

Утицај система регулације побуде на рад подимпедантне заштите генератора

Никола Сучевић¹, Сања Лукић¹

¹ Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“,
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија
nikola.sucevic@ieent.org

Кратак садржај: У овом раду извршена је анализа утицаја рада аутоматског регулатора напона и лимитера максималне струје побуде у систему побуде на рад подимпедантне заштите генератора, са фокусом на други степен заштитне функције. У раду је анализиран одзив аутоматског регулатора напона на задати поремећај у преносној мрежи и посматран је његов утицај на трајекторију радне тачке коју мери подимпедантна заштита генератора. На основу резултата симулација дата је оцена адекватности изабраних подешења подимпедантне заштите. Моделовање мреже и анализе вршене су у софтверском пакету DlgSILENT PowerFactory.

Кључне речи: подимпедантна заштита генератора, систем регулације побуде, хидроелектрана

1. Увод

На генераторима повезаним на преносни систем високог напона (≥ 110 kV) најчешће се имплементира функција подимпедантне заштите генератора [1], [2] и [3].

Ова функција представља резервну заштиту генератора од међуфазних кратких спојева у самом генератору и блок-трансформатору, а такође и заштиту генератора од кварова у систему који нису елиминисани од стране далеководних заштита.

Заштитна функција мери напон и струју генератора и на основу односа мерених величина прорачунава импедансу као критеријум за прораду. Уколико је мерена импеданса мања од задате вредности

импедансе дуже од задатог времена одлагања, заштитна функција шаље сигнал за искључење генератора.

У овом раду је дат приказ критеријума за подешавање подимпедантне заштите генератора који се, према релевантним стандардима, најчешће примењују у пракси.

Потом је дат опис анализиране мреже и софтверског модела, уз кратак опис модела система регулације напона генератора.

У раду је анализиран утицај рада система за регулацију побуде при задавању референтних поремећаја и посматран је рад подимпедантне заштите генератора. Анализирана је трајекторија импедансе коју мери заштитна функција и проверавано је да ли мерена импеданса залази у зону реаговања заштитне функције и у ком трајању.

Циљ анализа је да се провери да ли промена мерене импедансе у времену, услед дејства система за регулацију напона, доводи до непотребне прораде подимпедантне заштите генератора и самим тим до непотребног испада генераторске јединице, при задатим референтним поремећајима за које не би требало да долази до прораде ове заштитне функције.

2. Подешавање подимпедантне заштите генератора

Функција подимпедантне заштите генератора (ANSI 21) се најчешће изводи са два степена, према следећим критеријумима за подешавање првог и другог степена, датим у [1], [2] и [3]:

I степен: Критеријум за подешавање овог степена је мања вредност од две наведене:

- Критеријум 1: 120% реактансе блок-трансформатора (БТ);
- Критеријум 2: 80% I степена дистантне заштите далековода чија је вредност импедансе директног редоследа најмања, увећане за реактансу блок-трансформатора. Утицај међунапајања се не уважава.

Временско одлагање деловања првог степена подимпедантне заштите генератора (ANSI 21-1) се подешава на вредност већу од времена одлагања примарних заштита (прва зона дистантне заштите далековода – ANSI 21-1, диференцијална заштита генератора – ANSI 87G, диференцијална заштита трансформатора – ANSI 87T, диференцијална заштита блока – ANSI 87O), увећану за усвојену маргину.

II степен: подешавање другог степена заштите $Z_{2<}$ потребно је усвојити према најмањем од три критеријума:

- Критеријум 1: 120% највеће вредности импедансе директног редоследа далековода (са уважавањем међунапајања);

- Критеријум 2: 50% - 66,7% базне импедансе генератора;
- Критеријум 3: 80% - 90% базне импедансе генератора при карактеристичном углу подимпедантне заштите (за овај угао се усваја вредност од 85° према [1] и [3]).

Додатно, према [1] подешавање подимпедантне заштите потребно је проверити за критично оптерећење генератора у две радне тачке (при чему се усваја да је вредност напона на високонапонским сабирницама (ВН) блок-трансформатора 0,85 р.ј. назначеног напона мреже), са активним и реактивним оптерећењем од:

- Критична радна тачка 1: $P = P_{nG}$ и $Q = 150\%P_{nG}$;
- Критична радна тачка 2: $P = 40\%P_{nG}$ и $Q = 175\%P_{nG}$;

Временско одлагање деловања друге зоне подимпедантне заштите генератора (ANSI 21-2) се подешава на време дуже од времена одлагања свих зона дистантне заштите далековода који могу детектовати квар, увећано за усвојену маргину.

Примењујући наведене критеријуме подимпедантна заштита се подешава према табели 1:

Табела 1: Критеријуми и предложена подешавања подимпедантне заштите [1]-[3] (примарне вредности)

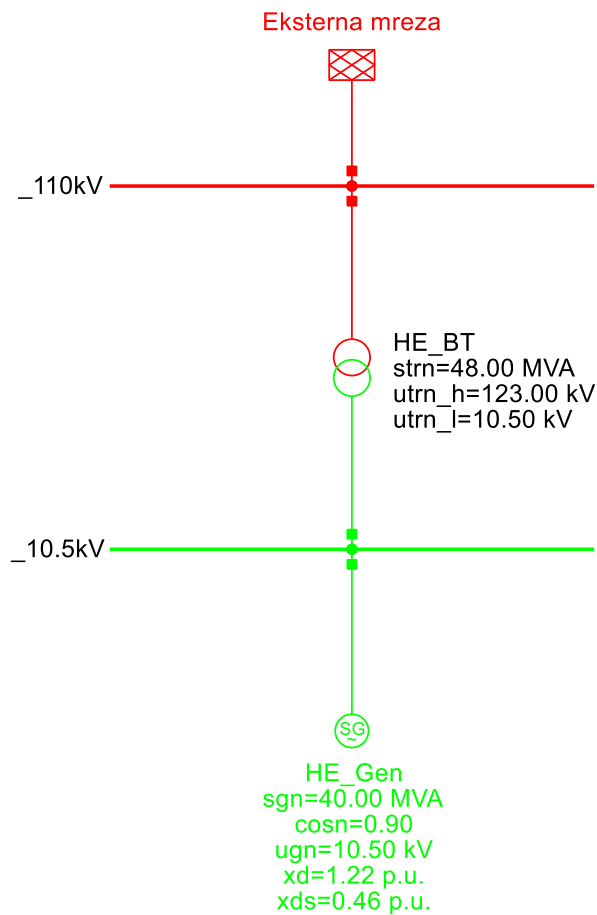
Параметар	Z [$\Omega \angle ^\circ$]	t [s]
Подешавање зоне 1 по критеријуму 1	0,296 \angle 88°	0,4
Подешавање зоне 1 по критеријуму 2	0,268 \angle 86°	
Предложена подешавање степена Z1<	0,26 \angle 90°	0,4
Подешавање зоне 2 по критеријуму 1	0,752 \angle 84°	1,2
Подешавање зоне 2 по критеријуму 2	1,378 \angle 26°	
Подешавање зоне 2 по критеријуму 3	3,051 \angle 85°	
Критична радна тачка 1	1,357 \angle 56°	
Критична радна тачка 2	1,428 \angle 77°	
Предложена подешавање степена Z2<	0,75 \angle 90°	1,2

Уколико се покаже да критичне радне тачке 1 и 2 улазе у зону реаговања Z2< подешену према релевантним критеријумима, тада се може извршити детаљнија провера најкритичнијих очекиваних оптерећења генератора, уважавајући и детаљне моделе система за регулацију побуде. Ова провера се, према [1], врши тако што се посматра трајекторија радне тачке генератора у импедантној равни, при задатом паду напона на ВН сабирницама блок-трансформатора на вредност 0,85 р.ј. Оваква провера омогућава детаљнији увид у процес форсирања побуде, промену активне и реактивне снаге генератора и резултантне трајекторије радне тачке у импедантној равни.

У фокусу овог рада је провера динамичког одзива система на задати поремећај у циљу провере рада подимпедантне заштите у другом степену.

3. Анализирана мрежа

Мрежа која је предмет анализе приказана је на слици 1. Посматран је блок једне хидроелектране (ХЕ) повезане на преносну мрежу 110 kV напонског нивоа.



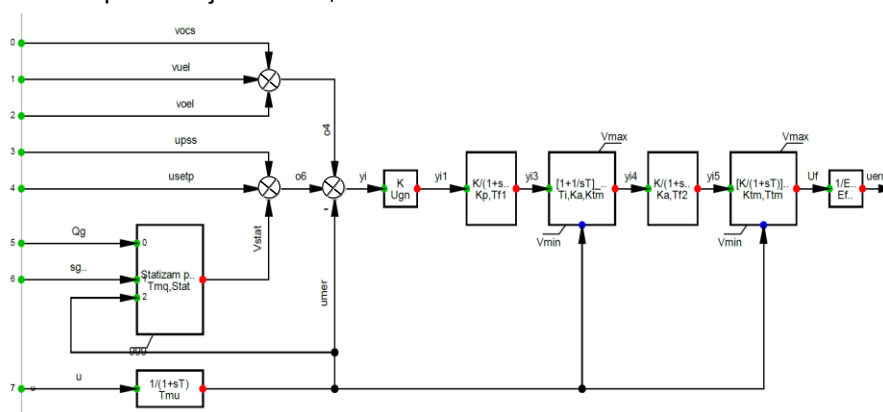
Слика 1: Модел хидроелектране

Моделовање мреже урађено је применом софтверског пакета DIgSILENT PowerFactory (Service Pack 3) [4].

4. Софтверски модел система

Модел анализираних мреже садржи све релевантне параметре генератора, блок-трансформатора и еквивалентна преносне мреже. Такође, детаљан софтверски модел система регулације побуде генератора је имплементиран у модел.

Систем за регулацију напона посматране електране је статички самопобудни систем са тиристорским мостовима, који се напаја са отцела генераторских сабирница. Блок-дијаграм аутоматског регулатора напона приказан је на слици 2:



Слика 2: Блок-дијаграм аутоматског регулатора напона који је реализован као ПИ регулатор); улазни сигнали су:

- vocs – сигнал лимитера струје статора,
- vuel – сигнал лимитера подпобуде,
- voel – сигнал лимитера надпобуде,
- upss – сигнал дејства стабилизатора ЕЕС,
- usetp – референтна вредност напона генератора,
- Qg – реактивна снага генератора,
- sg – напонски статизам генератора
- ueggs – напон побуде синхроне машине
- u – напон на терминалима синхроне машине

Систем регулације побуде има имплементиран лимитер максималне струје побуде, реализован са два степена:

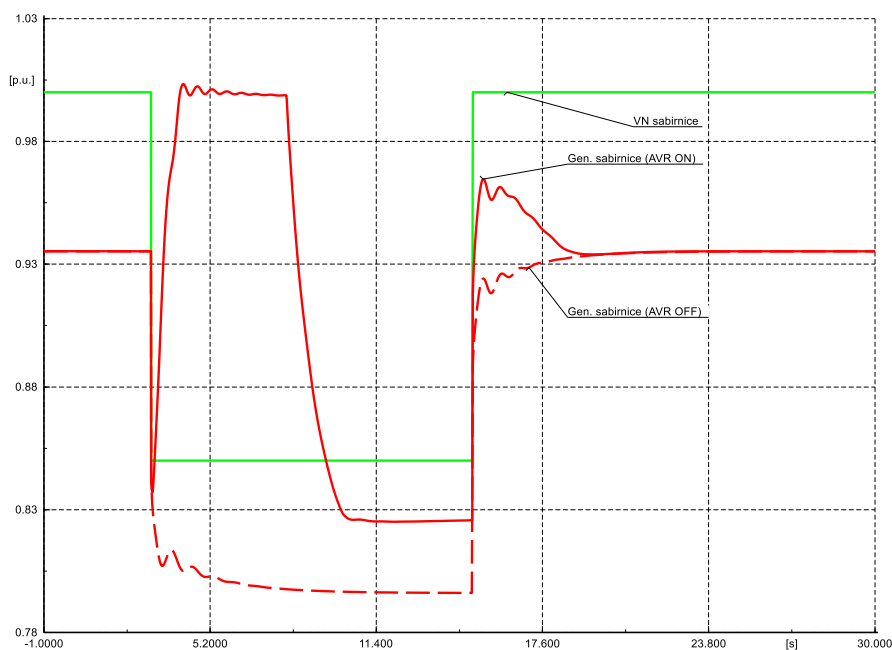
- I степен: са дефинисаним временом одлагања прораде, који након подешеног времена од 5 s ограничава струју побуде на $1,1 \cdot I_{N,exc}$ ($1,1 \cdot I_{N,exc}$, 5 s) и,
- II степен: са тренутним дејством, ограничава вредност струје на максималну дозвољену струју $2 \cdot I_{N,exc}$.

У софтверском моделу имплементирана је подимпедантна заштита генератора, реализована у два степена, подешена према критеријумима презентованим у поглављу 2.

5. Анализа рада система побуде и заштите

Како би се анализирано понашање система побуде генератора, симулиран је пад напона на ВН сабирницама блок-трансформатора и посматран је динамички одзив система при провери рада у критичним радним тачкама 1 и 2, описаним у поглављу 1.

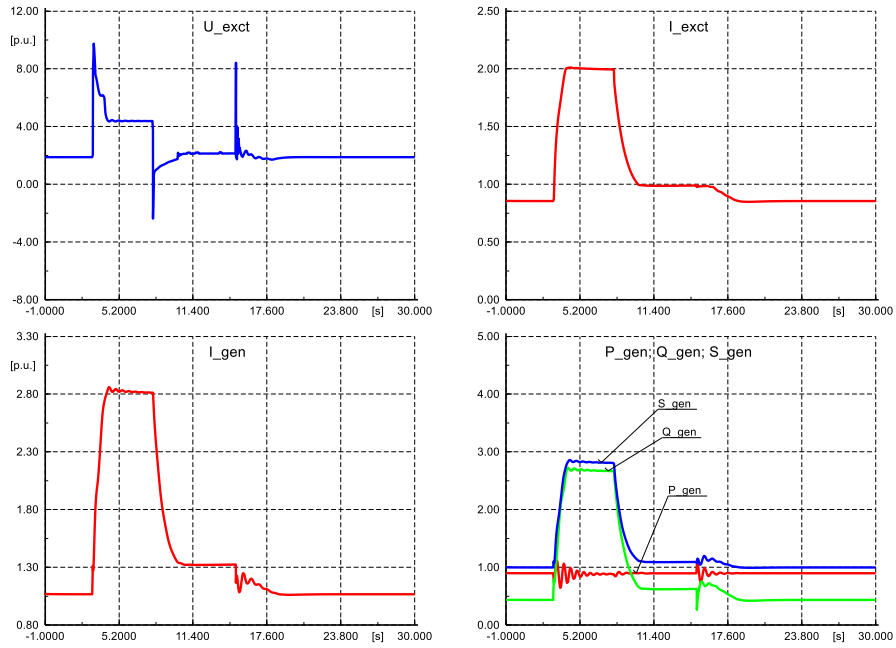
Промена напона на ВН страни БТ-а (зелена линија), као и промена напона на генераторским сабирницама (црвене линије) приказана је на слици 3. У циљу поређења, испрекидана линија приказује напон на генераторским сабирницама када аутоматски регулатор побуде није у функцији, или се исти налази у режиму ручне регулације:



Слика 3: Критична радна тачка 1 - напони

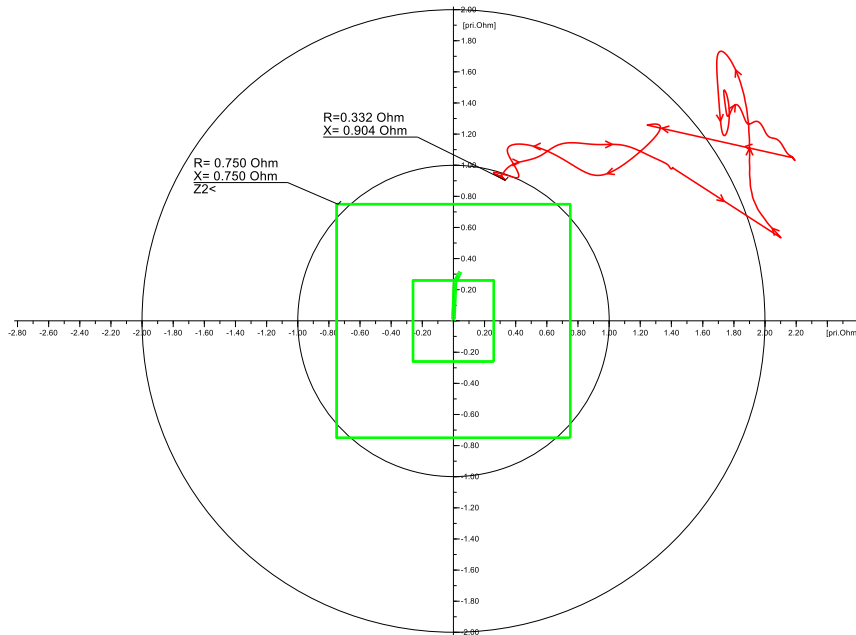
На слици 3 се види да услед дејства регулатора напона, долази до пораста напона на генераторским сабирницама при задатом поремећају снижења напона на ВН сабирницама блока ХЕ. Услед снижења напона на генераторским сабирницама, долази до реаговања система регулације и повећења напона и струје побуде, што је илустровано на слици 4, која приказује њихову промену (U_{exc} и I_{exc}), као и промене струје

статора (I_{gen}) и одату активну (P), реактивну (Q) и привидну снагу (S) генератора:



Слика 4: Критична радна тачка 1 - напон и струја побуде, струја статора и снаге генератора

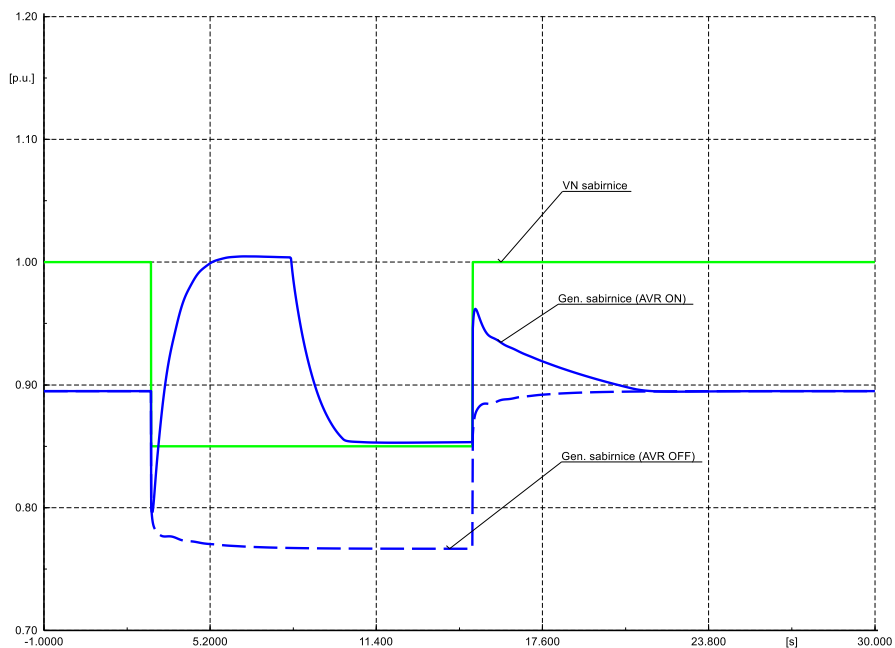
Последица динамичке промене напона на генераторским сабирницама и струје статора генератора, јесте промена импедансе коју мери подимпедантна заштита генератора ($Z<$). На слици 5 приказана је трајекторија радне тачке у RX равни при задатом поремећају (црвена линија), док су подешења заштитне функције приказана зеленим линијама (на слици је означен досег другог степена заштитне функције $Z2<$, по R и X оси:



Слика 5: Критична радна тачка 1 - трајекторија импедансе

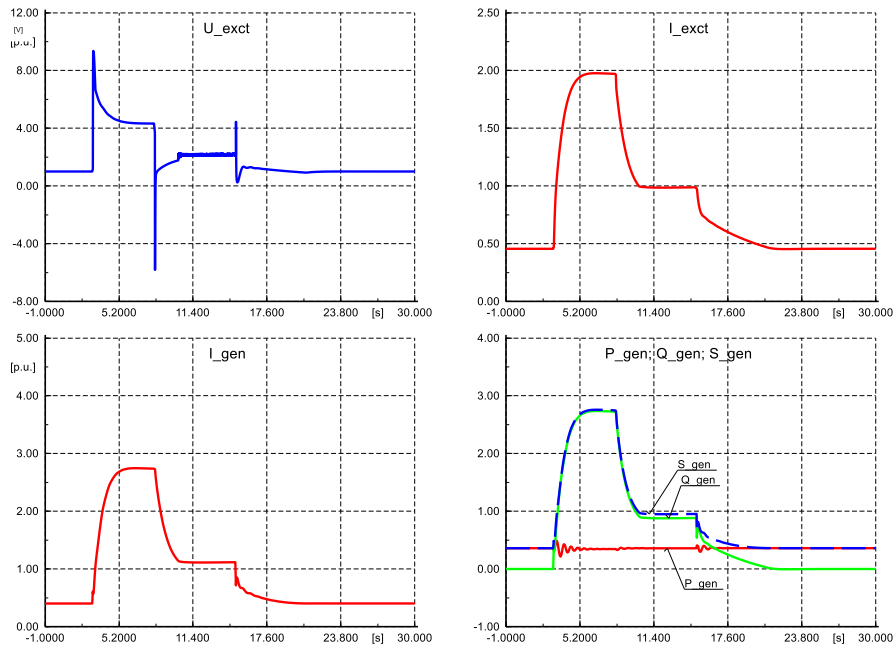
На основу приказаног, може се уочити да трајекторија импедансе коју мери подимпедантна заштита, не залази у зону реаговања другог степена ове функције ($Z2<$), подешене према вредностима датим у табели 1, што је адекватно. Овим се потврђује да је избор подешења другог степена подимпедантне заштите генератора ($Z2<$) адекватно одабран са аспекта одзива на испитани референтни поремећај за критичну радну тачку 1.

За проверу рада система у критичној радној тачки 2, на слици 6 приказана је промена напона на ВН страни БТ-а (зелена линија), као и промена напона на генераторским сабирницама (плаве линије). У циљу поређења, испрекидана линија приказује напон на генераторским сабирницама када аутоматски регулатор побуде није у функцији, или се исти налази у режиму ручне регулације:



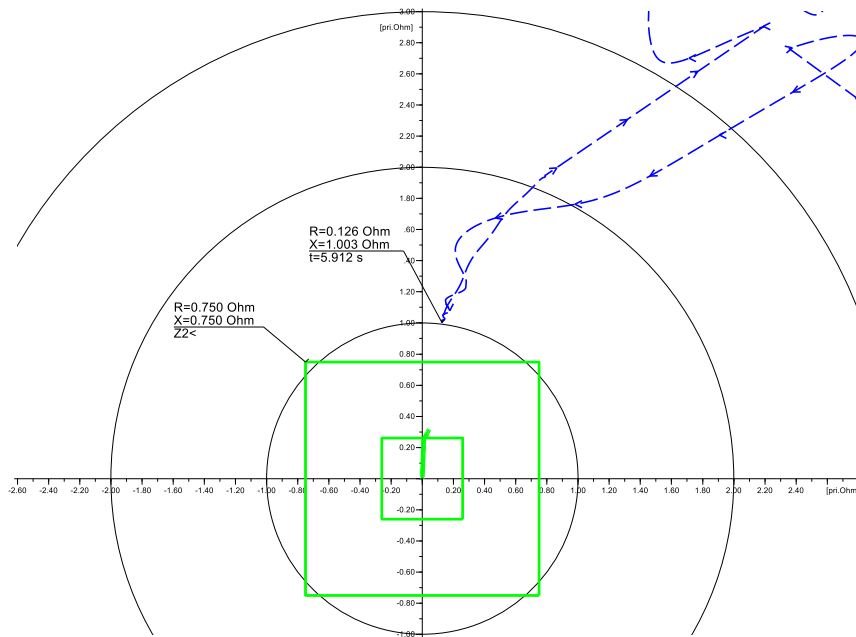
Слика 6: Критична радна тачка 2 - напони

На слици 6 се види да услед дејства регулатора напона, долази до пораста напона на генераторским сабирницама при задатом поремећају снижења напона на ВН сабирницама блока електране. Услед снижења напона на генераторским сабирницама, долази до реаговања система регулације и повећања напона и струје побуде, што је илустровано на слици 7, која приказује њихову промену (U_{exc} и I_{exc}), као и промене струје статора (I_{gen}) и одату активну (P), реактивну (Q) и привидну снагу (S) генератора:



Слика 7: Критична радна тачка 2 - напон и струја побуде, струја статора и снаге генератора

На слици 8 приказана је трајекторија радне тачке у RX равни при задатом поремећају:



Слика 8: Критична радна тачка 2 - трајекторија импедансе

На основу приказаног, може се уочити да трајекторија импедансе коју мери подимпедантна заштита, не залази у зону реаговања другог степена ове функције ($Z2<$), подешене према вредностима датим у табели 1, што је адекватно. Овим се потврђује да је избор подешења другог степена подимпедантне заштите генератора ($Z2<$) адекватно одабран са аспекта одзива на испитани референтни поремећај за критичну радну тачку 2.

6. Закључци

У овом раду је извршена анализа утицаја рада регулатора напона генератора на подимпедантну заштиту генератора, са фокусом на други степен заштитне функције.

Анализе су извршене на примеру блока хидроелектране повезане на 110 kV преносну мрежу. Модел система креиран је у програмском пакету DIgSILENT PowerFactory. Софтверски модел система садржи у себи све релевантне параметре елемената, као и параметре система за регулацију напона и заштите.

У софтверском моделу система задати су одговарајући референтни поремећаји како би се посматрало понашање целокупног система. Посматран је рад регулатора напона генератора и резултујуће промена струје и напона на прикључцима генератора.

Услед снижења напона на генераторским сабирницама регулатор побуде подиже напон и струју побуде, што резултује порастом струје генератора и напона на његовим сабирницама.

Промена струје и напона генератора узрокује промену импедансе коју мери подимпедантна заштита. У раду је приказана трајекторија ових импеданси за критичне радне тачке које су испитиване.

Закључено је да иако долази до промене импедансе у релативно великом опсегу, она не залази у зону реаговања другог степена подимпедантне заштите генератора, те се изабрана подешења могу сматрати адекватним.

На основу спроведених анализа, може се закључити да уважавање моделовање система регулације побуде генератора омогућава детаљну анализу одзива целокупног система на поремећаје у преносној мрежи, анализу рада подимпедантне заштите генератора, као и процену адекватности подешења исте.

Литература

- [1] *Power Plant and Transmission System Protection Coordination – Revision 1*, North America Electric Reliability Corporation, Technical Reference document, NERC System Protection and Control Subcommittee, July 2010
- [2] *International Guide on the Protection of Synchronous Generators*, Cigre 479, Cigre Working group B5.04, ISBN: 978-2-85873-170-1, October 2011
- [3] *IEEE Guide for AC Generator Protection, C37.102-2006*, IEEE Power Engineering Society, ISBN 0-7381-5250-1 SS95584, 2007
- [4] www.digsilent.com

Abstract: This paper analyses the influence of the operation of the automatic voltage regulator and the stator maximum current limiter in the excitation system on the operation of under-impedance generator protection, with the focus on zone 2 of the protection function. The paper analyses the response of the automatic voltage regulator to a given disturbance in the transmission network and observes its influence on the trajectory of the operating point measured by the under-impedance generator protection. Based on the simulation results, the adequacy of the selected under-impedance protection settings was evaluated. Network modelling and analysis were performed in the DlgSILENT PowerFactory software package

Keywords: under-impedance generator protection, generator excitation system, hydropower plant

Influence of Generator Excitation System on Generator Under-impedance Protection

Nikola Sučević, Sanja Lukić

Рад примљен у уредништво: 07.11.2019. године

Рад прихваћен: 23.12.2019. године

