC to naszym zdaniem napięcie to daje pewność działania styków czynnych i biernych przekaźników bez względu na stan ich zabrudzenia oraz umożliwia sterowania odbiornikami dużej mocy na znaczne odległości. Napięcie 220V przez to, że jest stosunkowo wysokie nie uodparnia obwodów na zakłócenia

Zapobieganie poprzez zwiększenie odporności

Są dwa proste sposoby zapobiegania błędnym działaniom układów dwustanowych, pierwszy polega na zwiększaniu mocy niezbędnej do zadziałania układu wejściowego, drugi na wydłużaniu czasu zadziałania. Niezależnie, który sposób zostanie zastosowany, to wynik końcowy jest taki: do zadziałania układu dwustanowego powinna być dostarczona określona porcja energii. W artykule W. Bekasiaka opisana jest dokładnie wartości rezystorów jakie okazały się niezbędne do uspokojenia obwodów sterujących w Elektrowni Bełchatów. Metoda wprowadzania dodatkowych rezystorów stosunkowo dużej mocy, ok. 10W, zwiększających moc odbiorników, nie opóźnia działania układów, ale powoduje wydzielanie się znacznych ilości ciepła. Rezystory muszą być montowane najlepiej w przestrzeni otwartej, np. na listwie zaciskowej. Włożenie takich rezystorów w moduły zabezpieczeń spowoduje bardzo szybkie przegrzanie tych modułów. Dlatego w opracowaniach Instytutu Energetyki stosowaliśmy metodę polegającą na zwiększaniu mocy tylko do 1,5W oraz wydłużaniu czasu niezbędnego do zadziałania układu do 10ms. Taka metoda jest skuteczna przy przekazywaniu sygnałów na odległość do jednego kilometra. Przy większych odległościach konieczne jest dalsze zwiększanie mocy lub wydłużanie czasu.

5. Zakłócenia układów elektronicznych

W układach elektronicznych powszechnie stosowana jest zasada odizolowywania układu elektroniki od wszystkich obwodów zewnętrznych. Pomimo to zakłócenia elektromagnetyczne przedostają się do układów powodując ich błędne działanie.

Aby zrozumieć rozchodzenie się zakłóceń musimy odnaleźć źródła zakłóceń oraz anteny nadawcze i anteny odbiorcze. Źródłami zakłóceń jest najczęściej: ładowanie kondensatorów poprzez załączenie napięcia, praca silników komutatorowych oraz głównym źródłem zakłóceń jest przerywanie prądu w obwodach zawierających indukcyjność. Tłumienie tych ostatnich zakłóceń w obwodach prądu stałego jest bardzo proste gdyż ogranicza się tylko do zblokowania indukcyjności diodą. Zakłócenia w obwodach pierwotnych nie wpływają w większym stopniu na zakłócanie pracy zabezpieczeń. Antenami nadawczymi są długie przewody sterownicze połączone galwanicznie ze źródłem zakłóceń. Antenami odbiorczymi są długie przewody sterownicze dołączone do zacisków aparatury

zabezpieczeniowej. Efektywność anten nadawczych i odbiorczych była by wielokrotnie zmniejszona gdyby zastosować najprostsze filtry tłumiące, np. takie jakie stosuje się w pralkach i odkurzacach. Wieloletnie doświadczenia wskazują, że zakłócenia wędrują w kierunku zabezpieczeń z większym natężeniem po przewodach, a z mniejszym w eterze. W praktyce podstawową metodą zwalczania nieprawidłowych działań jest budowa zabezpieczeń odpornych na zakłócenia.

6. Wpływ oddziaływań magnetycznych

Wpływ oddziaływań magnetycznych na działanie automatyki zabezpieczeniowej jest dostrzegalny głównie w sytuacjach jeśli w pobliżu obwodów silnoprządowych znajdują się pomiarowe obwody słaboprądowe. W praktyce występuje oddziaływanie obwodów prądowych przekładników głównych na słaboprądowe obwody przekładników typu Ferranti. Oddziaływanie to dotyczy zarówno obwodów magnetycznych jak również zwykłych torów prądowych. W wyniku takiego oddziaływania może dochodzić do nieprawidłowego działania przekładników od zwarć doziemnych. Sposobem zaradczym jest odpowiednie rozmieszczanie przekładników i przewodów oraz robienie skrętek z przewodów słaboprądowych. Cechą magnetycznych oddziaływań zakłóceniovych jest indukowanie się niewielkich napięć, na poziomie poniżej jednego V.

7. Wyładowania atmosferyczne, a obwody wtórne

Oddziaływanie wyładowań atmosferycznych na obwody wtórne jest nowym zjawiskiem, które nasiliło się razem z rozpowszechnieniem się transmisji radiowej, która wymaga połączenia urządzeń nadawczo odbiorczych z obwodami potrzeb własnych. Wszystkie środki zastosowane w celu uodpornienia obwodów wtórnych na wyładowania atmosferyczne będą korzystnie wpływały na ogólny poziom odporności na zakłócenia. Zwiększenie odporności sieci można uzyskać poprzez:

- Utrzymywanie w dobrym stanie siatek ekwipotencjalnych,
- Wszystkie przewody zewnętrzne narażone na wyładowania atmosferyczne, takie jak anteny i ich zasilanie, przed wprowadzeniem w kanały kablowe zawierające obwody potrzeb własnych powinny być ekranowane i dodatkowo muszą przechodzić przez filtry zbudowane z odpowiednio z odgromników i ograniczników przepięć.

8. Dążenie do niezawodności

Potrzeby własne są podstawowym elementem biorącym udział w uzyskiwaniu wysokiej niezawodności układów zabezpieczeniowych. Jest to szczególnie istotne w rozbudowanych układach zabezpieczeniowych, w skład których wchodzi kilka odizolowanych od siebie źródeł napięcia pomocniczego związanych z wyłącznikami, zabezpieczeniami lub urządzeniami łączności. Cały układ zabezpieczeniowy powinien być poddany wspólnym badaniom zgodnie z normami zabezpieczeniowymi. Na dużych obiektach energetycznych powinna być stosowana zasada redundancji, która może być bardzo łatwo popsuta przez nieprawidłowe rozwiązanie obwodów potrzeb własnych. Rozważnie należy korzystać z systemów przemiennego napięcia gwarantowanego, które na ogół mają kłopot z selektywnym przepalaniem bezpieczników.

9. Przykłady rzeczywistych zakłóceń w pracy EAZ

Poniżej przedstawiono „wzięte z życia” przykłady złego wpływu na urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ) zakłóceń, przenoszonych zarówno przewodami, jak i poprzez pojemności długich obwodów sterowniczych, a również poprzez indukcję, w podziale na kilka grup przypadków. Są to:

samoczynne zbędne wyłączenia elementów systemu elektroenergetycznego w wyniku:

1. zakłóceń elektrycznych (np. pików na napięciu zasilającym) wynoszonych przewodowo z urządzeń potrzeb własnych, źle dobranych do wymagań stacji,
2. doziemień w obwodach prądu stałego lub zwarcie między obwodami napięcia stałego i przemiennego oraz sprzężeń pojemnościowych między obwodami długich kabli sterowniczych [1],
3. zakłóceń indukowanych, w obwodach wtórnych stacji (po skutkach można sądzić, że nieodpornych na zakłócenia elektromagnetyczne): w efekcie odkręcania i dokręcania bezpiecznika lub podczas sterowania łącznikami; tu (wbrew poglądom niektórych elektryków) prąd silnika sterującego łącznikiem, płynący w pobliżu obwodów sterowniczych, jest silniejszym źródłem zakłóceń niż pierwotny prąd rozrywany przez łącznik,
4. zakłóceń elektrycznych przenoszonych przewodowo, a powodowanych nieświadomie przez personel, np. na styku urządzeń EAZ i łączności,
5. zbędnych działań urządzeń EAZ nieodstrojonych od znaczących wartości wyższych harmonicznych, które mogą pojawić się w napięciach i prądach pomiarowych,

oraz

6. uszkodzenia elementów EAZ, pomiarów, elementów systemu sterowania i nadzoru w nieodpowiednio zaprojektowanych lub nieodpowiednio wykonanych stacjach pod wpływem przepięć pojawiających się w obwodach wtórnych przy przepływie prądów zwarcia lub przy bliskich wyładowaniach atmosferycznych.

Grupy „1” do „4” dotyczą części samoczynnych zbędnych wyłączeń elementów systemu elektroenergetycznego, opisywanych w dziennikach prowadzonych przez służby dyspozytorskie jako „samoczynne wyłączenia bez działania zabezpieczeń”. Chodzi tu o takie samoczynne wyłączenia bez działania zabezpieczeń, dla których nie wykryto przyczyn lub towarzyszących zdarzeń mogących sugerować przyczynę, np. uszkodzenie EAZ lub mechaniczne drgania urządzenia (np. starsi energetycy pamiętają przypadek samoczynnego wyłączenia pola w rozdzielni z powodu drgania urządzeń przy przejeżdżającym w pobliżu traktorze, a gdzie indziej z powodu uderzenia obudowy urządzenia EAZ szczotką, która wypadła z rąk pracownika).

Jeżeli wystąpi samoczynne wyłączenie „bez działania zabezpieczeń”, to najczęściej można tylko podejrzewać, że winowajcą są zakłócenia elektromagnetyczne lub sprzężenia pojemnościowe, przy jednoczesnym braku odporności na te zjawiska układach i urządzeniach EAZ.

Wyjątkowo zdarza się, że „sprawca” jest łatwy do wykrycia, jak np. w br. (2000), kiedy to zbędne samoczynne wyłączenie wystąpiło podczas rozmowy przez telefon komórkowy (rzadko używanego typu) odbywającej się blisko urządzenia EAZ. Eksperyment powtórzono w przygotowanej do tego stacji. Efektem jest zakaz używania telefonów komórkowych w pomieszczeniach EAZ.

Grupę wyłączeń „5” umieszczono na końcu spisu przykładów z uwagi, że przyczyny wyłączeń w tej grupie mogą leżeć poza stacją (przyczyny zdarzeń z grup „1” do „4” leżą wewnątrz stacji).

Przykłady zakłóceń w zasadzie powinno się opisywać bez podawania ich miejsca. Bez zgody właściciela „nie uchodzi” podawać nazw stacji, w których zakłócenia wystąpiły. Jednak wydaje się, że można uznać za słuszne podawanie nazw takich stacji w dwóch przypadkach:

- gdy zakłócenie stało się powszechnie znane lub

- gdy przyczyny zakłócenia zostały usunięte i stacja jest już bezpieczna pod rozpatrywany względem.

Można nawet powiedzieć, że ww przypadkach istnieje obowiązek podawania nazwy obiektu, aby zainteresowani mogli uzyskać szczegółowe informacje o sposobach uwolnienia od źródeł zakłóceń.

Do zilustrowania ww punktów 1-4 mogą więc być użyte:

- Elektrownia Bełchatów,
- stacja 400/220 kV Rogowiec, wyprowadzająca moc z Elektrowni Bełchatów oraz
- stacja 400/220/110 kV Miłosna.

Jest charakterystyczne, że w wymienionych obiektach:

- zakłócenia ujawniały się najczęściej na łączach telezabezpieczeń SWT-400, przesyłających impulsy wyłączające,
- obwody 24 V DC z wewnętrznego zasilacza SWT były wyprowadzone do urządzeń EAZ odległych: w Elektrowni o 60 m na blokach parzystych (na blokach nieparzystych urządzenia SWT i EAZ stały obok siebie), w stacjach o 400-600 m (EAZ w kioskach); celem tego wyprowadzenia obwodów było przyspieszenie wysłania przez telezabezpieczenie wygenerowanego przez EAZ impulsu wyłączającego: zestyk w EAZ zwierniał wyprowadzony obwód, powodując wysłanie impulsu przez SWT, ale taki sam skutek powodowało napięcie pojawiające się przypadkiem na wyprowadzonym obwodzie.
- połączenia były przewodowe (gdy je kładziono, o światłowodach można było tylko marzyć).

Między każdym generatorem i transformatorem blokowym w Elektrowni Bełchatów, a wyłącznikiem w stacji Rogowiec na przeciwległym końcu linii blokowej o długości 5,5 km były czynne dwa kanały komunikacyjne, przenoszące ewentualne impulsy wyłączające od bloków w Elektrowni do ich wyłączników w stacji Rogowiec, a w odwrotnym kierunku impuls na odzwbudzenie generatorów:

E l e k t r o w n i a S t a c j a R o g o w i e c

ZA Z GTA i GTB ←→SWT ←→ kabel ←→SWT ←→obwody wyłączaj. i zab.linii blok.

ZA Z GTA i GTB ←→SWT ←→radiolinia←→SWT ←→obwody wyłączaj. i zab.linii blok.

W okresie rozbudowy Elektrowni Bełchatów o kolejne bloki i stacji Rogowiec o kolejne pola zdarzały się przypadki pojawiania się na obwodach wyłączających pracujących bloków nieoczekiwanych impulsów wyłączających. Pojawiały się one w godzinach pracy, co świadczyło o ich związkach z prowadzonymi pracami. W dniu 19-11-1985 na spotkaniu w Elektrowni Bełchatów, przy udziale specjalistów EAZ i łączności z Elektrowni, ZE Łódź Teren, COE, PDM, Energopomiaru i Energoprojektów, podsumowano sześć pojedynczych lub grupowych przypadków wyłączeń z pracy urządzeń lub tylko pojawiania się na obwodach nieoczekiwanych impulsów wyłączających, które zdarzyły się w latach 1984-85. Sprawozdanie z tego spotkania [2] zostało wykorzystane na następnych stronach.

Pierwsze trudności w analizie przyczyn pojawiających się nieoczekiwanie impulsów wyłączających **wynikły z faktu przechodzenia przez telezabezpieczenie SWT-400 krótkich impulsów, których licznik SWT-400 nie zdążył zarejestrować** (badania przeprowadzone w Elektrowni w dniu 07-11-1985 wykazały, że impulsy przechodzą przez SWT-400, jeśli trwają dłużej niż 4,5 do 5 ms, natomiast ich rejestracja w sposób pewny przez licznik odbywa się dopiero dla impulsów trwających dłużej niż 10 ms. Firma SIEMENS skutkiem wielu reklamacji klientów produkuje nowe wersje SWT już bez liczników, zalecając

zastosowanie drukarki cyfrowej do wydruku przechodzących sygnałów. W niektórych stacjach projektuje się dodatkowe liczniki, jak się wydaje są one w stanie zliczać tylko normalne impulsy.

Dla zlikwidowania **jednego ze źródeł zakłóceń: wyprowadzonych poza SWT** (do zestyku w EAZ) **obwodów 24 V DC z wewnętrznego zasilacza SWT** postanowiono albo poprowadzić je w oddzielnych kablach ekranowanych, albo sterować z EAZ napięciem 220 V DC przekaźnik pomocniczy umieszczony tuż przy SWT, który uruchamiałby SWT z niewielkim opóźnieniem.

Postanowiono **przyspieszyć pobudzenie się rejestratorów sieciowych**. Gdyby każdy impuls wyłączający powodował wyłączenie wyłącznika, to można byłoby pobudzać rejestrator od faktu wyłączenia; wtedy impuls wyłączający zostałby zarejestrowany razem z innymi przebiegami z uwagi na zastosowane wyprzedzenie rejestracji. Tu jednak chodziło o ustalenie okoliczności generowania impulsów wyłączających, które nie musiały doprowadzić do wyłączenia wyłącznika, a więc pobudzenie rejestratorów musiało zostać przyspieszone.

Dyskutowano konieczność obliczania **obwodów wtórnych na rezonans przy 50 Hz**, np. ze względu na indukowanie się napięć przemiennych i na możliwość omyłkowego podania napięcia przemiennego na obwody napięcia stałego. Rozważano też prowadzenie prac uruchomieniowych z wydzielonego źródła napięcia pomocniczego.

Omówiono **powstawanie impulsów wyłączających w związku z pracami na jednym z kanałów komunikacyjnych przy drugim kanale obsługującym pracujący blok**, bowiem zdarzyły się samoczynne wyłączenia bloku przy wkładaniu i wyjmowaniu przez obsługę ośmioprzewodowej wtyczki łączącej SWT z urządzeniem EAZ bloku (ZAZ GT) i mającej na sobie obwody 24 V DC i 220 V DC. Dyskutowano nad organizacją odstawiania z pracy i ponownego uruchamiania poszczególnych telezabezpieczeń SWT i radiolinii, np. przez przerywanie nakładką umieszczoną w pobliżu SWT pojedynczego obwodu wyłączającego.

Przewidywano „**ewentualne wprowadzanie zakłóceń przez urządzenia radiolinii, np. przy zakłóceniach napięcia zasilającego**”; rzeczywiście wystąpiła później awaria, przy której zakłócenia (piki) w napięciu zasilającym radiolinię spowodowały serię wyłączeń bloków i transformatora potrzeb ogólnych.

Protokół ze wspomnianego spotkania daje informacje o zakłóceniach sklasyfikowanych na początku tego rozdziału jako 1 do 4.

9.1. Zakłócenia elektryczne wynoszone przewodowo z urządzeń potrzeb własnych

Zostanie omówiony przykład zakłócenia sklasyfikowanego jako samoczynne zbędne wyłączenie elementów systemu elektroenergetycznego w wyniku zakłóceń elektrycznych wynoszonych przewodowo z urządzeń potrzeb własnych, źle dobranych do wymagań stacji. Prawdopodobnie pojedyncze wyłączenia z tego powodu zdarzały się wcześniej, ale nie zostały właściwie sklasyfikowane. Bardzo wyraźnie zakłócenia napięcia zasilającego radiolinię wystąpiło w stacji Rogowiec w dniu 31.08.1988 roku (sprawdzić rok). Polegało na wyłączeniu w odstępach czasu mierzonych sekundami trzech bloków i jednego transformatora potrzeb ogólnych w warunkach widocznych zakłóceń w pracy radiolinii. Data zakłócenia obudziła czujność pewnych służb, ale udało się wytłumaczyć, że winę ponosił nieustalony stan pracy radiolinii (w pierwszej chwili nie zdawano sobie sprawy, że wynikał on z zakłóceń napięć zasilających).

Przedstawiciel producenta (z Norwegii) oświadczył, że radiolinia nie znosi zakłóceń (pików) w napięciu zasilającym, a „zasilona takimi pikami głupieje”. Piki na napięciu zasilającym były wynikiem działania styczników w przetwornicach przemiennego napięcia gwarantowanego 220 V AC oraz w prostownikach TAB obsługujących baterie 48 V DC z dodatkowymi ogniwami. W przekonaniu o szkodliwości styczników w obwodach zasilania wszelkich układów elektronicznych wykonano modernizację potrzeb własnych:

- w przetwornicach styczniki zastąpiono diodami,
- prostowniki TAB wymieniono na inny typ prostowników, z przełączaniem bezprzerwowym,
- wcześniej zlikwidowano dołączanie stycznikami ogniwo dodatkowych do baterii 220 V DC.

W zakresie potrzeb własnych można stwierdzić, co następuje:

- po zmianach na potrzebach własnych w stacji Rogowiec nie powtórzyła się awaria podobnego typu, a więc zmiany były skuteczne,
- przy uruchamianiu potrzeb własnych powinny być przeprowadzane badania ich zachowania się, łącznie z zapisami oscylograficznymi napięć w różnych sytuacjach ruchowych; gdyby takie badania były przeprowadzone w ramach prób odbiorczych stacji, niewłaściwe urządzenia zostałyby zdyskwalifikowane i zastąpione innymi przed oddaniem stacji do eksploatacji.

9.2. Zakłócenia wynikające ze sprzężeń pojemnościowych między obwodami długich kabli sterowniczym, których skutki ujawniają się przy doziemieniach w obwodach prądu stałego lub przy zwarciach między obwodami napięcia stałego i przemiennego

Wykrycie i klasyfikacja wspomnianych zakłóceń, a następnie ich wyeliminowanie było w Elektrowni Bełchatów możliwe dzięki [patrz 1]:

- uzupełnieniu zainstalowanych urządzeń do ciągłej kontroli stanu izolacji sieci prądu stałego członami szybkiej rejestracji doziemień, co nawet przy krótkotrwałych zakłóceniach umożliwiało wykrywanie i rejestrację przypadków doziemienia biegunów,
- wprowadzeniu rejestracji zakłóceń w sieciach prądu stałego z wykorzystaniem zmiennoprądowych pętliczek rejestratorów zakłóceń sieciowych, co pozwalało wykrywać i rejestrować pojawienie się składowej zmiennej napięcia w obwodach napięcia stałego,
- zainstalowaniu dodatkowych rejestratorów zakłóceń rejestrujących impulsy przesyłane przez telezabezpieczenia SWT-400.

Po analizie sytuacji i obwodów, w których występowały zakłócenia, wprowadzono w stosownych miejscach rezystory obciążające (równoległe do cewek niektórych przekładników, wyłączników, wejść do SWT).

9.3. Zakłócenia indukowane w rozległych obwodach wtórnych stacji kioskowych

Tu jako ilustracje mogą wystąpić przypadki wynikłe zarówno w stacji Miłosna, jak i w stacji Rogowiec.

Pierwszy przypadek w stacji Miłosna wystąpił podczas uruchamiania linii 400 kV Miłosna - Płock - Gdańsk w dniach 29.9.-2.10.1984 roku. Oscylografy w wymienionych trzech stacjach w celu jednoczesnego rozpoczęcia rejestracji były ze sobą sprzężone przez telezabezpieczenia SWT. Pole linii Miłosna kierunku Płock było wyposażone w automatykę od nadmiernego wzrostu napięcia podającą ewentualny impuls wyłączający na własny wyłącznik oraz na wyłączniki w stacji Płock. Zgodnie z projektem obwody 24 V DC z wewnętrznego zasilacza telezabezpieczenia SWT, stojącego w sali łączności były doprowadzone do kiosku pola pod płotem rozdzielni. W pewnej chwili wystąpiła potrzeba zmiany układu pracy, Podczas zamykania odłącznika szynowego 400 kV nastąpiło uruchomienie oscylografów w trzech

stacjach. Było to obserwowane przez duże grono pracowników energetyki zawodowej, firmy wykonawczej i Instytutu Energetyki (wykonawca prób).

Drugi przypadek wystąpił 2 tygodnie później, w niedzielę 14.10.1984 roku parę minut po godzinie 14:00. Nastąpiło wyłączenie wyłączników linii 400 kV w Płocku w polu do stacji Miłosna impulsem otrzymanym łączem ze stacji Miłosna, natomiast wysłany impuls zwrotny, który powinien wyłączyć wyłącznik tej linii w stacji Miłosna, nie ujawnił się. Okazało się, że kierownik stacji Miłosna, schodząc z dyżuru o 14:00, zaszedł do pomieszczenia z tablicami potrzeb własnych, a następnie lekko odkręcił i dokręcił bezpiecznik jednego z obwodów sterowniczych linii 400 kV, którego położenie wydawało mu się podejrzane. W momencie odkręcania zaindukował się impuls i został wysłany do Płocka, impuls zwrotny (po 30 ms) nie został przyjęty z powodu braku napięcia sterowniczego na stosownym obwodzie.

Okazało się, że:

- wyłączenie wynikało z poprowadzenia przez rozdzielnię 400 kV do kiosku po przeciwnej stronie tej rozdzielni, obwodów 24 V DC z wewnętrznego zasilacza telezabezpieczenia SWT; po awarii w dniu 14.10.1984 roku obwód ten zastąpiono obwodem 220 V DC do przekaźnika umieszczonego obok SWT;
- zarejestrowany na rejestratorze w stacji Płock nieprawidłowy kształt impulsu wyłączającego, „ ^_^_^ „, pokazał, że impuls był wygenerowany przypadkowo. Taśma z rejestratora była demonstrowana przez Kierownika stacji przy omawianiu zakłócenia.

9.4. Zakłócenia elektryczne powodowane nieświadomie przez personel

W dniu 7.02.1985 roku o godz. 10:49 nastąpiło samoczynne wyłączenie bloków 1 i 2 z dodatkowym sygnałem uszkodzenia przetwornicy tyrystorowej PT1, który, jak sprawdzono, towarzyszy też podaniu napięcia przemiennego na obwody napięcia stałego. Przyjęto więc, że przyczyną zdarzenia było mimowolne podanie (w czasie prac) napięcia przemiennego na obwody napięcia stałego i powstanie obwodu rezonansowego dla 50 Hz między pojemnością kabla do kiosku 2 a indukcyjnością przekaźnika wyłączającego. Wyeliminowano możliwość rezonansu obciążając cewki przekaźników wyłączających rezystorami 4,7 k Ω 12 W (na blokach 1 i 2 oraz na transformatorze potrzeb ogólnych TR1).

Odtąd przez wiele lat w Elektrowni Bełchatów badano nowe obwody napięcia stałego na możliwość powstania rezonansu przy 50 Hz. A gdyby tak modelować lub analizować obliczeniowo takie zagadnienie podczas projektowania ?

W dniu 13.02.1985 roku o godz. 9:19 nastąpiło w stacji Rogowiec nieplanowane wyłączenie bloku nr 2 podczas wyjmowania lub wkładania przez dyżurnego elektronika rezerwowego zasilacza do pracującej radiolinii (pracownik służby zabezpieczeń nigdy nie wyciągnąłby rezerwowego zasilacza z pracującego zabezpieczenia). Zdaje się, że z tą awarią wiąże się powtarzany przez energetyków fragment oświadczenia dyżurnego stacji, który wszedł do pomieszczeń łączności, chcąc odczytać wskazanie liczników SWT: „i zastano obywatela X z blokiem radiolinii w rękach”.

W dniu 30.05.1985 roku o godz. 13:37 nastąpiło w stacji Rogowiec nieplanowane wyłączenie bloku nr 3 i po chwili bloku nr 4 podczas wkładania przez obsługę w Elektrowni ośmioprzewodowej wtyczki łączącej telezabezpieczenie SWT z urządzeniami EAZ bloków. Tego samego dnia koło godziny 17:00, pracownik, przepytany przez Komisję badającą zakłócenie o okoliczności wyłączenia bloków, chciał pokazać, co zrobił i wyciągnął nieszczęsną wtyczkę, wyłączając ponownie blok nr 3. Czyli przez kilka godzin nie domyślił się związku między swoją działalnością a wyłączeniem bloków.

Obserwowało się wtedy wśród większości elektroników swobodne podejście do obwodów, przekonanie, że wszystko da się zrobić „na ruchu”.

Planowane prace, polegające na dorobieniu nakładek na 1-przewodowym połączeniu SWT z obwodami wyłączającymi i obwodami podającymi impuls wyłączający były konstrukcyjnie trudne i nie były w latach 80-tych zrealizowane. Natomiast Dyrektor Techniczny Elektrowni postanowił, że odtąd klucz do szaf SWT będą dostawać tylko pracownicy, cieszący się Jego zaufaniem.

Zastanawiające jest jednak dlaczego projektanci tak, a nie inaczej zaplanowali wyłączenie do prac jednego ciągu komunikacyjnego, przy drugim torze komunikacyjnym czynnym; przecież operowanie ośmioprzewodową wtyczką w obwodach wyłączających zawsze niesie w sobie ryzyko.

W związku z postępującą integracją obwodów EAZ i sterowania, konstruowaniem rozproszonych automatyk systemowych wypada przemyśleć sposoby przekształcania mentalności i poglądów elektroników na rolę obwodów, które powinny działać niezawodnie, ale tylko gdy to jest potrzebne.

Z powyższego wynika, że:

- konieczne jest szkolenie ludzi, a także opracowanie procedur odstawiania do prac jednego z torów wyłączających i pilnowanie przestrzegania tych procedur,
- należy projektować jednobiegunowe rozłączanie między EAZ a urządzeniami telezabezpieczeń.

W protokóle z 19-11-1985 jest jeszcze kilka przypadków niepotrzebnych sygnałów wyłączających, które mogły wynikać z zakłóceń opisanych w 6.1 do 6.4., były to:

11-01-1984 roku przychodzenie do ZAZ GT impulsów z SWT bez wyłączenia bloków, bez rejestrowania przez liczniki SWT, tylko na blokach parzystych. Jako środek zaradczy w ZAZ GT spowolniono wejścia kontraktronowe i obciążono przekaźniki wyjściowe rezystorami 4,7 k Ω 12 W.

19-09-1984 o godz. 9:19 roku jednoczesne wyłączenie bloków 1 i 2 oraz transformatora potrzeb ogólnych TR2, bez rejestrowania przez liczniki SWT i bez pobudzenia rejestratora zakłóceń. Wtedy przyczyny nie wykryto (sprawdzano zachowanie się SWT przy zakłócaniu jego napięcia zasilającego).

14-10-1985 o godz. 13:40 i 16-10-1985 o godz. 13:59 wyłączenie bloku 3. SWT w Rogowcu odebrał 2 impulsy a SWT w BEL wysłał 2 impulsy, ale nie wiadomo dlaczego. Postanowiono zlikwidować potwierdzający impuls powrotny z ROG do BEL, utrudniający analizę.

9.5. Zbędne zadziałań urządzeń EAZ pod wpływem wyższych harmonicznyc

Znane są pojedyncze przypadki zbędnego działania zabezpieczeń przy prądzie podstawowej harmonicznyc poniżej wartości rozruchu, natomiast z znaczącymi wartościami harmonicznyc wprowadzonych przez odbiory trakcyjne. Dwa takie przypadki ujawniły się parę lat temu w Warszawie w sieci 6 kV, w postaci zbędnych wyłączeń kilku silników w porze dużych odbiorów trakcyjnych (dojazdy do pracy i powroty z pracy).

Jeden z przypadków ujawnił się po wybudowaniu nowego odcinka linii tramwajowej i nowej podstacji trakcyjnej. Drugi ujawnił się po przełączeniach w sieci, kiedy wszystkie harmoniczne produkowane przez trakcję były odbierane przez jednego klienta.

Zbędne działanie zabezpieczeń w omówionych sytuacjach wynikało z faktu, że zabezpieczenia były stare, nikt przy ich projektowaniu nie myślał o odporności na wyższe harmoniczne. Uodpornienie polega np. na zasileniu zabezpieczenia przez filtr harmonicznyc podstawowej prądu.

Zabezpieczeń wrażliwych na wyższe harmoniczne jest jeszcze w sieci bardzo dużo, nie tylko w Polsce. Rozeszła się informacja o zbędnym zadziałaniu w zaprzyjaźnionym kraju

zabezpieczenia ziemnozwarciowego linii NN z powodu dużego prądu psofometrycznego (sumy prądów zerowych wszystkich harmonicznyc) prawdopodobnie przy wyłączonym lub niesprawnym filtrze w odległej stacji przekształtnikowej AC/DC.

Niepokojący jest brak w sieci urządzeń do stałej rejestracji wskaźnika THD (Total Harmonic Distortion) oraz zawartości poszczególnych harmonicznyc, szczególnie w miejscach narażonych na ich występowanie.

9.6. Uszkodzenia w obwodach wtórnych pod wpływem przepięć

Występujące bardzo rzadko w stacjach uszkodzenia elementów EAZ, pomiarów lub systemów nadzoru, są zwykle przez energetyków kojarzone ze złym rozwiązaniem uziemień stacji, np. uszkodzeniem siatki ekwipotencjalnej lub brakiem połączenia między siatką a uziemieniem punktu zerowego transformatora potrzeb własnych 400/230 V. Wykrycie miejsc niewłaściwych lub brakujących połączeń wymaga sprawdzenia ciągłości zaprojektowanych uziemień stacji, najłatwiej zrobić to porównując wyniki z protokołem badań ciągłości wykonanych podczas badań odbiorczych.

Jeśli przez wymienione sprawdzenia nie wykryje się powodu uszkodzeń, można by - taki pomysł nasuwa się pod wpływem opisanych w [1] informacji o pracach wykonanych w Elektrowni Bełchatów dla wykrycia przyczyn zakłóceń - zastosować na okres przejściowy szybką rejestrację napięć w miejscach uszkodzeń.

Uszkodzenia w stacjach pod wpływem wyładowań atmosferycznych też zdarzają się rzadko, pamięta się pojedyncze przypadki np. eksplozji przekładnika napięciowego linii przy bliskim wyładowaniu (brak szczegółów, gdyż było to w stacji bez obsługi) i uszkodzenie 56 elementów w elektronicznym zabezpieczeniu odległościowym !

W maju br.(2000) wystąpiło w odstępie 10-dniowym dwukrotne wyładowanie atmosferyczne w stację 110/15 kV na terenie ZE Opole SA, opisane w [3]. Wnioski z tych zakłóceń będą podstawą do wielu prac na ten temat. Pomijając opisany w [3] przypadek, wydaje się, że w świetle obowiązujących na zachodzie przepisów ochrony odgromowej, wszystkie budynki budowane niezgodnie z tymi przepisami (zarówno mieszkalne, jak i stacji oraz kiosków stacyjnych) nie mają ochrony odgromowej właściwie zabezpieczającej urządzenia elektroniczne przed skutkami bliskich wyładowań atmosferycznych. Podobno właściwą ochronę odgromową budynku zaczyna się realizować przed postawieniem fundamentów. Ale to jest temat na inną konferencję.

10. wnioski

1. Droga do uzyskania niezawodnie działających zabezpieczeń jest badanie nie tylko poszczególnych urządzeń ale całych układów zabezpieczeniowych.
2. Rozwiązania zastosowane w potrzebach własnych są kluczowym elementem umożliwiającym uzyskanie niezawodnych zabezpieczeń.
3. W układach przekazywania sygnałów dwustanowych o odporności danego odbiornika sygnałów na zakłócenia decyduje w większym stopniu energia potrzebna do jego zadziałania niż napięcie pracy. Nie jest słuszny pogląd, że napięcie 220V jest zawsze korzystniejsze od napięcia np. 24V.
4. Głównym medium rozchodzenia się zakłóceń niebezpiecznych dla funkcjonowania zabezpieczeń jest pajęczyna zbudowana z przewodów.
5. Poprzez eliminowanie lokalnych źródeł zakłóceń nie rozwiążemy całkowicie problemu nieprawidłowych działań zabezpieczeń, ponieważ istnieją źródła zewnętrzne takie jak telefony komórkowe i wyładowania atmosferyczne. Jedynym sposobem jest uodparnianie urządzeń oraz doskonalenie metod rozprowadzania obwodów. W niektórych przypadkach powinniśmy stosować ekranowane przewody .

11. Literatura

[1] W. Bekasiak: Zakłócenia w sieciach prądu stałego jako jedna z przyczyn błędnych wyłączeń urządzeń elektroenergetycznych z ruchu, *Automatyka Elektroenergetyczna* 3-4/1997, str.45-48.

[2] Sprawozdanie ze spotkania w dniu 85-11-19 w Elektrowni Bełchatów na temat wniosku nr 15 protokołu Resortowej Komisji powołanej dla zbadania przyczyn powstałych w ostatnim okresie zakłóceń w sieciach elektroenergetycznych oraz opracowanie wniosków zaradczych, opracowała K. Przedmojska COE w grudniu 1985.

[3] W.Tarczyński, A. Żurek: Wpływ wyładowań atmosferycznych na pracę urządzeń automatyki zabezpieczeniowej i telemechaniki, *Ogólnopolska Konferencja Zabezpieczenia Przekaznikowe w Energetyce*, Jachranka, 11-13.10.2000, str.47-54.