XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowa

AKTUALNE PROBLEMY W ELEKTROENERGETYCE APE'15

Jastrzębia Góra, 17–19 czerwca 2015

OCENA WPŁYWU POZIOMU NAPIĘCIA W SIECI PRZESYŁOWEJ NA FUNKCJONOWANIE UKŁADÓW POTRZEB WŁASNYCH BLOKÓW ENERGETYCZNYCH

Józef PASKA[1], Mariusz KŁOS[1], Łukasz ROSŁANIEC[1], Rafał BIELAS[2], Magdalena BŁĘDZIŃSKA[2], Marek GŁAZ[3]

1. Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej
   tel.: 22 234 58 64; e-mail: Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl
2. Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, studia doktoranckie
   tel.: 22 234 56 13; e-mail: bielasr@ee.pw.edu.pl
3. Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA
   e-mail: marek.glaz@pse.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wpływ niskich poziomów napięć na funkcjonowanie newralgicznych odbiorników układów potrzeb własnych wybranych bloków wytwórczych pracujących w KSE. Określono graniczne czasy pracy dla tych odbiorników przy niskich poziomach napięć w KSE oraz dopuszczalne, zaniżone poziomy napięć w obwodach wtórnych układów potrzeb własnych rozpatrywanych bloków wytwórczych, przy których blok wytwórczy jest w stanie współpracować z systemem elektroenergetycznym. Zaproponowano sposoby modernizacji układów potrzeb własnych umożliwiające współpracę bloku wytwórczego z KSE przy znacznie zaniżonych napięciach w systemie elektroenergetycznym.

Słowa kluczowe: stany awaryjne systemu elektroenergetycznego, stabilność napięciowa, bloki energetyczne, zasilanie potrzeb własnych

1. WSTĘP

Generatory blokowe muszą być w stanie pracować z napięciami innymi niż znamionowe. Wynika to z faktu zmienności punktu pracy systemu elektroenergetycznego, objawiającej się zmianami napięć węzłowych. Synchroniczna współpraca elektrowni z systemem elektroenergetycznym w okresach chwilowych przeciążeń systemu mocą czynną lub bierną indukcyjną, które skutkują utrzymywaniem się zaniżonych poziomów napięć, jest ściśle zależna od:

- topologii układu wyprowadzenia mocy,
- topologii układu zasilania potrzeb własnych blokowych i ogólnych elektrowni,
- zdolności wytwarzania mocy biernej rozpatrywanego generatora,
- zastosowanych układów regulacji napięcia generatorów blokowych,
- topologii stacji systemowych.

Niezależnie od warunków napięciowych panujących w KSE, mających bezpośredni wpływ na pracę turbogeneratora blokowego dołączonego do systemu, układy pomocnicze elektrowni odpowiedzialne za stabilną pracę bloku/ów powinny zachować swoją funkcjonalność. Każda elektrownia jest wyposażona w cały szereg urządzeń pomocniczych, takich jak pompy, wentylatory, urządzenia do transportu i przygotowania paliwa, urządzenia do usuwania popiołu i żużla, układy napięcia gwarantowanego, instalacje oświetleniowe. Większość tych urządzeń jest napędzana za pomocą silników elektrycznych. Są one zasilane z własnej sieci rozdzielczej za pośrednictwem oddzielnych transformatorów i rozdzielni. Wszystkie te urządzenia tworzą Układy Potrzeb Własnych (UPW) i są bezpośrednio odpowiedzialne za zapewnienie wysokiej niezawodności pracy całej elektrowni. W nowoczesnych elektrowniach moc wszystkich urządzeń potrzeb własnych wynosi ok. 10% mocy zainstalowanej elektrowni. Przerwy w zasilaniu układu potrzeb własnych mogą doprowadzić do wyłączenia z ruchu kotła i turbozespołu, co może dalej pociągnąć za sobą lawinowy spadek napięcia w kolejnych węzłach systemowych i w efekcie doprowadzić do ciężkiej awarii systemowej.

2. NAJWAŻNIEJSZE ELEMENTY BLOKU ENERGETYCZNEGO Z PUNKTU WIDZENIA POPRAWNEJ PRACY PRZY ZANIŻONYCH NAPIĘCIACH

Najważniejszym urządzeniem bloku energetycznego, na które negatywy wpływ ma zaniżona wartość napięcia na szynach WN jest oczywiście generator. Niemniej jednak samo zaniżenie napięcia nie stanowi na ogół bezpośredniego problemu. Bezpośrednim zagrożeniem jest zwiększony przepływ prądu związany z utrzymywaniem lub zwiększaniem przepływu mocy przez generator. Zdecydowana większość generatorów pracujących w KSE zaprojektowana została do pracy w zakresie 95–105% napięcia nominalnego. W przypadku generacji całej dopuszczalnej mocy pozornej obniżenie się wartości napięcia poniżej 95% napięcia nominalnego rozpocznie proces przegrzewania generatora związany z przekroczeniem dopuszczalnych wartości prądu. Czas w trakcie, którego nastąpi konieczność odłączenia generatora ze względu na możliwość jego przegrzania i w konsekwencji uszkodzenia zależy od wielu czynników, z których główne to: temperatura generatora przed przeciążeniem, temperatura otoczenia generatora i jego chłodziwa, a także poziom przekroczenia dopuszczalnej wartości prądu.

Bardzo duży wpływ na możliwość utrzymania poprawnego napięcia na zaciskach generatora ma transformator blokowy. W KSE większość transformatorów blokowych ma wyższą wartość napięcia nominalnego uzwojenia WN niż nominalna wartość napięcia w sieci WN, do której jest

przyłączony. Związane jest to z faktem, że węzły elektrowniane są punktami systemu, które z natury pracują z podwyższonym napięciem. Z tego powodu blok, który nie posiada podobciążeniowego regulatora zaczepów transformatora, w sytuacji gdy wartość napięcia w KSE spada, ma utrudnione warunki pracy w stosunku do bloku, który taki regulator posiada. Wyposażenie bloku energetycznego w transformator z podobciążeniowym regulatorem zaczepów nie jest jednak gwarantem utrzymania bloku w pracy ciągłej. Dzieje się tak, gdyż regulatory te mają ograniczony zakres regulacji, oraz posiadają blokadę, która uniemożliwia przełączanie zaczepów przy obciążeniu transformatora prądem nominalnym.

Bardzo ważne z punktu widzenia utrzymania poprawnej pracy bloku jest także zasilenie układu potrzeb własnych. Urządzenia układu potrzeb własnych elektrowni można kategoryzować pod względem ruchowym [1–8]. Normalnie dzieli się je na trzy kategorie pod względem ważności.

- Kategoria I – należą do niej urządzenia pomocnicze, których nawet kilkusekundowe unieruchomienie powoduje zatrzymanie ruchu urządzenia technologicznie nadrzędnego: turbozespołu lub kotła. Czasy dopuszczalnych przerw w ruchu dla tych urządzeń wynoszą do kilku sekund (np.: młyny i wentylatory kotłowe - 4÷8 s, pompa wody chłodzącej - ok. 10 s, pompa olejowa turbozespołu - 3÷6 s).
- Kategoria II – to urządzenia, w przypadku których dopuszcza się kilkuminutowe przerwy w ruchu, na czas niezbędny do ręcznego uruchomienia (w przypadku błędu automatyki SZR) jednostek rezerwowych lub przełączenia na zasilanie rezerwowe.
- Kategoria III – zaliczają się do niej urządzenia związane z ruchem urządzenia nadrzędnego, które można wyłączyć na dłuższy okres czasu w celu dokonania naprawy lub wymiany przy uwzględnieniu wydajności wyzyskiwanego w tym czasie zasobnika.

Do kategorii I i II należą urządzenia potrzeb własnych blokowych związane bezpośrednio z ruchem kotłów i turbozespołów. Do kategorii III należą głównie urządzenia potrzeb własnych ogólnych.

Można wyróżnić kilka zjawisk mających negatywny wpływ na pracę poszczególnych urządzeń bloku przy niskim poziomie napięcia w KSE. Wśród nich są:

- redukcja momentu obrotowego napędów, co w konsekwencji może doprowadzić do ich zatrzymania,
- zwiększenie strat obciążeniowych w transformatorach,
- wzrost strat w silnikach indukcyjnych co może spowodować przegrzanie uzwojeń silnika, uszkodzenie izolacji uzwojeń i jego zniszczenie,
- problemy z samorozruchem grupowym silników,
- przejście na pracę bateryjną układów UPS i rozdzielni DC,
- zadziałanie zabezpieczeń przeciążeniowych działających na wyłączniki zasilania podstawowego silników,
- wzrost strat obciążeniowych w przewodach zasilających poszczególne urządzenia układu potrzeb własnych blokowych i ogólnych elektrowni.

Znaczna część najbardziej newralgicznych urządzeń potrzeb własnych to po prostu układy napędowe przyłączane przez łączniki mechaniczne do sieci zasilającej. W związku z tym, graniczną bezpieczną wartością napięcia zasilającego układy potrzeb własnych jest 95% napięcia nominalnego. Związane jest to także z możliwością przeciążenia i przegrzania silnika elektrycznego spowodowane przepływem prądu o wartości wyższej od dopuszczalnej.

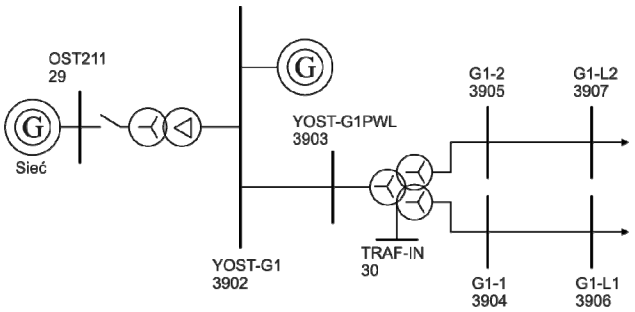
Rozpatrując dopuszczalne poziomy napięć na szynach WN bloków w elektrowniach pod względem możliwości utrzymania ich w pracy ciągłej przy zaniżonych napięciach, należy rozważyć możliwość utrzymania wartości napięcia nie niższej niż 95% na szynach generatora oraz na szynach zasilających układy potrzeb własnych. Jedynie przy spełnieniu tych warunków, istnieje pewność, że poziom napięcia nie wywoła konieczności wyłączenia bloku. Możliwość utrzymania tych poziomów zależy od: struktury bloku, parametrów generatora, dostępnej mocy biernej, możliwości podobciążeniowej regulacji zaczepów transformatora blokowego oraz transformatora odczepowego.

3. MODELE WYBRANYCH BLOKÓW ENERGETYCZNYCH

W celu przeanalizowania granicznych wartości napięcia na szynach WN pozwalających na ciągłą pracę zbudowano 5 modeli symulacyjnych w środowisku PSLF [9]. Analizie poddano [10]: Blok 1 Elektrowni Ostrołęka, Blok 9 Elektrowni Pątnów, Blok 14 Elektrowni Bełchatów, Blok gazowo-parowy w Elektrociepłowni Zielona Góra, Blok 3 Elektrowni Opole.

Przykładowy model bloku wykonany w środowisku PSLF zaprezentowano na rysunku 1. Model ten składa się z: szyny OST211 220 kV użytej jako węzeł bilansujący utrzymujący napięcie niezależnie od przepływu mocy, transformatora blokowego, szyny YOST-G1, do której przyłączony jest generator oraz trójuzwojeniowy transformator zasilający potrzeby własne. Ponadto model rozszerzono o dodatkowe (praktycznie bezimpedancyjne) linie pozwalające na łatwiejszy podgląd parametrów prądu. Szyna TRAF-IN jest dodatkową szyną wymaganą przez program PSLF w przypadku zastosowania transformatora trójuzwojeniowego. Jest to szyna wewnętrzna transformatora i jej parametry nie podlegają analizie.

Dane bazowe (transformatorów oraz generatora) potrzebne do stworzenia omawianych modeli otrzymano dzięki uprzejmości operatorów analizowanych bloków [11] oraz przy wykorzystaniu ogólnodostępnych danych.

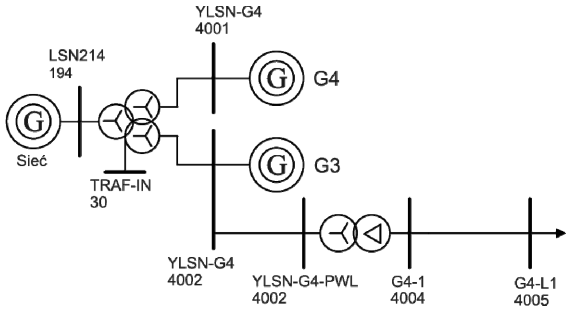


Rys. 1. Schemat modelu bloku energetycznego Elektrowni Ostrołęka

Nieco bardziej złożony schemat modelu symulacyjnego był wymagany w przypadku bloku gazowo-parowego Elektrociepłowni Zielona Góra. Związane jest to z obecnością dwóch turbin oraz dwóch generatorów, a także zastosowaniem transformatora dwuuzwojeniowego do zasilania potrzeb własnych. Schemat tego modelu zaprezentowano na rysunku 2.

W przypadku bloku 14 Elektrowni Bełchatów zachodziła potrzeba modelowania dwóch transformatorów blokowych połączonych równolegle, ponieważ taki właśnie układ

(ze względu na znaczną moc bloku) został tam zastosowany. Schematy modeli Bloków Elektrowni Opole oraz Elektrowni Pątnów nie zostały przedstawione w artykule gdyż są one identyczne jak schemat dla Elektrowni Ostrołęka.



Rys. 2. Schemat modelu bloku energetycznego Elektrowni Zielona Góra

4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH OPRACOWANYCH MODELI

Opracowane modele przebadano przy spełnieniu następujących warunków:

- bloki generowały maksymalną moc czynną i bierną,
- badane zjawiska mają charakter ciągły, a nie przejściowy,
- regulatory zaczepów osiągnęły swoje położenia graniczne.

Przygotowane modele sprawdzono w wielu stanach pracy (wartościach napięcia po stronie WN) niemniej jednak, dwa z tych stanów są najistotniejsze z punktu widzenia poprawnego funkcjonowania badanych bloków. Pierwszy to stan, w którym możliwe jest utrzymanie napięcia zasilającego SN w UPW na poziomie 95% wartości nominalnej, natomiast drugi to stan, w którym możliwe jest utrzymanie napięcia 95% wartości nominalnej na szynach generatora.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie porównawcze wyników analiz napięciowych modeli rozpatrywanych bloków. Najlepiej przygotowanym blokiem do utrzymania napięcia SN UPW w granicach dopuszczalnych przy obniżeniu napięcia na szynach WN jest blok 14 Elektrowni Bełchatów. Utrzymanie napięcia na szynach SN UPW jest możliwe nawet, gdy napięcie na szynach WN spadnie do wartości 76% U_N. Z punktu widzenia możliwości utrzymania generatora w pracy (w granicach dopuszczalnej regulacji napięcia) przy zaniżonych napięciach na szynach WN najlepszy okazuje się blok gazowo-parowy Elektrociepłowni Zielona Góra. Praca generatora jest nadal możliwa przy 83% UN na szynach WN.

Analizy modeli symulacyjnych wykazały, że najbardziej niekorzystnie przedstawia się sytuacja w przypadku Elektrowni Ostrołęka, która nie posiada możliwości podobciążeniowej regulacji zaczepów transformatora blokowego. W związku z tym, utrzymanie napięcia wymaganego do poprawnej pracy generatora możliwej jest jedynie, gdy napięcie na szynach WN bloku jest równe lub przekracza 105% wartości nominalnej. Tak wysoka wartość jest związana z zaprojektowaniem transformatora blokowego w taki sposób, aby miał zawyżone napięcie nominalne górnej strony względem napięcia nominalnego sieci, do której strona ta jest przyłączona. Takie wykonanie transformatora blokowego jest zgodne ze sztuką inżynierską, ponieważ elektrowniane węzły systemów elektroenergetycznych pracują z natury z podwyższoną wartością napięcia w porównaniu do węzłów odbiorczych. Badany blok Elektrowni Ostrołęka do utrzymania odpowiedniego poziomu napięcia w UPW wymaga napięcia o wartości przynajmniej 90% napięcia nominalnego na szynach WN.

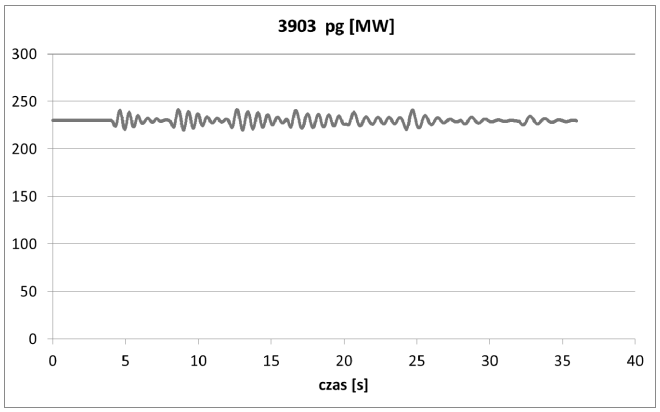
Tablica 1. Wyniki analizy wymaganych poziomów napięcia po stronie szyn WN do utrzymania poprawnej pracy analizowanych bloków

Elektrownie i elektrociepłownie	Graniczna wartość napięcia na szynach WN pozwalająca utrzymać minimalne (0,95) napięcie zasilania potrzeb własnych [p.u.]	Graniczna wartość napięcia na szynach WN pozwalająca utrzymać minimalne (0,95) napięcie generatora [p.u.]
E. Ostrołęka	0,9	1,05
E. Pątnów	0,83	0,94
E. Bełchatów	0,76	0,88
EC Zielona Góra	0,81	0,83
E. Opole	0,8	0,89

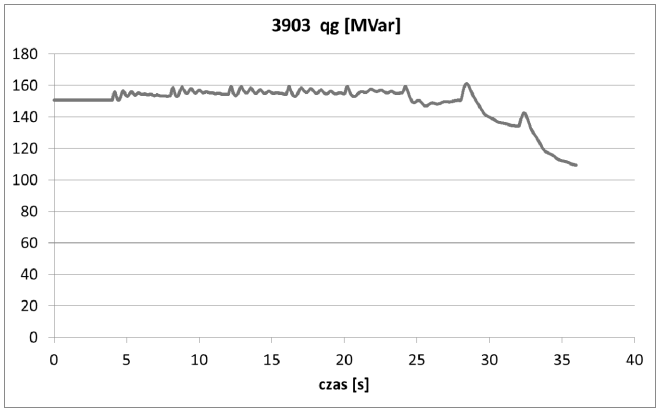
5. MODELE DYNAMICZNE BLOKÓW WYTWÓRCZYCH

W celu wykonania analizy dynamicznej, w dalszym etapie, modele statyczne rozpatrywanych bloków wytwórczych zostały rozszerzone o dodatkowe bloki funkcjonalne. Następnie przeprowadzono badanie polegające na sukcesywnym skokowym obniżaniu poziomu napięcia na szynach WN stacji systemowych współpracujących z badanymi blokami od wartości 1,1 p.u. do wartości 0,7 p.u. napięcia nominalnego. Badanie wykonywano za pomocą skokowych zmian napięcia o wartość 0,05 p.u. co 4 sekundy.

Zachowanie regulatorów dla poszczególnych elektrowni było podobne w związku z czym zamieszczone zostały wyłącznie wyniki dla bloku w Elektrowni Ostrołęka (rys. 3, 4).



Rys. 3. Moc czynna generatora badanego bloku Elektrowni Ostrołęka



Rys. 4. Moc bierna generatora badanego bloku Elektrowni Ostrołęka

Na podstawie rysunków 3 i 4 można zauważyć, że praca generatorów przy napięciu niższym niż znamionowe prowadzi do znacznych ograniczeń w produkcji mocy biernej, a co za tym idzie pogorszenia możliwości regulacyjnych napięcia na zaciskach wyjściowych generatora blokowego.

Przesunięcie punktu pracy turbogeneratora w obszary pracy niedozwolonej przeważnie powoduje odłączenie bloku od KSE. W celu uniknięcia takiej sytuacji aktywowane zostają główne ograniczniki regulatora napięcia turbogeneratora. Chronią one turbogenerator przed zniszczeniem w wyniku utraty możliwości regulacyjnych wynikających z nastaw regulatora napięcia lub/i parametrów konstrukcyjnych turbogeneratora.

Zwiększenie generacji mocy biernej generatorów pracujących w KSE poprzez zmniejszenie generacji mocy czynnej wymaga obszarowego bilansowania systemu innymi dostępnymi środkami, np. poprzez wzrost udziału technologii magazynowania energii elektrycznej, baterii kondensatorów, generacji rozproszonej, przeniesienia produkcji mocy czynnej na inne źródła nie objęte interwencyjnym zmniejszeniem generacji mocy czynnej itp., celem uniknięcia lawiny napięciowej [12].

6. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Wykonane analizy wykazały, że nowobudowane bloki dołączane do KSE są zdecydowanie bardziej odporne na obniżenie się napięcia na szynach WN niż bloki dotychczas użytkowane. Związane jest to z wyposażeniem nowobudowanych bloków w podobciążeniowe regulatory zaczepów transformatorów blokowych. Wynika z tego także, że modernizacja bloków dotychczas eksploatowanych powinna uwzględniać instalowanie transformatorów blokowych z regulacją zaczepów. Ponadto w miarę możliwości regulacja zaczepów powinna być możliwa nawet w sytuacji, gdy prąd transformatora blokowego nieznacznie przekracza wartość nominalną. Umożliwi to dalszą regulację zaczepów przy obniżeniach wartości napięcia w KSE, które charakteryzować się będą większą dynamiką.

Wykonane badania wskazują także, że niewielki wpływ na poprawę poziomu napięcia generatora lub UPW ma moc bierna wytwarzana przez generator. Ma to związek z niską impedancją transformatorów blokowych, która ze względu na swą wartość nie wywołuje znacznego spadku napięcia.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ABB Energy Efficiency Handbook: Power Generation – Energy Efficient Design of Auxiliary Systems in Fossil-Fuel Power Plants. ABB and Rocky Mountain Institute (USA).
2. Andrzejewski S.: Podstawy Projektowania Siłowni Cieplnych, WNT, Warszawa 1972.
3. Gosztowt W.: Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle, WNT, Warszawa 1971.
4. Mroczkowski Z.: Układy elektryczne potrzeb własnych elektrowni parowych, WNT, Warszawa 1968.
5. Nehrebecki L.: Elektrownie cieplne, WNT, Warszawa 1974.
6. Paska J.: Wytwarzanie energii elektrycznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
7. Pawlik M., Strzelczyk F.: Elektrownie, WNT, Warszawa 2009.
8. Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera elektryka, WNT, Warszawa 2011.
9. GE PSLF User's Manual.
10. Wpływ niskich poziomów napięć w systemie elektroenergetycznym na pracę bloku wytwórczego na przykładzie wybranych elektrowni KSE ze szczególnym uwzględnieniem układów potrzeb własnych bloku. Praca dla PSE Operator SA. Instytut Elektroenergetyki PW. Etap I – listopad 2013, Etap II – grudzień 2014.
11. Dokumentacja dotycząca układów potrzeb własnych przekazana przez El. Ostrołęka, El. Bełchatów, El. Opole, El. Pątnów, EC Zielona Góra.
12. Machowski J.: Regulacja i stabilność systemu elektroenergetycznego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.

ASSESSMENT OF VOLTAGE LEVEL IN TRANSMISSION NETWORK IMPACT ON AUXILIARY SYSTEMS OF GENERATING UNITS' FUNCTIONING

The paper presents the effect of low voltage levels on the operation of critical receivers in auxiliary systems of chosen generating units working in the Polish National Power System. Time limits were specified for these receivers at conditions of low voltage levels in the Polish National Power System and acceptable, understated voltage levels in secondary circuits of auxiliary systems of generating units. The possible problems which might be observed in internal power plant infrastructure were also described.

The paper contains the results of static and dynamic tests that were performed for five generation units operated in powers for a variety voltage level issues. The test were conducted at conventional coal fueled power plants but also for combined gas-steam power plant. The result of the tests conducted is set of border parameters which allow for uninterrupted operation of tested units. The ways of auxiliary systems modernization and of power transformer enabling the cooperation of the generating unit with the NPS at abnormally low voltages in the power system were proposed.

Keywords: voltage stability, power supply, emergency state of power system