

3. Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях: СТО 59012820.27.010.004–2020: утв. АО «СО ЕЭС» 09.07.2020: введ. в действие 09.07.2020. – М.: Официальный интернет-портал www.so-ups.ru, 2020. – 24 с.

НАСТРОЙКА БЛОКА ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Рудник В.Е., Уфа Р.А., Бай Ю.Д.

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Многие ведущие страны в энергетической отрасли заинтересованы в декарбонизации, основанной на сокращении традиционной генерации. Российской Федерацией, а также рядом других стран, подписано Парижское соглашение по климату, что указывает на несколько обязательств по снижению углеродных выбросов. Одно из таких обязательств заключается в том, что в энергосистемы нужно внедрять новые генерирующие объекты, которые функционируют на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [13]. Доля возобновляемых источников энергии в мировой энергетике в период с 2020 по 2021 г. составляла (28,1 %), что выше уровня 2019 г. (26,3 %) практически на 2 %. В 2021 г. выработка электроэнергии из возобновляемых источников выросла благодаря активному внедрению солнечных электростанций (СЭС) и ветроэлектростанций (ВЭС) (ФСЭС +13 % и ВЭС +23 %), а установленная мощность ВЭС и СЭС на 2021 г. составила соответственно 828,4 ГВт и 891,3 ГВт; на 2022 г. – 925,6 ГВт и 1100,9 ГВт [13].

Объекты ВИЭ в своем составе используют инверторы для подключения их к сети. Определенные особенности инверторов существенно влияют на стабильное функционирование электроэнергетических систем (ЭЭС), что связано с особенностями работы самих инверторов. Увеличение объемов внедрения объектов ВИЭ в ЭЭС, по прогнозам, будет значительное и продлится до 2030 года согласно [1, 8], что в свою очередь может привести к значительному снижению надежности функционирования современных энергосистем в нормальных и аварийных режимах работы [1-3, 9, 10].

Возникает проблема, связанная с сохранением устойчивости энергосистемы как динамической, так и статической [5, 6, 7]. Данная проблема связана с внедрением в энергосистемы безынерционных объектов ВИЭ, в том числе путём замены традиционной генерации. [12].

Для обеспечения надёжного и корректного функционирования энергосистемы от негативных последствий внедрения объектов ВИЭ требуется комплекс решений, одно из таких решений это настройка системы управления объектов ВИЭ [2]. Разработано несколько подходов:

Настройка блока фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [4, 11]. Данный блок настраивает фазу источника таким образом, чтобы она была равна фазе опорного сигнала [1, 12].

Использования в составе САУ объектов ВИЭ дополнительных регуляторов [7, 8, 13].

Использование различных стратегий по резервированию мощности.

Важным моментом является правильная настройка блока ФАПЧ. Определённая настройка блока ФАПЧ может по-разному влиять на характер изменения параметров энергосистемы при переходных процессах, с учетом разной плотности этой энергосистемы, что отражено на рисунке 1 и 2.

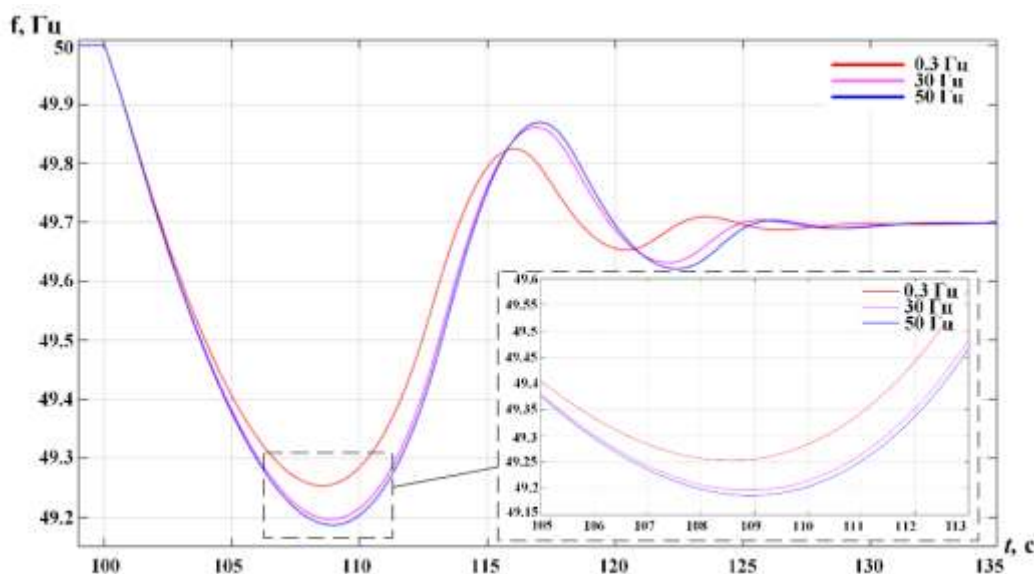


Рис. 1. Осциллограммы изменения частоты ЭЭС, с изменением полосы пропускания блока ФАПЧ (слабая сеть)

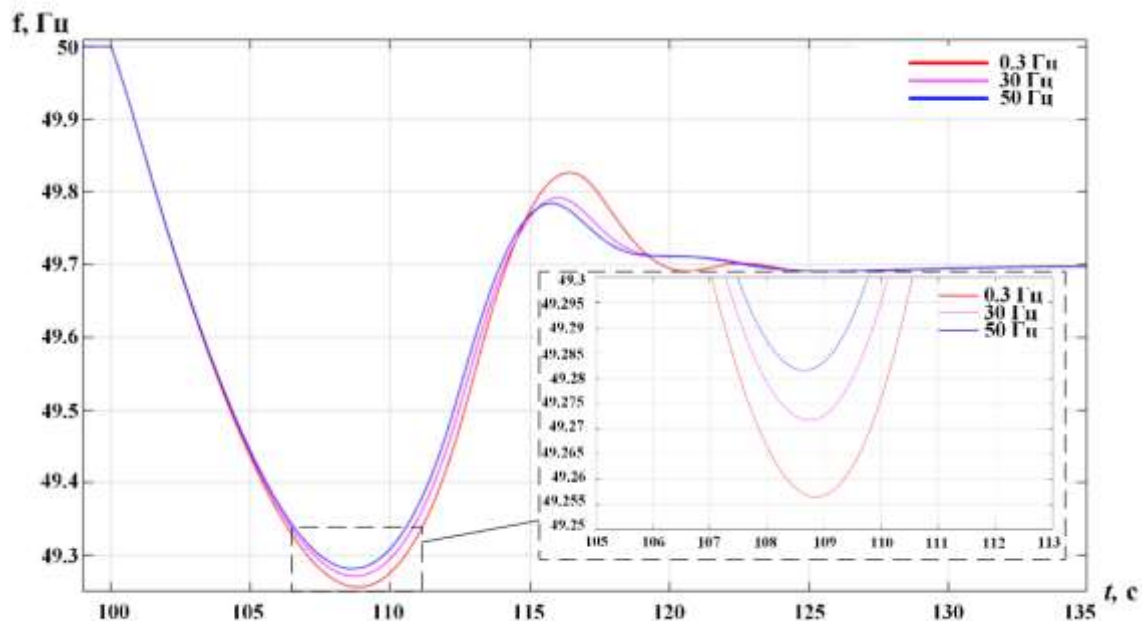


Рис. 2. Осциллограммы изменения частоты ЭЭС, с изменением полосы пропускания блока ФАПЧ (сильная сеть)

Исходя из осциллограмм, приведенных выше, можно сделать вывод, что в слабой сети при увеличении полосы пропускания блока ФАПЧ, увеличивается величина снижения частоты, в сильной же сети наблюдается обратный тренд изменения частоты энергосистемы при увеличении полосы пропускания блока ФАПЧ. Данный факт говорит о том, что при разной плотности сети требуется разная настройка блока ФАПЧ объектов ВИЭ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21–79–00275

Литература

1. Arani, M.F.M. Implementing virtual inertia in DFIG-based wind power generation / M.F.M. Arani, E.F. El-Saadany // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – V. 28. doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2207972.
2. Bevrani H., Ise T., Miura Y. Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives //International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2014. – Т. 54. – С. 244-254.
3. Cheng Y. et al. Smart frequency control in low inertia energy systems based on frequency response techniques: A review //Applied Energy. – 2020. – Т. 279. – С. 115798.
4. Huang S. H. et al. Voltage control challenges on weak grids with high penetration of wind generation: ERCOT experience //2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. – IEEE, 2012. – С. 1-7.
5. Johnson S. C., Rhodes J. D., Webber M. E. Understanding the impact of non-synchronous wind and solar generation on grid stability and identifying mitigation pathways //Applied Energy. – 2020. – Т. 262. – С. 114492.
6. Rampokanyo M. et al. Impact of high penetration of inverter-based generation on system inertia of networks //Electra. – 2021. – №. 319.
7. Liu H. et al. Subsynchronous interaction between direct-drive PMSG based wind farms and weak AC networks //IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. – Т. 32. – №. 6. – С. 4708-4720.
8. National Grid, Voltage and Frequency Dependency. National Grid, 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nationalgrid.com/sites/default/files/documents/SOFReport-Fr%equencyandVoltageassessment.pdf>
9. Nguyen H. T. et al. Frequency stability enhancement for low inertia systems using synthetic inertia of wind power //2017 IEEE power & energy society general meeting. – IEEE, 2017. – С. 1-5.
10. OECD. World electricity generation by source of energy: Terawatt hours (TWh). Paris: OECD Publishing; 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1787/factbook-2015-en>.
11. Hu Q. et al. Large signal synchronizing instability of PLL-based VSC connected to weak AC grid //IEEE Transactions on Power Systems. – 2019. – Т. 34. – №. 4. – С. 3220-3229.
12. Razzhivin I. et al. A hybrid simulation of converter-interfaced generation as the part of a large-scale power system model //International Journal of Engineering and Technology Innovation. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – С. 278.
13. IEA I. E. A. Renewable energy market update 2021. – Paris, France: IEA, 2021.
14. Seneviratne C., Ozansoy C. Frequency response due to a large generator loss with the increasing penetration of wind/PV generation—A literature review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Т. 57. – С. 659-668.