

Формирање симулационог модела за прорачун еквивалентне импедансе преносне мреже

Милица Дилпарих Цакић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду,
Република Србија
ORCID: 0000-0001-5668-8367

Кратак садржај

У раду је представљено формирање симулационог модела за потребе анализе утицаја обновљивих извора енергије (ОИЕ) на квалитет електричне енергије у преносном систему. Рад даје конкретан пример из праксе. Задатак је био одредити еквивалентну импедансу система у фреквенцијском домену у појединим тачкама мреже. То су тачке у којима се очекује прикључење значајније снаге из ОИЕ. Симулациони модел треба да да матрицу импеданси система у изабраним тачкама за различите случајеве. Другим речима, потребно је одредити сопствену матрицу система у одабраним тачкама, за различите случајеве и при различитим фреквенцијама, тзв. *frequency sweep* анализа.

Да би се одредила импеданса система достављен је сложен симулациони модел целокупне преносне мреже, који укључује доста елемената различитих напонских нивоа. Такође достављено је шест различитих радних режима, односно различитих операционих сценарија који се односе на нивое оптерећења и генерисања у мрежи. Достављени су режими летњег минимума и максимума за две године, као и режими зимског минимума и максимума за једну годину.

Такође, достављен симулациони модел је дат у програмском пакету *Siemens PSSE* а захтевано је да прорачуни буду рађени у софтверу *Digsilent PowerFactory*. За ове потребе извршена је конверзија симулационог модела, за све достављене режими из једног софтверског пакета у други. Верификација модела је извршена поређењем резултата токова снага у оба софтвера. Усвојено је да је довољно добро конвертован модел онај за који је постигнут резултат разлике у токовима активних снага до 3% а у токовима реактивне снаге до 5%.

Овако формиран симулациони модел је додатно унапређен уважавањем зависности промене импедансе водова и трансформатора у мрежи од фреквенције. Другим речима, за преносне водове и трансформаторе унета је у модел зависност њихове импедансе од фреквенције. Потом такве импедансе улазе у прорачун укупне еквивалентне импедансе система. Важно је напоменути да је овај тип податка специфичан и ретко јавно доступан па су при моделовању уважене опште препоруке које су за ове потребе дефинисане *CIGRE* брошуром 766. Њима се уважава промена отпорности елемената са фреквенцијом као последица скин ефекта, док се промена реактансе са фреквенцијом усваја као линеарна.

На формираном симулационом моделу вршена је *frequency sweep* анализа за свих шест радних стања мреже. За свако стање уважен је, поред основног прорачуна, и прорачун са испадима неког од водова или трансформатора у мрежи. На тај начин добијена је матрица која садржи сопствену импедансу система у одабраној тачки у фреквенцијском домену, за велики број различитих стања у мрежи. Због тога модел може послужити за свеобухватну процену утицаја ОИЕ на квалитет електричне енергије у тачки прикључења. Такође у модел се, ако је потребно, могу интегрисати мерења хармоника и фликера.

Кључне речи: квалитет електричне енергије, сопствена импеданса система, *frequency sweep* анализа, конверзија модела, *Digsilent PowerFactory*.

Биографија предавача



Милица Дилпарић Цакић, виши стручни сарадник
Рођена је 13.06.1988. године у Ужицу. Основну и средњу школу завршила је у Новој Вароши као носилац Вукове дипломе. Студије на електротехничком факултету у Београду, започиње 2007. године и завршава 2012. године на одсеку за електроенергетске системе. Мастер студије завршава од 2011. до 2012. године. 2012. године уписује докторске студије на матичном факултету, на одсеку Електроенергетске мреже и системи.

У Институту Никола Тесла је запослена од 2014. године у центру за електроенергетске системе. Током десетогодишњег радног искуства учествовала је на великом броју студија које су обухватале сегменте планирања дистрибутивне мреже, повећања енергетске ефикасности и стратешке енергетике. Такође, највећи део студија обухвата системске анализе које се тичу динамичких одзива система и стабилности система. У оквиру свог рада бавила се и студијама прикључења обновљивих извора енергије и анализама услова прикључења на дистрибутивном и преносном систему.

Током рада специјализовала се у коришћењу софтвера опште намене као што су *MS office*, *AutoCad* и *Matlab*. Такође има значајног искуства у раду са софтверима специјализованим за електроенергетске прорачуне као што су Токови Снага (софтвер развијен у Институту Никола Тесла), *PSS Sincal*, *PSSE Siemens*, *Digsilent Power Factory*, *Antares* и сл. Током свог рада и студирања објавила је као аутор или коаутор око 15 радова на стручним домаћим и међународним конференцијама.

Simulation Model for the Calculation of the Equivalent Impedance of the Transmission Network

Milica Dilparic Cakić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade,
Republic of Serbia

ORCID: [0000-0001-5668-8367](https://orcid.org/0000-0001-5668-8367)

Abstract

The paper presents the formation of a simulation model for the analysis of the impact of renewable energy sources (RES) on the quality of electricity in the transmission system. The paper presents a concrete example from practice. The task was to determine the equivalent impedance of the system in the frequency domain at certain points of the network. These are the points where significant power from RES is expected to be connected. The simulation model should give the system impedance matrix at selected points for different cases. In other words, it is necessary to determine the system's own impedance at selected points, for different cases and at different frequencies, the so-called frequency sweep analysis.

In order to determine the impedance of the system, a complex simulation model of the entire transmission network, which includes many elements of different voltage levels, was submitted. Also there were six different operating modes, i.e. different operational scenarios related to load and generation levels in the network. Summer minimum and maximum regimes for two years, as well as winter minimum and maximum regimes for one year have been provided.

Also, the submitted simulation model is provided in the Siemens PSSE software package, and the calculations are required to be done in the Digsilent PowerFactory software. For these needs, the simulation model was converted for all delivered scenarios from one software package to another. Model verification was performed by comparing the power flow results in both software. It was accepted that a sufficiently well-converted model is one for which a mismatch in active power flows is up to 3% and mismatch in reactive power flows is up to 5%. The simulation model formed in this way was additionally improved by taking into account the frequency dependence of the impedance change of lines and transformers in the network. In other words, for transmission lines and transformers, the dependence of their impedance on frequency was entered into the model. Then such impedances are included in the calculation of the total equivalent impedance of the system. It is important to note that this type of data is specific and rarely publicly available, so the general recommendations defined for these purposes in CIGRE Technical Brochure TB 766 were taken into account during modeling. They take into account the change in resistance of elements with frequency as a consequence of the skin effect, while the change in reactance with frequency is adopted as linear.

A frequency sweep analysis was performed on the created simulation model for all six operating states of the network. For each scenario, in addition to the basic calculation, a calculation with outages of one of the lines or transformers in the network was taken into account. In this way, a matrix was obtained that contains the system's own impedance at a selected point in the frequency domain, for a large number of different states in the network. Therefore, the model can be used for a comprehensive assessment of the impact of RES on the power quality at the connection point. Harmonic and flicker measurements can also be integrated into the model if necessary.

Keywords: power quality, system impedance, frequency sweep analysis, model conversion, Digsilent PowerFactory.

Biography of the presenter



Milica Dilparic Cakic, senior professional associate

She was born on June 13, 1988. in Uzice. She finished primary and secondary school in Nova Varos and graduated with praises. She began her studies at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade in 2007 and finished in 2012 at the Department of Power Systems. She finished master's studies from 2011 to 2012. In 2012, she enrolls PhD studies at the Department of Power Grids and Systems.

She has been employed at the Nikola Tesla Institute since 2014 in the Power systems department. During ten years of work experience, she participated in a large number of studies that included the segments of planning the distribution network, increasing energy efficiency and strategic energy. Also, most of the studies include system analyzes that concern the dynamic responses of the system and the stability of the system. As part of her work, she also studied the connection of renewable energy sources and analyzed the conditions of connection to the distribution and transmission system.

During work, she specialized usage of the software for common use such as MS office, AutoCad and Matlab. She also has significant experience in working with software specialized for power calculations such as Tokovi Snaga (software developed at the Nikola Tesla Institute), PSS Sincal, PSSE Siemens, Digsilent Power Factory, Antares, etc. During her work and studies, she published as an author or co-author about 15 papers at professional domestic and international conferences.