

Możliwości wdrożenia pracy wyspowej dużych zakładów przemysłowych w przypadku blackout'u

Paweł Kazimierczuk – Energotest

Streszczenie

Autor przez wiele lat pracował w największych zakładach przemysłowych w Polsce. W latach 2006 – 2009 uczestniczył w pracach z Politechniką Wrocławską nad określeniem możliwości sposobów obrony zakładów przemysłowych przed blackout'em. Praca poniższa jest kompilacją doświadczeń autora oraz wiedzy firmy Energotest.

W pierwszej części referatu przeprowadzona jest analiza możliwości wprowadzenia systemu obrony przed blackoutu dla zakładów przemysłowych dysponujących własną generacją.

Taki system o nazwie SmartLoad jest rozwijany w Energoteście od ponad 10 lat. System udało się wdrożyć w kilku znaczących zakładach przemysłowych. W dalszej części referatu przedstawiona jest zasada działania tego systemu.

1. Wstęp

Awaria systemu elektroenergetycznego mogąca doprowadzić do wyłączenia wszystkich źródeł energii w znacznej części systemu energetycznego jest nazywana blackout'em. Awarie takie występowały na świecie, oraz ostatnio również w Polsce. Blackout'y mogą powodować ogromne straty materialne i stanowią poważne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi.

Istnieją dwa mechanizmy powstawania zakłóceń w systemie energetycznym, które mogą prowadzić do blackout'u, jednemu towarzyszy spadek częstotliwości, drugiemu obniżka napięcia, która może doprowadzić do utraty stabilności napięciowej. Awarie, które miały miejsce w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia spowodowane były z reguły obniżką częstotliwości. Natomiast analizy wielkich awarii systemowych, które miały miejsce w ostatnich latach wskazują, że ich przyczyną było zagrożenie stabilności napięciowej, np. podczas awarii w roku 1996 w Kalifornii, oraz w roku 2003 na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych i szereg innych. Bezpośrednią przyczyną takich awarii są zazwyczaj nieprzewidywane wyłączenia linii przesyłowych, co może prowadzić do przeciążenia innych elementów systemu i spowodować lawinę takich wyłączeń.

Taka sytuacja spowodowana jest tym, że źródła energii są obecnie bardziej oddalone od odbiorców, niż dawniej, kiedy elektrownie lokowane były blisko centrów odbiorczych. A co za tym idzie współczesne systemy energetyczne są bardziej podatne na obniżenie napięcia niż kilkanaście lat temu. Wprowadzenie mechanizmów rynkowych w handlu energią spowodowało, że odbiorcy wolą kupować tańszą energię z odległych elektrowni.

Utrata zasilania w energię elektryczną jest poważnym zagrożeniem dla funkcjonowania zakładu przemysłowego, stąd potrzeba poszukiwania rozwiązań zwiększających pewność zasilania zakładów.

2. Detekcja pracy wyspowej

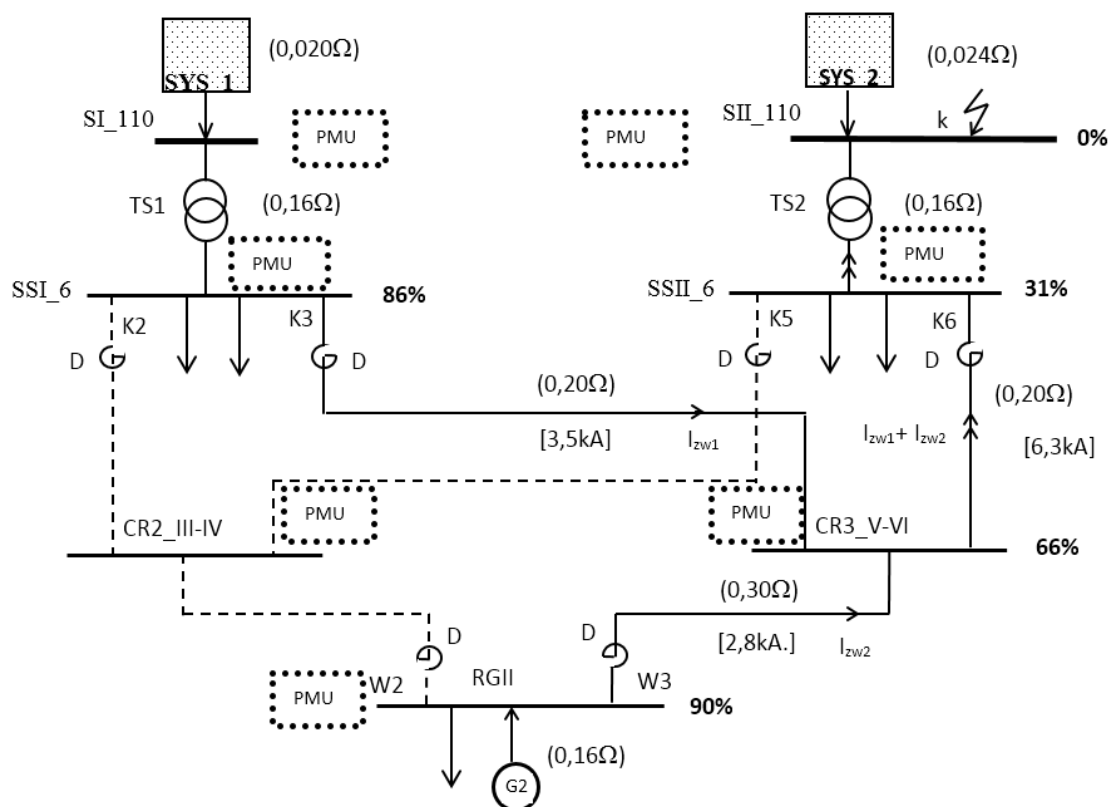
Jak obronić sieć zakładu, która ma własną elektrownię lub elektrociepłownię, a zatem własne źródła energii elektrycznej?

W pierwszym rzędzie należy sprawdzić, czy nastąpiło przerwanie połączenia Zakładowej Sieci Energetycznej (ZSE) z KSE, lub czy zaistniały warunki uzasadniające decyzję przerwania takiego połączenia, tzn. czy jest to blackout całkowity, czy tylko lokalny. Biorąc pod uwagę fakt, że obecne blackout'y wywoływane są utratą stabilności napięciowej, za symptom zagrożenia blackout'em można przyjąć głęboką i relatywnie długą obniżkę napięcia, spadek częstotliwości, oraz wzmożony przepływ mocy biernej od ZSE do KSE. Kolejnym pytaniem jest jaką wartość napięcia należy przyjąć jako progową, która uzasadniałaby podjęcie decyzji o odcięciu się od KSE. Jako pomoc w tym zakresie można potraktować dopuszczalne granice spadków napięć i obniżek częstotliwości.

Krajowe przepisy określają minimalne dopuszczalne poziomy napięć w węzłach sieci 110, 220 i 400 kV w następujący sposób:

- w węzłach generujących napięcie w stanach normalnych nie powinno być niższe od U_n natomiast w stanach awaryjnych od $0,95 U_n$,
- w węzłach odbiorczych napięcie w stanach normalnych nie powinno być niższe od $0,95 U_n$, zaś w stanach awaryjnych od $0,9 U_n$.

Widzimy że, aby było możliwe skuteczne i bezpieczne wydzielenie zakładu przemysłowego na wyspę musi być spełnione przede wszystkim pewne i szybkie wykrycie konieczności wydzielenia zakładowego układu elektroenergetycznego na wyspę.



Do detekcji stanu pracy wyspowej służą pomiary częstotliwości, napięcia i mocy realizowane z wykorzystaniem techniki synchrofazorów (PMU). Umożliwia to najszybszą detekcję pracy wyspowej i najszybszą decyzję o przejściu zakładowej sieci elektroenergetycznej na wyspę. Jest to również obecnie najbardziej uzasadnione ekonomicznie rozwiązanie.

W podanym, na rys. 1 przykładzie PMU są zainstalowane na zewnątrz jak i wewnątrz zakładowej sieci elektroenergetycznej. Umożliwia to realizację pomiarów różnicowych częstotliwości z bardzo dużą dokładnością rzędu 0,01 Hz.

W przypadku wykrycia pracy wyspowej realizowana jest strategia odciążania.

3. Strategia i zasada działania systemu obrony przed blackout'em SMART LOAD

W większości przypadków, po awaryjnym przerwaniu połączenia pomiędzy dużym zakładem przemysłowym a KSE, nie da się utrzymać pracy własnej elektrociepłowni. Konwencjonalne rozwiązania bazujące na samoczynnym częstotliwościowym odciażaniu są niewystarczające, ponieważ klasyczna automatyka SCO posiada wady, które praktycznie uniemożliwiają spełnienie prawidłowego wydzielania na wyspę.

Tymi wadami są:

- opóźnione działanie w zakresie 49...48 Hz,
- wyłączanie do 50% obciążenia,

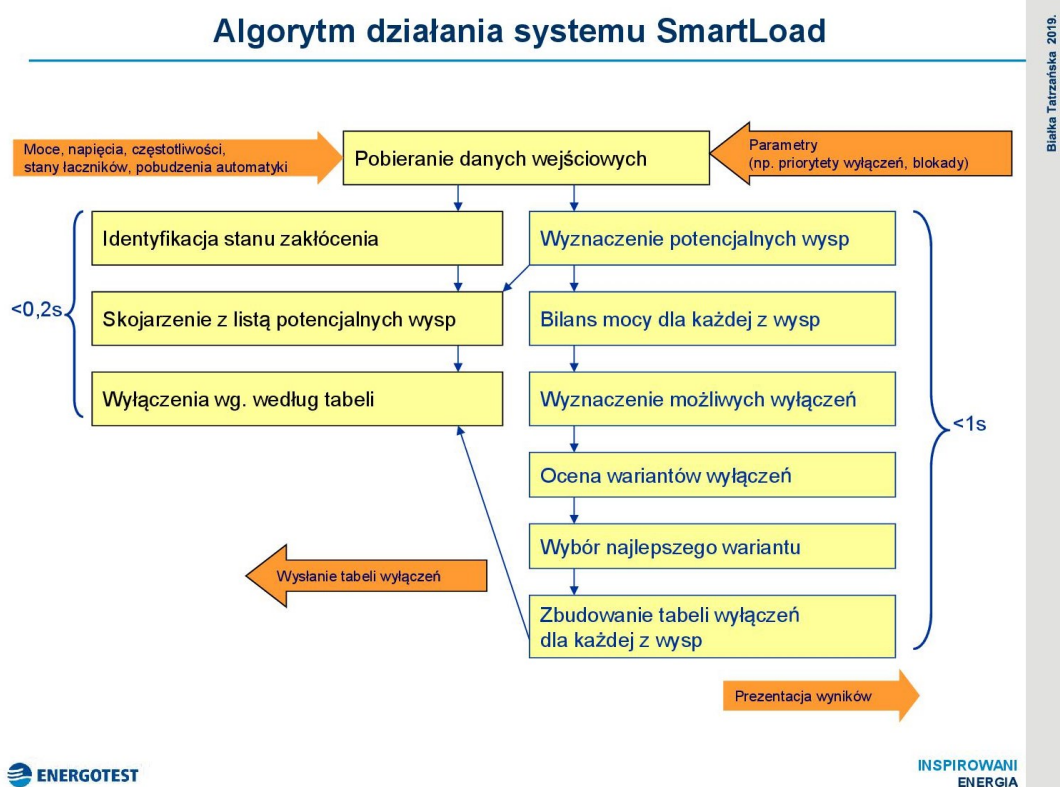
- trudna do zaplanowania rzeczywista moc wyłączana,
- spodziewana niska selektywność działania,
- trudne określenie nastaw dla członów przyspieszania (df/dt ; $\Delta f/\Delta t$),
- niska odporność na sygnały zakłócające,
- działanie lokalne, jednokryterialne,
- służy odciążaniu SEE, nie zapewnia przygotowania obszaru sieciowego zakładu przemysłowego do pracy wyspowej,
- z góry zaprogramowane działanie, niezależnie od rodzaju awarii.

Analiza zjawisk, zachodzących w powstającym obszarze wyspowym wykazuje, że niezbędne jest szybkie wyłączenie grupy odbiorów, zapewniające wstępne zbilansowanie mocy generowanej z mocą odbieraną. Koncepcja obrony zakładu przemysłowego, posiadającego własną generację przed utratą zasilania bazuje na metodzie wstępnego odciążania, która polega na szybkim wyłączeniu odbiorów o łącznej mocy równej tej, która przed przerwaniem połączenia pobierana była z sieci zewnętrznej.

W celu zrealizowania skutecznego i bezpiecznego wydzielania zakładu na wyspę są realizowane następujące czynności:

- pomiary mocy generowanej w sekcjach sieci zakładowej i przesyłanej w liniach łączących KSE z siecią zakładową,
- określenie deficytu mocy dla wszystkich możliwych stanów blackout'owych, powstałego przy wyłączeniu jednej lub więcej linii, łączących ZSE z KSE w odpowiednim stanie blackout'owym,
- dla każdego z możliwych stanów blackout'owych, korzystając z informacji uzyskanych w etapie pierwszym, określenie wartości mocy czynnej, którą zakład jest w stanie dodatkowo wygenerować (lub pobrać z KSE) w odpowiednim stanie blackout'owym,
- dla każdego z możliwych stanów blackout'owych określenia wartości mocy czynnej (jako różnicy pomiędzy deficytem, a mocą określoną w ww. punkcie), o którą należy zmniejszyć obciążenie zakładu w ramach wstępnego odciążania,
- dobór urządzeń, które powinny zostać wyłączone w ramach wstępnego odciążania.

Powyższe czynności są realizowane on-line w serwerze systemu Smart Load.



Rys. 2. Algorytm systemu SmartLoad realizowanego przez Energotest

Tak określona strategia odciążania w ramach ustalonej strategii działania jest przesyłana do urządzeń PMU w postaci zbioru urządzeń, podlegających wyłączeniu w przypadku powstania odnośnego stanu blackout'owego, oraz ewentualnie w postaci nastaw zabezpieczeń SCO, jeżeli wyłączenia będą realizowane przez te zabezpieczenia.



Rys. 3. Wybór najlepszego wariantu wyłączenia, uwzględniającego priorytetu technologiczne, w systemie SmartLoad realizowanym przez Energotest

Po zrealizowaniu wyłączeń określonej liczby urządzeń następuje zbilansowanie mocy zapotrzebowanej z mocą generowaną i w rezultacie ustabilizowanie obszaru sieci w stabilnej pracy wyspowej.

Jeżeli zostanie przywrócony do normalnej pracy stan KSE układ SmartLoad powinien wykryć pojawienie się zewnętrznego systemu elektroenergetycznego.

Ostatnim działaniem systemu SmartLoad, powinno być ponowne zsynchronizowanie ZSE z KSE, to znaczy zsynchronizowanie wyspy z zewnętrznym „zdrowym” systemem elektroenergetycznym.

4. Podsumowanie

Przedstawiona wyżej zasada działania systemu obrony przed blackout'em oraz zasada ustalania strategii działania podczas blackout'u umożliwiają zrealizowanie systemu obrony przed blackout'em w następujących punktach:

1. W cyklu 20-milisekundowym identyfikacja stanu blackout'owego i ewentualny przesył sygnału w odpowiednim (dla tego stanu) kodzie do systemu.
2. Ustalanie w serwerze systemu, on-line, strategii działania dla wytypowanych stanów blackout'owych, oraz przesył tej strategii w odpowiedniej postaci do PMU w rozdzielniach elektroenergetycznych.
3. Realizacja przez PMU ustalonej strategii działania odciążania poprzez wyłączenie wytypowanych odbiorów.
4. Dalszą stabilizację pracy ZSE realizują istniejące układy automatyki regulacyjnej i zabezpieczeniowej.
5. W przypadku „powrotu” zewnętrznego systemu elektroenergetycznego automatyczna synchronizacja wyspy z systemem zewnętrznym.

Literatura

- [1] Bałaban E., Bąkowski P., Łowicki P., Kazimierczuk P.: Identyfikacja zakłóceń dla systemu NRB Elektra Tom 3. Wrocław 2008
- [2] Dzierżanowski W., Pytel J.: Wielokomputerowy system ochrony sieci przemysłowej przed blackout'em IV Konferencja Naukowo Techniczna Diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych Płock

- [3] Kazimierczuk P.: Wykonywanie pomiarów wielkości elektrycznych w rzeczywistości zakładu przemysłowego. VI Konferencja Naukowo-Techniczna – „Diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych” PŁOCK
- [4] Kazimierczuk P.: Pomiary wielkości elektrycznych w praktyce zakładu przemysłowego. Konferencja APS 2003
- [5] Kazimierczuk P.: Wykonywanie pomiarów wielkości elektrycznych w zakładzie przemysłowym; Wiadomości Elektrotechniczne 2005 nr 3
- [6] Kazimierczuk P.: Jak obronić sieć elektroenergetyczną zakładu przemysłowego przed black-outem? Wiadomości Elektrotechniczne 2008 nr 9
- [7] Kazimierczuk P.: Jaki powinien być system monitorowania parametrów jakości energii elektrycznej; Wiadomości Elektrotechniczne 2008 nr 11
- [8] Kazimierczuk P.: Jak obronić sieć zakładu posiadającego własną elektrociepłownię przed blackout'em. XIV Sympozjum Naukowo-Technicznego „SEMAG 2008” problemy eksploatacyjne sieci i urządzeń górniczych; Zapusta, 2008 r.
- [9] Kazimierczuk P.: Aplikacja ekspercka „Identyfikacja Scenariuszy Blackout’owych” jako ochrona dużego zakładu przemysłowego przed awariami systemowymi.”. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce" Zakopane 2008.
- [10] Kazimierczuk P.: System monitorowania wskaźników parametrów jakości energii elektrycznej Certan system; Seminarium Techniczne. „Energia elektryczna – racjonalizacja zużycia a jakość” ELEKTROTIM Karpacz 2009
- [11] Materiały własne Energotest

