

УДК 621.313, 621.355

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e5e39a6be6.96618825

К.Р. Бахтеев, А.И. Федотов, Р.Ш. Мисбахов  
(г. Казань, Казанский государственный энергетический университет)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВМЕСТНО С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

*С помощью компьютерного моделирования показано, что использование накопителей электроэнергии, таких как аккумуляторные батареи и суперконденсаторы, совместно с синхронным генератором позволяет улучшить качество электроснабжения крупных промышленных потребителей при провалах напряжения различной длительности. Часть энергии накопителей идет на форсировку возбуждения синхронного генератора, остальная, большая часть одновременно выдает энергию на общие шины.*

*Using computer simulations, it has been shown that the use of energy storage devices such as batteries and supercapacitors together with a synchronous generator can improve the quality of power supply to large industrial consumers during voltage dips of various durations.*

*Ключевые слова: накопители электроэнергии, гибридный накопитель, провал напряжения, синхронный генератор, автономное электроснабжение, имитационное моделирование.*

*Keywords: electricity storage, hybrid storage, voltage failure, synchronous generator, autonomous power supply, simulation modeling.*

В последние годы одним из трендов инновационного развития отечественной энергетики становится активный уход многих потребителей от исключительно централизованного энергоснабжения к распределенной генерации (РГ), когда объекты РГ подключаются либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети [1].

Высокая степень автоматизации и электрификации многих технологических процессов, появление многочисленных технологических циклов с тонкой настройкой сделали производственный процесс промышленных потребителей очень чувствительным к надежности системы электроснабжения и качеству электроэнергии [2]. Нарушение технологического процесса, особенно в условиях непрерывного характера производства, может приводить к остановке производства, к браку и недоотпуску продукции, а также сопровождаться существенными экономическими потерями [3].

На рис. 1 представлена имитационная модель аккумуляторной батареи большой мощности, которая работает через стабилизатор напряжения, инвертор и трансформатор, выдавая запасенную энергию на шины промышленного потребителя 6(10) кВ. Такая модель позволяет показать работу системы в целом [4, 5].

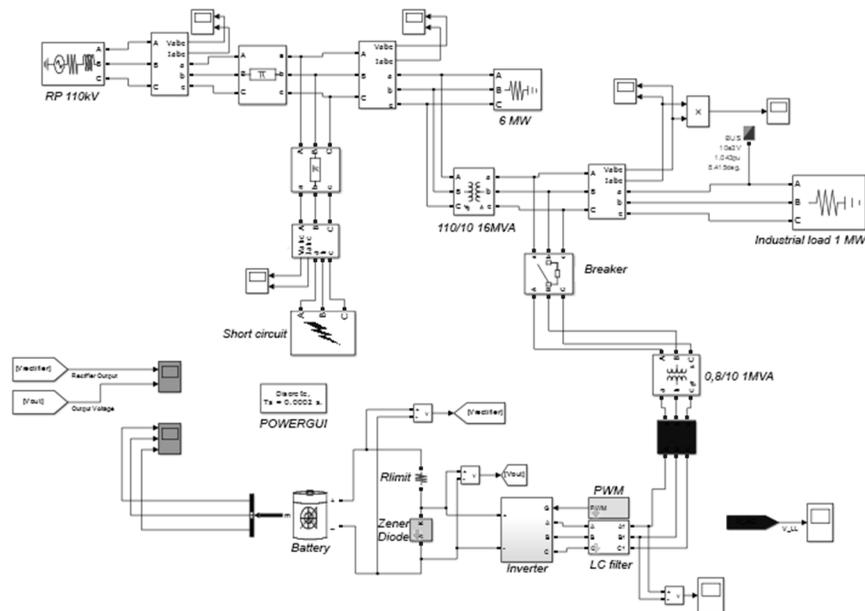


Рис. 1. Имитационная модель подключения аккумуляторной батареи большой мощности к шинам промышленного потребителя 6(10) кВ

На рис. 2. представлены результаты эксперимента, которые иллюстрируют время срабатывания резервной защиты, основанной на аккумуляторной батарее большой мощности.

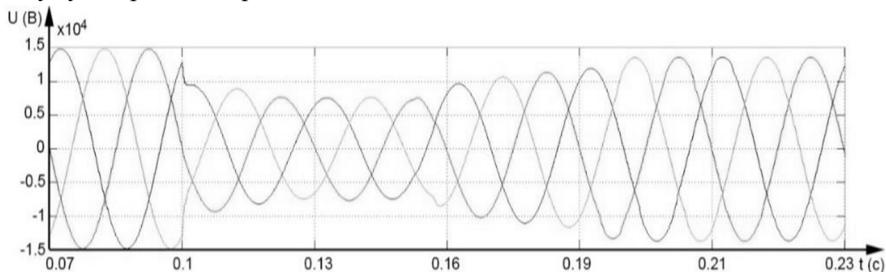


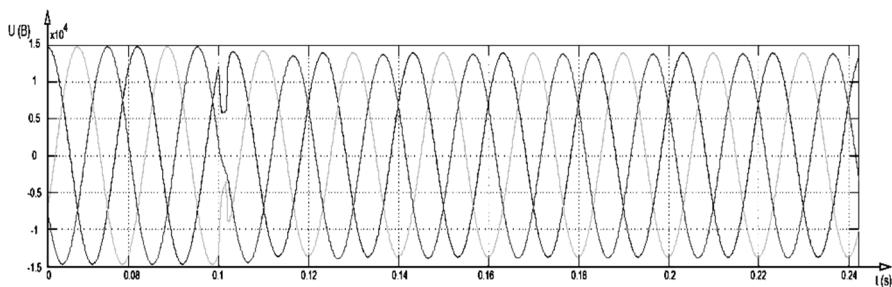
Рис. 2. Время срабатывания резервной защиты, основанной на аккумуляторной батарее большой мощности

Как видно из осциллограммы (рис. 2), в момент времени 0,1 с происходит ПН, в течение 50 мс срабатывает БАВР, подключается резервная защита. Кратковременные нарушения электроснабжения с меньшей продолжительностью времени успевают оказать негативное влияние на энергосистему предприятия [5].

Для кратковременных воздействий предложено использовать суперконденсаторы - конденсаторные батареи, выполненные на базе ячеек с двойным электрическим слоем, которые все чаще находят применение в качестве накопителей энергии в энергосистеме [6, 7, 8].

Суперконденсаторы мгновенно выдают имеющуюся энергию, что позволяет предотвратить самые короткие кратковременные нарушения электроснабжения.

Была создана имитационная модель батареи суперконденсаторов, которая подключена параллельно с сетью. Емкость суперконденсатора составляет 60 Ф, суммарным напряжением батареи 900 В, система работает через стабилизатор, который ограничивает напряжение до 800 В и работает на нагрузку 1 МВт, аналогичную представленной на рис.1, где вместо аккумуляторной батареи большой мощности установлена батарея суперконденсаторов, которые работают через стабилизатор напряжения, инвертор и трансформатор, выдавая запасенную энергию на шины промышленного потребителя 6(10) кВ.



*Рис. 3. Время срабатывания резервной защиты, основанной на батарее суперконденсаторов*

Как видно из осциллограммы (рис. 3), в момент времени 0,1 с происходит ПН и при пропадании электрического тока или при выходе его параметров за допустимые нормы батарея суперконденсаторов позволяет подключенному к ней промышленному потребителю еще в течение некоторого времени продолжать работу.

Два представленных способа эффективны в разных аварийных режимах, поэтому необходимо экономическое обоснование применения каждого из

них. Еще одним способом, наиболее экономически эффективным, является применение накопителей электроэнергии для форсировки систем возбуждения синхронного генератора, т.к. требуются значительно меньшие мощности накопителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение о предоставлении гранта в форме субсидии № 14.574.21.0188 – 1 этап, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57418X0188.

### Список литературы

1. *Бахтеев, К.Р.* Проблемы интеграции собственной генерации в электроэнергетическую систему / К.Р. Бахтеев. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2015. – С.10.

2. *Бердников, Р.Н.* Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов / Р.Н. Бердников, В.Е. Фортгов, Э.Е. СОН, К.К. Дельщиков, А.З. Жук, Н.Л. Новиков, Ю.Г. Шакарян. // Энергия единой сети. – 2013. – №2(7). – С.41.

3. *Федотов, А.И.* Влияние малой распределённой генерации на уровень остаточного напряжения при коротких замыканиях / А.И. Федотов, К.Р. Бахтеев, А.В. Леонов. – Казань: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2016. – С.45.

4. *Malhotra, A.* Use cases for stationary battery technologies: A review of the literature and existing projects / A. Malhotra, B. Battke, M. Beuse, A. Stephan, T. Schmidt Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – №56. – P. 705.

5. *Бахтеев, К.Р.* Создание гибридного накопителя электроэнергии большой мощности для предотвращения кратковременных нарушений электроснабжения промышленных потребителей / К.Р. Бахтеев. – Казань: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. – С.36.

6. *Rastler, D.* Electric Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits / D. Rastler. EPRI, Palo Alto, CA, 2010. 1020676. –

7. *Федотов, А.И.* Повышение качества электроснабжения промышленных потребителей путем использования накопителей электроэнергии при провалах напряжения / А.И. Федотов, К.Р. Бахтеев. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2017. – С.308.

8. *Kenan, M.* Transient modeling and analysis of a DFIG based wind farm with supercapacitor energy storage / M. Kenan, D. Ayşen, B. Arsoyb. International Journal of Electrical Power & Energy Systems Volume 78, June 2016. – P. 414.

*Материал поступил в редколлегию 12.10.18.*