

Awaria wyłącznika przyczyną uszkodzenia generatora dużej mocy

Streszczenie. Przedstawiono układ elektroenergetyczny bloku z turbogeneratorem, transformatorem, wyłącznikiem i zabezpieczeniami w obwodach, którego wystąpiły zakłócenia w czasie synchronizacji z siecią. Omówiono przebieg wydarzeń, które doprowadziły do uszkodzenia generatora. Przedstawiono wyniki analizy pracy zabezpieczeń bloku w czasie zakłócenia. Podano wnioski dotyczące procedury synchronizacji oraz sposobu działania zabezpieczeń ze względu na bezpieczeństwo generatora.

Abstract. Generator-transformer unit in which circuits took place the disturbance in the time of synchronization process is presented. The events that bring the turbo generator to failure are described. The results of analyses of protection system operation during the disturbances are given. Conclusions concerning of synchronization procedures and protection system operation are presented. (Circuit breaker defect as a reason of large turbo generator failure).

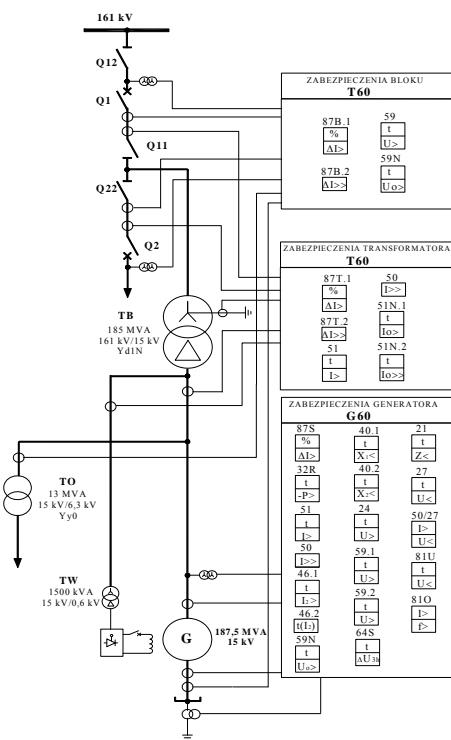
Słowa kluczowe: turbogenerator, synchronizacja, awaria wyłącznika.

Keywords: turbogenerator, synchronization, circuit breaker failure.

doi:10.12915/pe.2014.01.62

Wprowadzenie

W dużej elektrowni cieplnej w obwodach bloku o mocy 150 MW, w czasie przygotowań do synchronizacji bloku z siecią o napięciu 161 kV wystąpiła awaria generatora. Układ połączeń elektrycznych bloku z rozdzielnią 161 kV pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat ideowy bloku o mocy 187,5 MVA wraz z zabezpieczeniami części elektrycznej (Zabezpieczenia: 87S, 87, 87B – różnicowe: generatora, transformatora, bloku, 32 – mocy zwrotnej, 51 – nadprądowe zwłoczne, 51N – zerowo prądowe ziemnozwarciowe, 50 – zwarciowo-prądowe, 46 – od asymetrii obciążenia, 59N, 64S – ziemnozwarciowe stojana generatora, 40 – od utraty wzbudzenia, od przewzbudzenia, 59 – nadnapięciowe, 59N – zerowo napięciowe ziemnozwarciowe, 21 – impedancyjne, 27 – podnapięciowe, 81U – podczęstotliwościowe, 81O – nadczęstotliwościowe),

Część elektryczna bloku obejmuje:

- generator (G) o mocy $S_{NG} = 187,5$ MVA i napięciu znamionowym $U_{NG} = 15$ kV,
- transformator blokowy (TB) o mocy 185 MVA i przekładni 161 kV/15 kV,

- transformator odczepowy (TO) do zasilania potrzeb własnych bloku,
- wyłączniki blokowe (Q1, Q2) na napięciu znamionowe 170 kV.

– odłączniki w polu blokowym (Q11, Q22).
Podstawowe urządzenia elektroenergetyczne bloku wyposażono w nowoczesne zabezpieczenia cyfrowe obejmujące poniżej wymienione urządzenia zabezpieczeniowe (rys. 1):

- generatora (G60),
- transformatora blokowego (T60),
- bloku (T60)

Przebieg zdarzeń, które doprowadziły do uszkodzenia generatora

W związku z przygotowaniem bloku do synchronizacji z siecią, generator został wzbudzony do napięcia znamionowego, łączniki w polu bloku (rys. 1) znajdowały się w następującym stanie:

- odłączniki Q11 i Q12 były zamknięte,
- odłącznik Q22 był otwarty,
- wyłącznik Q1, wybrany do synchronizacji, był otwarty.

Ze względu na próby układu wzbudzenia generatora, taki stan trwał ok. 20 minut. W pewnej chwili napięcia międzyprzewodowe generatora gwałtownie się zmniejszyły. W układzie rejestracji wielkości ruchowych (system OVATION) odnotowano następujące wartości napięć:

$$U_{AB} = \text{ok. } 2,5 \text{ kV} = \text{ok. } 0,166 U_n$$

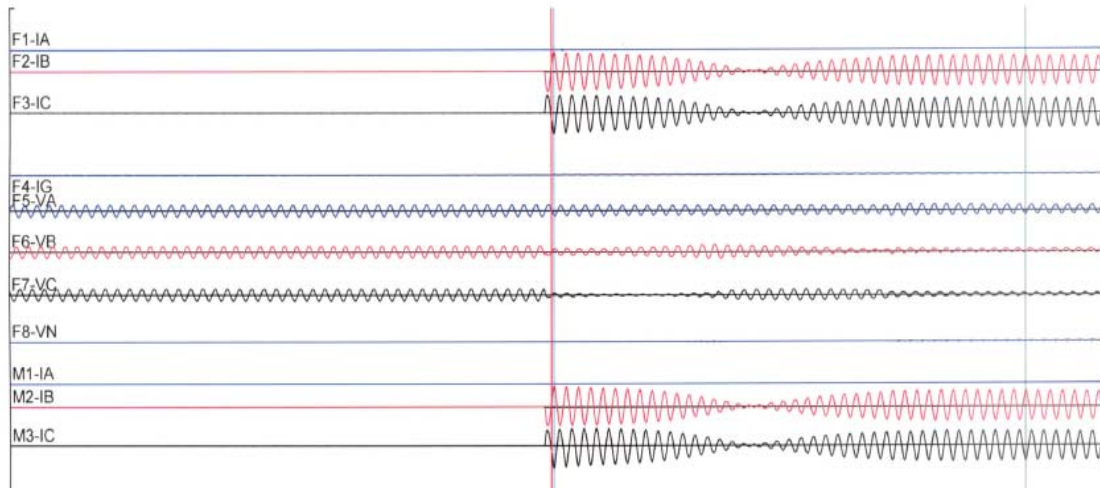
$$U_{BC} = \text{ok. } 7,3 \text{ kV} = \text{ok. } 0,486 U_n$$

$$U_{CA} = \text{ok. } 9,5 \text{ kV} = \text{ok. } 0,633 U_n$$

W tym samym czasie prądy generatora gwałtownie wzrosły. System OVATION zarejestrował następujące wartości skuteczne prądów: $I_A = 0$, $I_B = 19\,221$ A, $I_C = 19\,202$ A.

Po upływie około 1s malały stopniowo wartości napięć i prądów generatora. Wartość prądu w fazie B generatora spadła do zera po około 10 s. Do synchronizacji bloku z siecią nie doszło, żaden rejestrator nie zapisał sygnału na zamknięcie wyłącznika blokowego Q1. Bezpośrednio po opisanych zakłóceniach stwierdzono uszkodzenie kolumny fazy B wyłącznika blokowego (Q1).

W czasie opisanych zakłóceń pobudzały się zabezpieczenia w urządzeniu zabezpieczeniowym generatora (G60): nadprądowe zwłoczne (51), reagujące na asymetrię obciążenia (46) oraz reagujące na utratę wzbudzenia (40). Żadne zabezpieczenie bloku nie zadziało na odwzbudzenie oraz na wyłączenie generatora.



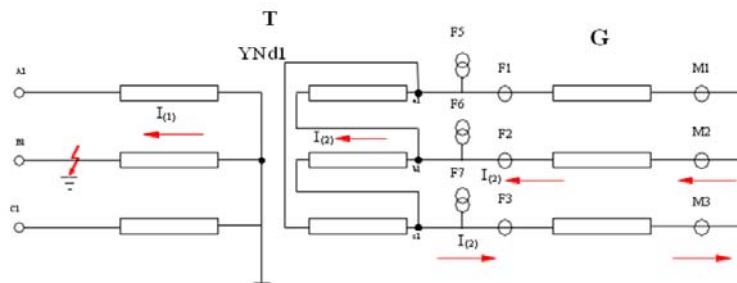
Rys. 2. Zapis rejestratora zakłóceń urządzenia zabezpieczeniowego generatora (G60). Oznaczenia przebiegów: F1-IA, F2-IB, F3-IC – prądy fazowe (A, B, C) mierzone na zaciskach generatora, F4-IG – prąd zerowy generatora, F5-VA, 6-VB, F7-VC – napięcia fazowe (A, B, C) generatora, F8-VN – napięcie zerowe generatora, M1-IA, -M2-IB, M3-IC – prądy w fazowe (A, B, C) mierzone na końcu uzwojeń generatora (od strony punktu neutralnego).

Analiza przebiegu zakłócenia na podstawie zarejestrowanych wielkości elektrycznych.

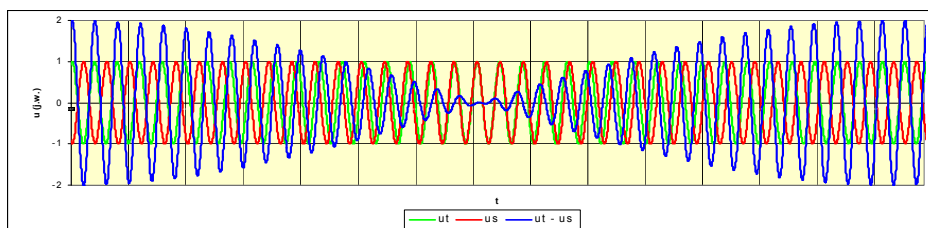
Urządzenie zabezpieczeniowe generatora (G60) zarejestrowało podczas awarii przebiegi prądów i napięć generatora oraz pobudzenia zabezpieczeń w czasie zakłócenia, które pokazano na rysunku 2. Z analizy przebiegów prądów przedstawionych na rysunku 2 wynika, że w warunkach przygotowanego do synchronizacji generatora, wzbudzonego do napięcia znamionowego, gwałtownie pojawiły się w jego uzwojeniach faz B i C prądy

o prawie jednakowych wartościach szczytowych przekraczających 40 kA tj. około 5,5 prądu znamionowego generatora.

Jedynym wytłumaczeniem takiego zjawiska jest pojawienie się prądu w fazie B obwodów górnego napięcia (GN) bloku. Ilustruje to rysunek 3 – prąd (I_1) w uzwojeniu GN fazy B transformatora blokowego, przeniesiony do uzwojenia dolnego (DN) fazy B, powoduje w przypadku transformatora o grupie połączeń (YNd1) przepływ prądu w fazach B i C generatora.



Rys. 3. Miejsca pomiaru rejestrowanych prądów i napięć generatora (patrz rys. 2)



Rys. 4. Napięcie międzystykowe bieguna wyłącznika ($u_t - u_s$) oraz napięcia fazowe po stronie transformatora (u_t) i po stronie sieci (u_s) podczas synchronizacji

Podczas synchronizacji generatora z siecią WN, przy zamkniętych odłącznikach systemowym i transformatorowym, na otwartych stykach wyłącznika blokowego powstaje napięcie będące różnicą napięcia po stronie GN transformatora blokowego i napięcia od strony systemu, charakteryzujące się „dudnieniami” o amplitudzie około $2\sqrt{2}U_n/\sqrt{3}$ gdzie: U_n – napięcie znamionowe systemu (Rys. 4). Częstotliwość tych dudnień wynosi zazwyczaj ułamki

herca i jest zależna od różnicy częstotliwości napięć po obu stronach wyłącznika.

Praca komory gaszeniowej wyłącznika podczas synchronizacji może stwarzać poważne narażenia dla jej układu izolacyjnego, głównie z powodu „dudniących” napięć o dużych amplitudach występujących na stykach wyłącznika, szczególnie wtedy, gdy stan taki trwa długo.

Jeżeli w czasie synchronizacji, nastąpi osłabienie wytrzymałości elektrycznej przerwy międzystykowej, to na otwartych stykach wyłącznika blokowego może nastąpić zapłon. Zapłon w jednej z komór gaszeniowych wyłącznika wywołuje jednofazowy przepływ prądu w obwodzie i wówczas generator pracuje niesynchronicznie, sprzęgnięty jednofazowo z systemem.

Podczas rozpatrywanej awarii, przy niesynchronicznej pracy, prądy w fazach B i C generatora miały również charakter „dudniący” (rys. 2), a ich amplitudy osiągnęły wartość 42 kA (pierwsza półfala). Po około 570 ms od chwili zapłonu w komorze gaszeniowej wyłącznika nastąpiło 1-fazowe zwarcie z ziemią po stronie GN transformatora blokowego z prądem około 29 kA (wartość szczytowa) będące wynikiem opadnięcia przewodu przyłączeniowego wyłącznika na konstrukcję wsporczą po rozerwaniu jego komory gaszeniowej.

Pomimo, że wyłącznik który uległ awarii posiadał wszystkie badania typu, to z całą pewnością można stwierdzić, że podczas synchronizacji na jego otwartych stykach wystąpił zapłon w komorze gaszeniowej.

Obliczenia wartości prądów w fazach B i C generatora przy zwarcu z ziemią fazy B w obwodach GN bloku są zbieżne z zarejestrowanymi przez urządzenia zabezpieczeniowe i potwierdzają przebieg zdarzenia.

W wyniku dynamicznego oddziaływania prądu spowodowanego awarią wyłącznika blokowego nastąpiło uszkodzenie połączeń czołowych uzwojenia stojana generatora.

Wnioski

1. Uszkodzenie uzwojeń stojana generatora nastąpiło w wyniku przepływu prądu przekraczającego wielokrotnie jego prąd znamionowy wywołanego zapłonem w biegunie B wyłącznika Q1 w polu bloku, a następnie zwarcie tej fazy z ziemią. Jednofazowa niesynchroniczna praca generatora, trwała około 570 ms, po czym uszkodzona została komora gaszeniowa wyłącznika i nastąpiło jednofazowe zwarcie

doziemne w obwodach GN transformatora blokowego zasilane tylko z generatora. Stan taki trwał około 10 s.

2. Długotrwałe trwające kilkadziesiąt minut narażenie napięciowe komór gaszeniowych wyłącznika w postaci „dudniących napięć” na jego stykach, wynikające z różnicy napięć fazowych o różnych częstotliwościach bliskich wartości znamionowej, zagrażają izolacji międzystykowej i mogą prowadzić do zapłonu. Występowanie takiego zjawiska potwierdza praktyka światowa. Procedura synchronizacji generatora z siecią powinna wykluczać możliwość dłuższego niż kilka minut utrzymywania styków wyłącznika pod napięciem.

3. W przypadku omówionej awarii wyłącznika nie działały zabezpieczenia bloku.

4. Zaleca się rozwiązać zabezpieczenie zerowo prądowe ziemnozwarciowe obwodów GN bloku (51N) tak, aby przy otwartym wyłączniku blokowym działało bezzwłocznie na wyłączenie wzbudzenia generatora. Takie rozwiązanie zapobiegłoby uszkodzeniu generatora w przypadku opisanej awarii wyłącznika blokowego.

LITERATURA

- [1] Żydanowicz J.; Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, WNT, Warszawa, 1985 r.
- [2] Winkler W., Wiszniewski A., Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 2004.
- [3] Katalog przełączników zabezpieczeniowych General Electric.
- [4] Ciok Z.: Procesy łączeniowe w układach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1976.
- [5] Przybysz J.: Turbogeneratory. Zagadnienia eksploatacyjne. Instytut Energetyki, Warszawa 2003.

Autorzy: dr inż. Janusz Karolak, Instytut Energetyki, ul. Mory 8, 01-330 Warszawa, E-mail: janusz.karolak@ien.com.pl; dr inż. Sylwia Wróblewska, Instytut Energetyki, ul. Mory 8, 01-330 Warszawa, E-mail: sylwia.wroblewska@ien.com.pl; prof. dr hab. inż. Jerzy Przybysz, Instytut Energetyki, ul. Mory 8, 01-330 Warszawa, E-mail: jerzy.przybysz@ien.com.pl; mgr inż. Paweł Berger, TurboCare Poland S.A., ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: pawel.berger@turbocare.pl