

J. TRYNKIEWICZ

Katedra Elektroenergetyki
Politechniki Śląskiej

NOWE ROZWIĄZANIA ZABEZPIECZEŃ ZIEMNOZWARCIOWYCH BLOKU GENERATOR-TRANSFORMATOR

Charakterystyczną cechą pracy generatora w układzie blokowym z transformatorem, z punktu widzenia zabezpieczeń ziemnozwarciowych uzwojeń stojana generatora, jest galwaniczne oddzielenie zasilanej sieci od uzwojeń stojana. Jeżeli na odczepie bloku, z którego zasilana jest rozdzielnia potrzeb własnych znajduje się także transformator, uzwojenie stojana jest galwanicznie oddzielone także od sieci potrzeb własnych co ma miejsce dla bloków o mocach generatora 50 MW i więcej.

Maksymalny prąd zwarcia z ziemią uzwojeń stojana i połączonych z nimi galwanicznie uzwojeń strony dolnej transformatora blokowego i uzwojeń strony górnej transformatora odczepowego jest mały i zawiera się w granicach 1-3 A zależnie od typu generatora. Tak małe wartości prądu zwarcia z ziemią nie powodują dużych uszkodzeń czynnego żelaza stojana i w zasadzie nie zachodzi konieczność wyłączenia bloku z ruchu, a w każdym razie wyłączenia natychmiastowego.

Wartość prądu zwarcia z ziemią ulega wielokrotnemu jednak zwiększeniu w wyniku stosowania pierwotnej lub wtórnej dodatkowej impedancji uziemiającej, która w schemacie dla składowej symetrycznej zerowej jest włączona równolegle do pojemności doziemnych uzwojeń stojana.

Stosowanie tej impedancji jest związane z dwoma zagadnieniami. W układzie równolegle połączonych pojemności doziemnych uzwojeń stojana i reszty obwodów z nieliniowymi impedancjami gałęzi magnesowania przekładników napięciowych może wystąpić ferrozrezonans, w wyniku którego napięcia doziemne generatora mogą osiągać znaczne wartości zagrażające izolacji uzwojeń. Podczas występowania ferrozrezonansu, w układzie

pomiaru składowej zerowej napięć doziemnych generatora występuje bardzo duża wartość napięcia ze znaczną zawartością nadharmonicznych i podharmonicznych. W tej sytuacji następuje błędne działanie zabezpieczenia ziemnozwarciowego.

Możliwości wystąpienia zjawiska ferorozonansu można zapobiec albo przez włączenie dodatkowej impedancji uziemiającej o której była mowa wyżej, albo przez zastosowanie przekładników napięciowych o takiej konstrukcji, aby w zakresie napięć roboczych generatora charakterystyka gałęzi magnesowania przekładników była liniowa.

To ostatnie rozwiązanie jest godne zalecenia, gdyż jest najbardziej celowe pod względem technicznym. Drugim zagadnieniem z którym wiąże się stosowanie dodatkowej impedancji uziemiającej jest zagadnienie przenoszenia się składowej zerowej napięcia jaka występuje w zasilanej sieci podczas występujących tam zakłóceń (głównie zwarć jednofazowych) na stronę dolnego napięcia bloku poprzez pojemności międzyuzwojeniowe transformatora blokowego.

Wszystkie stosowane zabezpieczenia ziemnozwarciowe uzwojeń stojana, nazywane dalej zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi bloku, opierają zasadę swego działania na pomiarze składowej zerowej napięć doziemnych generatora. Przeniesiona wartość składowej zerowej napięcia z sieci jest dla tych zabezpieczeń napięciem uchybowym, zatem aby nie było nieprawidłowych zadziałań muszą być nastawione na wartość nieco większą od spodziewanych największych przeniesionych wartości składowej zerowej. Konsekwencją tego jest dość duża wartość strefy martwej zabezpieczenia obejmującej punkt gwiazdowy uzwojeń stojana oraz pewien procent zwojów liczonych od tego punktu. Podczas zwarć z ziemią w tej strefie składowa zerowa napięć doziemnych generatora jest mniejsza od wartości rozruchowej zabezpieczenia. Chcąc zmniejszyć długość strefy martwej należy zmniejszyć wartość rozruchową, a to jest możliwe jedynie przez zmniejszenie przenoszonej wartości składowej zerowej napięcia. Ostatnie w stosowanych zabezpieczeniach uzyskuje się drogą włączenia dodatkowej impedancji uziemiającej w wyniku czego zwiększa się spadek składowej zerowej napięcia sieci na pojemności międzyuzwojeniowej. Stosowanie dodatkowej impedancji uziemiającej w przypadku bloków

o mocach do ok. 100 MW i górnych napięciach transformatora blokowego do 110 kV przy założonej długości strefy martwej 5-10% nie powoduje jeszcze bardzo wyraźnego zwiększenia się wartości maksymalnego prądu zwarcia z ziemią. Dla wyjaśnienia: maksymalny prąd zwarcia z ziemią płynie podczas zwarc z ziemią jednego z zacisków wyjściowych generatora.

Zastosowanie typowych zabezpieczeń ziemnozwarciowych dla bloków o mocach powyżej 100 MW i napięciach strony górnej powyżej 110 kV przy tej samej długości strefy martwej pociąga za sobą potrzebę stosowania małych impedancji dodatkowych co wynika ze zwiększonej przekładni transformatora blokowego i zwiększonej pojemności międzyuzwojeniowej.

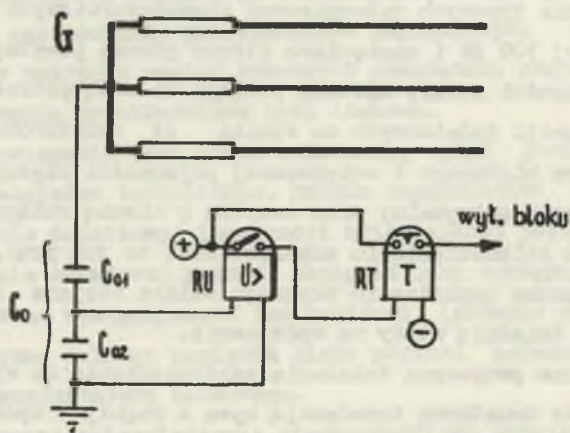
W wyniku tego maksymalny prąd zwarcia z ziemią osiąga wartość od kilkunastu do kilkadziesiątu amperów. Jest to już prąd, który może powodować znaczne uszkodzenie czynnego żelaza stojana i zabezpieczenia z zasady działają wtedy na wyłączenie.

Inną jeszcze przyczyną działania zabezpieczenia na wyłączenie bloku jest to, że dodatkową impedancją bywa z reguły oporność czynna. Oporniki uziemiające są obliczone na krótkotrwały przepływ prądu (ok. 20 s), bowiem przy wydzielanej mocy rzędu 100 kW długotrwała wytrzymałość cieplna tych oporników wiązałaby się ze znacznymi ich gabarytami. W razie stosowania zabezpieczeń w układzie z takimi opornikami po zaistnieniu zwarcia z ziemią musi być wyłączany cały blok, albo wyłączany opornik z czym z kolei wiąże się potrzeba stosowania dodatkowego wyłącznika.

Trudności tych można w typowych zabezpieczeniach uniknąć stosując zamiast oporników uziemiających pojemnościowy dzielnik napięcia włączony pomiędzy punkt gwiazdowy uzwojeń stojana i ziemię^{x)}. Rozwiązanie takie ma jeszcze tę zaletę, że stłumione zostają przepięcia ziemnozwarciowe do wartości pomijalnie małych. Układ taki został pokazany na rys. 1. Pojemność C_0 jest tak dobrana, aby przenieszona wartość

^{x)} Pat. nr 51035 pt. "Zabezpieczenie ziemnozwarciowe bloku energetycznego generator-transformator". Autorzy: mgr inż. Józef Trynkiewicz, mgr inż. Janusz Sajkowski.

składowej zerowej napięcia wynosiła nie więcej niż ok. 3% fazowego napięcia generatora. Wtedy przy założonej strefie martwej 5% i odpowiadającym temu założeniu nastawieniu przełącznika nadnapięciowego RU nie będzie nieprawidłowych działań zabezpieczenia podczas zakłóceń w sieci. Z kolei pojemności C_{o1} i C_{o2} są tak dobrane, aby podczas zwar-

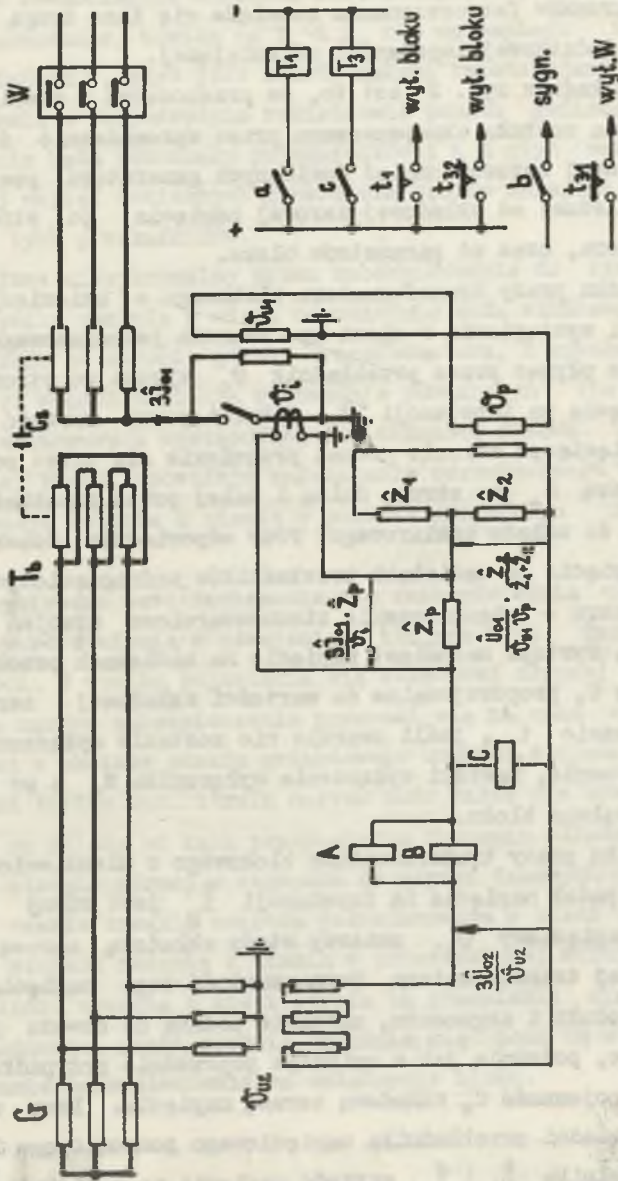


Rys. 1. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe bloku generator-transformator z pojemnościowym dzielnikiem napięcia

cia z ziemią na jednym z zacisków generatora napięcie punktu gwiazdowego, równe wtedy napięciu fazowemu, podzielilo się w takiej proporcji, aby wartość napięcia na pojemności C_{o2} nie była niebezpieczna i dogodna dla zastosowania przełącznika. Zwykle wybiera się napięcie w zakresie 100-300 V.

Kilka zabezpieczeń tego rodzaju pracuje już w kraju i wyniki ich eksploatacji są w pełni zadowalające. Opisane zabezpieczenie nie zmniejsza jednak w sposób wyraźny wartości maksymalnego prądu zwarcia z ziemią. Opracowano zatem nowy układ zabezpieczenia^{x)}, pokazany na

^{x)} Pat. nr 56858 pt. "Układ zabezpieczenia ziemnozwarciowego bloku energetycznego generator transformator stosowany w szczególności do bloków najwyższych mocy" Autorzy: mgr inż. Józef Trynkiewicz, mgr inż. Janusz Sajkowski.



rys. 2. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe bloku generator-transformator o małym prądzie zwarcia z ziemią

rys. 2, który charakteryzuje się małym prądem zwarcia z ziemią. Oczywiście zaleta ta tylko wtedy wystąpi jeżeli odstrojenie parametrów bloku od warunków ferrozrezonansu rozwiąże się inną drogą niż przez zastosowanie dodatkowej impedancji uziemiającej.

Istotą układu z rys. 2 jest to, że przenoszona z sieci składowa zerowa napięcia została skompensowana przez wprowadzenie do obwodu pomiaru składowej zerowej napięć doziemnych generatora pewnej wartości napięcia zależnej od składowej zerowej napięcia po stronie górnej transformatora, oraz od parametrów bloku.

W przypadku pracy transformatora blokowego z uziemionym punktem gwiazdowym i wystąpienia w sieci np. zwarcia jednofazowego, składowa zerowa prądu płynąc przez przekładnik \hat{U}_1 wywoła po stronie wtórnej spadek napięcia na impedancji \hat{Z}_p . Z kolei pewna wartość składowej zerowej napięcia po stronie górnej przeniesie się przez pojemność międzyuzwojeniową C_g na stronę dolną i dalej przez przekładniki napięciowe \hat{U}_{u2} do układu pomiarowego. Przy odpowiednim doborze impedancji \hat{Z}_p napięcie na zaciskach przekładników nadnapięciowych A i B będzie równe zero - zabezpieczenie ziemnozwarciowe uzwojeń stojana nie pobudzi się. Wystąpi natomiast napięcie na zaciskach przekładnika nadnapięciowego C, proporcjonalne do wartości składowej zerowej prądu $3 \hat{I}_{o1}$. Po czasie t_{31} , jeśli zwarcie nie zostanie wyłączone przez inne zabezpieczenie, nastąpi wyłączenie wyłącznika W, a po czasie t_{32} wyłączenie całego bloku.

W przypadku pracy transformatora blokowego z nieuziemionym punktem gwiazdowym spadek napięcia na impedancji \hat{Z}_p jest równy zero, ale przekładnik napięciowy \hat{U}_{u1} zmierzy wtedy składową zerową napięć po stronie górnej transformatora. Pewna wartość tego napięcia, skorygowana co do modułu i argumentu, zostanie podana do obwodu pomiarowego i skompensuje, podobnie jak w opisanym poprzednio przypadku, przeniesioną przez pojemność C_g składową zerową napięcia. Przy odpowiednim doborze przekładni przekładnika napięciowego pomocniczego \hat{U}_p oraz impedancji dzielnika \hat{Z}_1 i \hat{Z}_2 , wartość napięcia na zaciskach przekładników A i B będzie równa zero, natomiast przekładnik C pobudzi się i dalsze jego działanie będzie takie jak w poprzednim przypadku. Jeżeli wy-

stąpi zwarcie z ziemią po stronie dolnego napięcia bloku, a w sieci nie występuje równocześnie składowa zerowa napięcia, przekładniki A i B zostaną pobudzone, bowiem na \hat{Z}_p i \hat{Z}_2 nie ma napięć. Nie będzie działał przekładnik C, gdyż jest zwarty małymi impedancjami \hat{Z}_p i \hat{Z}_2 . Zwarcia z ziemią w bezpośrednim sąsiedztwie punktu gwiazdowego uzwojeń stojana nie będą pobudzały przekładników A i B gdyż wartość składowej zerowej napięć doziemnych generatora będzie mniejsza od napięcia rozruchu tych przekładników.

Stan ten jest niewykrywalny przez zabezpieczenie do czasu, aż pojawi się w wyniku zwarcia w sieci odpowiednio duża składowa zerowa napięcia lub prądu po stronie górnej transformatora, a wywołany jedną z tych wielkości spadek napięcia w obwodzie pomiarowym (na \hat{Z}_p lub \hat{Z}_2) dodając się wektorowo z występującą już składową zerową napięć po stronie dolnej bloku, spowoduje zadziałanie bezzwłocznego przekładnika B i sygnalizację zwarcia z ziemią w punkcie gwiazdowym uzwojeń stojana.

Charakterystyczne jest zachowanie się zabezpieczenia podczas równoczesnych zwarć z ziemią w uzwojeniach stojana i np. zwarć jednofazowych w sieci. W wyniku pojawienia się składowej zerowej napięcia w sieci strefa martwa zabezpieczenia przenosi się na czas występowania tej składowej z okolicy punktu gwiazdowego uzwojeń stojana w inny punkt uzwojeń trzech faz. Strefa martwa może także nie obejmować uzwojeń stojana co zależy od kąta przesunięcia fazowego składowej zerowej napięcia po stronie górnej w stosunku do napięć fazowych generatora.

Jeżeli w czasie trwania zwarcia jednofazowego w sieci wystąpi w uzwojeniach stojana zwarcie z ziemią w przeniesionej strefie martwej, to po ustąpieniu zwarcia w sieci strefa ta przeniesie się w okolice punktu gwiazdowego, punkt zwarcia znajdzie się poza tą strefą i nastąpi działanie zabezpieczenia na wyłączenie bloku.

Ю. Трынкевич
Кафедра Электроэнергетики
Силезского Политехнического Института
Гливице

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ ЗАЩИТ БЛОКА ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

К р а т к о е с о д е р ж а н и е

Трудности, возникшее в результате применения для земляных защит блоков генератор-трансформатор заземляющих сопротивлений, включенных в первичной или вторичной цепях, явились причиной исполнения и испытания защиты^{x)} с применением емкостного делителя напряжения, включенного между нулевой точкой обмотки статора генератора а землей.

Емкость C_0 подобрана с расчетом возможности уставки защиты с мертвой зоной порядка 3-5%. Очень полезным свойством является то, что емкостный делитель напряжения способствует затуханию перенапряжений, возникающих при к.з. на землю и противодействует возникновению феррорезонанса. Защита нечувствительна на гармонические напряжения и имеет длительную термическую устойчивость.

Применяемые, в настоящее время, земляные защиты блоков характеризуются большой величиной тока в обмотках статора генератора при к.з. с землей.

^{x)} Патент № 51035 "Земляная защита энергетического блока генератор-трансформатор". Авторы: mgr инж. Юзеф Трынкевич, mgr инж. Януш Сайковски.

С целью устранения этого недостатка принято решение^{хх}), представленное на рис. 2.

В этой системе нулевая составляющая напряжения перенесенная на сторону нижнего напряжения компенсируется введением в измерительную систему падений напряжения на импедансах \hat{Z}_p и \hat{Z}_2 . В качестве реле А, В, С применяются реле максимального напряжения.

Реле А действует на отключение блока с выдержкой времени, реле В сигнализирует короткие замыкания вблизи нулевой точки обмотки статора, реле С с первой степеню выдержки времени действует на отключение выключателя W, а с второй степеню выдержки — на отключение блока. Реле С защищает блок от к.з. с землей на стороне верхнего напряжения и сети.

При возникновении нулевой составляющей напряжения в сети (нпр. однофазное к.з.) напряжение с трансформатора напряжения U_{u2} вычитывается от напряжений на импедансах \hat{Z}_p и \hat{Z}_2 , при этом реле А и В не действуют, а действует реле С. Если одновременно с к.з. в сети выступит еще к.з. в обмотке статора, тогда действуют все три реле. Реле А и В в особых случаях, могут не действовать, что зависит от взаимного положения векторов нулевой составляющей напряжения в сети, нулевой составляющей напряжения на нижней стороне, а также от параметров блока. Если этот особенный случай к.з. выступил в обмотке статора, то после отключения к.з. в сети задействуют реле А и В.

Шертвая точка защиты является "шагающей" зоной и ее положение связано с концом вектора нулевой составляющей напряжения в сети.

^{хх}) Патент № 56858 "Система земляной защиты энергетического блока генератор-трансформатор, применяемая в особенности для блоков сверхбольших мощностей". Авторы: mgr инж. Юзеф Трынкевич, mgr инж. Януш Сайковски.

Во время нормальной работы сети мертвая зона защиты находится в области нулевой точки обмотки статора. Короткое замыкание с землей в этой зоне сигнализируется мгновенным реле В тогда, когда в сети выступит даже кратковременное к.з. с землей.

Ток к.з. с землей на стороне нижнего напряжения создается только емкостью обмотки статора с землей. Таким образом, он не велик и может быть еще уменьшен за счет компенсации при помощи реактора. В этом случае следует применить специальные трансформаторы напряжения, противодействующие выступлению феррорезонанса.

ПОДПИСИ ПОД РИСУНКАМИ

Рис. 1. Земляная защита блока генератор-трансформатор с емкостным делителем напряжения.

Рис. 2. Земляная защита блока генератор-трансформатор с малыми токами к.з. с землей.

J. Trynkiewicz
Chair of Electrical Power Systems
Technical University of Gliwice

NEW GROUND - FAULT PROTECTION
OF GENERATOR - TRANSFORMER UNITS

S u m m a r y

The difficulties arising as a result of application of earthing resistors, both primary and secondary, in earth-fault protections, have given rise to manufacturing and investigation of protection^{x)} using capacitance voltage divider (Fig. 1) placed between star point of stator windings and earth.

The setting of capacitance C_0 is chosen to enable protection adjustment with dead zone of 3-5%. Substantially advantageous feature of this protection is that capacity voltage divider is damping earth-fault overvoltages and doesn't allow ferroresonance to arise. The protection is insensible to voltage harmonics and its thermal strength is of long standing.

Nowadays being used earth - fault protections of alternator-transformer units operate at big values of earth-fault currents in stator windings. To avoid this disadvantage, the arrangement^{xx)} presented in Fig. 2 was developed. In this system zero-sequence voltage transfor-

^{x)} Patent No 51035 "Earth-fault protection of alternator-transformer unit". Authors: Józef Trynkiewicz, Janusz Sajkowski.

^{xx)} Patent No 56858 "Earth-fault protection of alternator-transformer unit, applicable particularly to extra-high-power units" Authors: J. Trynkiewicz, J. Sajkowski.

med to lower voltage side is compensated by introducing into measuring circuit voltage drops on impedances Z_p and Z_2 . A, B and C are over-voltage relays. Relay A makes the unit tripped with time delay, relay B signalizes earth-fault near star point of stator windings, and relay C trips the circuit breaker W with first operating time and the unit with second operating time. Relay C protects the unit from earth-faults in higher voltage side and in network.

If zero-sequence voltage exists in network (e.g. single phase fault) the transformers voltage U_2 is subtracted from voltages on impedances Z_p and Z_2 and relays A and B do not operate, but relay C does. If at the same time the fault in stator windings appears, all three relays will be energized. In special cases it may happen, that relays A and B are not energized. It depends on mutual position of zero-sequence network and lower side voltages vectors and on unit parameters. If this particular case of fault in stator windings occurs, the relays A and B will be energized when the fault in network is disconnected.

The protection dead zone is wandering one and its position is related to the end of zero-sequence network voltage vector. At normal conditions dead zone is situated near star point of stator windings. Earth-fault in this zone is signalized by means of instantaneous relay B and it takes place even in case of short duration single-phase fault in network. Earth-fault current at lower voltage side results only from capacitance to earth of stator windings. So it is small, but can be smaller still if compensation by means of reactor is used. In this case, special voltage transformers, which do not produce ferroresonance, must be applied.

FIGURES DESCRIPTIONS

Fig. 1. Earth-fault protection of alternator-transformer unit with capacitance voltage divider

Fig. 2. Earth-fault protection of alternator-transformer unit of low value earth-fault current.