



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621

ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Биткулов К.Р., Зализная Е.А., Зализный С.А., Умурзаков Д.Д.

ФГБОУ ВО "Национальный Исследовательский Университет" МЭИ", Москва, Россия (111250, Москва, Красноказарменная ул, д. 14, стр. 1), e-mail: madamliza2@yandex.ru

В последнее десятилетие системы накопления энергии (СНЭ) на базе аккумуляторных батарей как одна из структурных единиц интеллектуальных сетей пережили быстрый рост как в техническом плане, так и в экономической эффективности. В данной работе проводится оценка эффекта от применения СНЭ в различных приложениях в распределительных сетях.

Ключевые слова: Система накопления энергии, арбитраж, срезание пиков, поддержание напряжения, экология.

THE EFFECT OF USING AN ENERGY STORAGE SYSTEM IN APPLICATIONS FOR DISTRIBUTION NETWORKS

Bitkulov K.R., Zaliznaya E.A., Zalizny S.A., Umurzakov D.D.

National Research University MPEI, Moscow, Russia (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya street, 14, bldg. 1), e-mail: madamliza2@yandex.ru

In the last decade, battery-based energy storage systems (SNES), as one of the structural units of intelligent networks, have experienced rapid growth both in technical terms and in economic efficiency. In this paper, an assessment of the effect of the use of SNE in various applications in distribution networks is carried out.

Keywords: Energy storage system, arbitration, peak cutting, voltage maintenance, ecology.

Системы накопления энергии (СНЭ) имеют много потенциальных применений в распределительных сетях. Однако в распределительной сети наиболее важные приложения СНЭ в основном учитываются при планировании.

Первое и наиболее используемое приложение, которое рассматривается практически во всех работах - это арбитраж или выравнивание нагрузки [2,3,11]. Арбитраж - это процесс заряда СНЭ, когда электроэнергия дешева в периоды низкого спроса и процесс разряда, когда электричество дорого в периоды высокого спроса. Арбитраж приводит к выравниванию графика нагрузки, сглаживанию пика нагрузки и, следовательно, снижению стоимости снабжения потребителя в течение всего периода эксплуатации. Практика арбитража или выравнивания нагрузки также называется сглаживанием пиков наряду с заполнением впадин, как показано на рис. 1 [12].

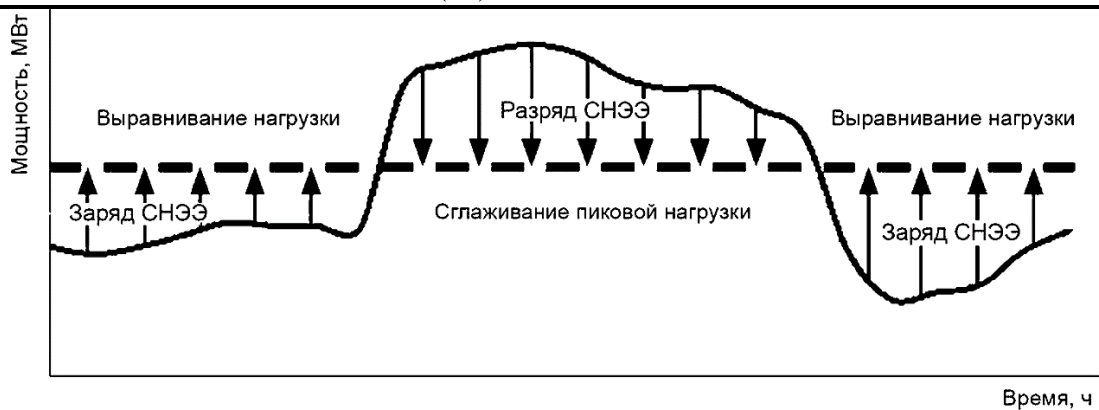


Рисунок 1 – Применение выравнивания нагрузки с помощью СНЭ

Следует отметить, что причиной снижения затрат от выравнивания нагрузки является квадратичная форма функции затрат производства электроэнергии. Учитывая высокую долю производства тепловой энергии в системе, производство электроэнергии является функцией сжигания ископаемого топлива в виде квадратичной функции, как указано в (1).

$$C_{\Gamma} = \alpha + \beta + \gamma * P_{\Gamma}^2 \quad (1)$$

В этом уравнении P_{Γ} представляет собой производство электроэнергии а C_{Γ} - связанные с ней затраты на производство; α , β и γ обозначают коэффициенты функции стоимости первого, второго и третьего порядка соответственно. Чтобы ослабить нелинейность этой функции и улучшить процесс сходимости метода решения, обычной практикой является использование кусочно-линейной аппроксимации - квадратичная функция стоимости аппроксимируется последовательностью отрезков прямой линии. Детали такого приближения можно найти в [12].

Перегрузка сети - это состояние, при котором имеющиеся распределительные фидеры не могут обеспечить подключенную нагрузку, что обычно происходит в периоды высокого спроса или в аварийных условиях [13]. Перегрузка сети значительно влияет на надежность, поскольку, если фидеры перегружены и работают на своих тепловых ограничениях (или вблизи них), они будут подвержены срабатыванию защитных устройств [13]. Проблема с перегрузками может быть решена путем переноса пиковой нагрузки на непиковые периоды и/или модернизацией сети. Снижение пикового потребления, или срезание пиков, с помощью СНЭ уменьшит линейные потоки, вызванные перегрузкой и, в свою очередь, отложит необходимость модернизации сети. Уменьшение перегрузки - это второе приложение для СНЭ, которое широко исследуется в данных работах [6-9].

Тремя основными недостатками распределительных сетей радиальной конфигурации являются высокие уровни падения напряжения и потерь в дополнение к низкому уровню надежности. Применение СНЭ также позволяет решить эти проблемы надлежащим образом. В этом контексте СНЭ планируется с целью повышения уровня надежности распределительной сети [6, 7, 9].

В [11] индекс средней частоты кратковременных отключений (*Momentary Average Interruption Frequency Index - MAIFI*) минимизируется за счет оптимального определения емкости и расположения аккумуляторных батарей, а также индекс средней длительности

отключений по системе (*System Average Interruption Frequency Index - SAIDI*) оптимизируется путем нахождения оптимального количества и местоположения коммутационных устройств.

Управление и поддержание требуемого уровня напряжения - еще одно приложение, которое рассматривается в задаче планирования СНЭ [6, 7, 8, 10]. В большинстве этих работ для регулирования напряжения учитывается реактивная мощность СНЭ, а в других нет, то есть СНЭ поддерживает напряжение только за счет активной мощности.

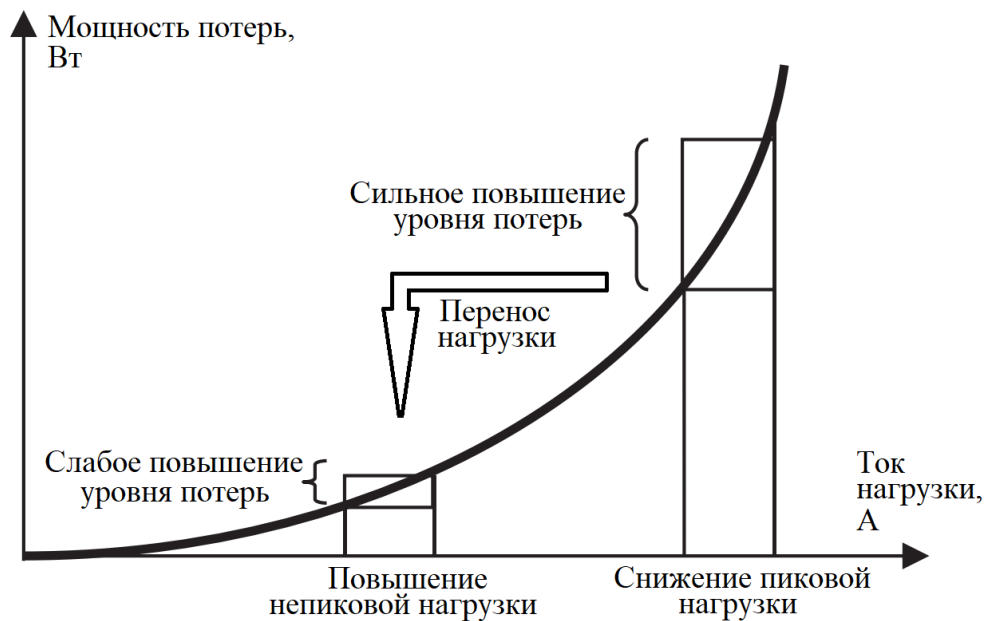


Рисунок 2 – Эффект от переноса нагрузки с пиковой зоны на непиковую

Поскольку потери в распределительных фидерах зависят от квадрата тока нагрузки, перенос любой части нагрузки с пикового на непиковый период приведет к чистому снижению потерь. Рисунок 2 иллюстрирует ситуацию, когда смещение нагрузки с пиковой на непиковую зону значительно снижает потери в периоды пикового потребления за счет частичного роста потерь в периоды низкого спроса. Снижение потерь, достигаемое путем выравнивания нагрузки за счет применения СНЭ, происходит в распределительных линиях, кабелях, трансформаторах, шинах, коммутаторах и других сетевых устройствах, пропускающих ток нагрузки [1]. Эта решение значительно снижает общие потери в сети. Применение СНЭ для снижения потерь принято в качестве одного из приложений в [5, 8].

Применение СНЭ может помочь улучшить использование энергии ветра, избегая сокращения выработки за счет поглощения избыточной энергии при зарядке - избыточная электрическая энергия, вырабатываемая ветрогенераторами сверх требуемой потребности, может использоваться для зарядки СНЭ с последующей разрядкой при недостатке выработки. Это проводится в качестве альтернативы отключению для использования по мере необходимости [2, 5].

СНЭ обладают потенциалом декарбонизации электроэнергетического сектора, представляя новое, безуглеродное и экологически чистое решение для операционной гибкости за счет улучшения использования генерирующих активов и облегчения интеграции возобновляемых источников энергии [14]. Производство электроэнергии с использованием

тепловых энергоблоков приводит к значительному экологическому вреду за счет выбросов CO_2 , NO_x и SO_2 . Интеграция СНЭ может снизить выработку электроэнергии этими блоками. Следовательно, уровень загрязнений, выбрасываемых этими источниками, будет снижен. Выравнивание графика нагрузки с помощью СНЭ для уменьшения выбросов рассматривается в [5-9].

СНЭ также могут использоваться для отслеживания изменений в графике нагрузки (компенсация ошибок прогноза) [3], а также для обеспечения резервной мощности в сети [4].

В процессе планирования рассматриваются различные варианты применения СНЭ путем определения соответствующих целей. Кроме того, исследователи предлагают уделить внимание технологиям и решениям, таким как активные сети, многоэтапное планирование, многоцелевое планирование и совместное планирование.

Максимально возможное использование нескольких синергетических приложений СНЭ повысит их экономическую эффективность в сравнении с другими решениями в сети. Например, применение СНЭ в качестве резервного источника при работе сети в островном режиме рассматривается в меньшей степени.

Список литературы

1. Saboori H, Abdi H. Application of a grid scale energy storage system to reduce distribution network losses. In: Proceedings of the 18th conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC). IEEE; 2013. pp. 1–5.
2. Atwa Yasser, Moustafa, El-Saadany EF. Optimal allocation of ESS in distribution systems with a high penetration of wind energy. IEEE Trans Power Syst 2010;25.4:1815–22.
3. Zheng Yu, et al. Optimal allocation of energy storage system for risk mitigation of DISCOs with high renewable penetrations. IEEE Trans Power Systems, vol. 29, no. 1, pp. 212–220, Jan. 2014, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2278850.
4. Qin Mingwen, et al. Optimal planning and operation of energy storage systems in radial networks for wind power integration with reserve support. IET Gener, Transm Distrib 2016;10.8:2019–25.
5. Zhang Yongxi, et al. Optimal allocation of battery energy storage systems in distribution networks with high wind power penetration. IET Renew Power Gener 2016.
6. Santos Sérgio F, et al. New multistage and stochastic mathematical model for maximizing RES hosting capacity—Part I: problem formulation. IEEE Trans Sustain Energy 2017;8.1:304–19.
7. Santos Sérgio F, et al. New multi-stage and stochastic mathematical model for maximizing RES hosting capacity—Part II: numerical results. IEEE Trans Sustain Energy 2017;8.1:320–30.
8. Sardi Junainah, et al. Multiple community energy storage planning in distribution networks using a cost-benefit analysis. Appl Energy 2017;190:453–63.
9. Wenxia LIU, Shuya NIU, Huiting XU. Optimal planning of battery energy storage considering reliability benefit and operation strategy in active distribution system. J Modern Power Syst Clean Energy. pp 1-10.
10. Babacan Oytun, Torre William, Kleissl Jan. Siting and sizing of distributed energy storage to mitigate voltage impact by solar PV in distribution systems. Sol Energy 2017;146:199–208.

11. Pombo A, Vieira J, Murta-Pina, FernãoPires V. Multiobjective formulation of the integration of storage systems within distribution networks for improving reliability. *Electr Power Syst Res* 2017;148:87–96.
12. Hemmati Reza, Saboori Hedayat. Short-term bulk energy storage system scheduling for load leveling in unit commitment: modeling, optimization, and sensitivity analysis. *J Adv Res* 2016;7.3:360–72.
13. Kumar Ashwani, Srivastava SC, Singh SN. Congestion management in competitive power market: a bibliographical survey. *Electr Power Syst Res* 2005;76.1:153–64.
14. Sisternes de, Fernando J, Jenkins Jesse D, Botterud Audun. "The value of energy storage in decarbonizing the electricity sector. *Appl Energy* 2016;175:368–79.

References

1. Saboori H, Abdi H. Application of a grid scale energy storage system to reduce distribution network losses. In: *Proceedings of the 18th conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC)*. IEEE; 2013. pp. 1–5.
2. Atwa Yasser, Moustafa, El-Saadany EF. Optimal allocation of ESS in distribution systems with a high penetration of wind energy. *IEEE Trans Power Syst* 2010;25.4:1815–22.
3. Zheng Yu, et al. Optimal allocation of energy storage system for risk mitigation of DISCOs with high renewable penetrations. *IEEE Trans Power Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 212–220, Jan. 2014, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2278850.
4. Qin Mingwen, et al. Optimal planning and operation of energy storage systems in radial networks for wind power integration with reserve support. *IET Gener, Transm Distrib* 2016;10.8:2019–25.
5. Zhang Yongxi, et al. Optimal allocation of battery energy storage systems in distribution networks with high wind power penetration. *IET Renew Power Gener* 2016.
6. Santos Sérgio F, et al. New multistage and stochastic mathematical model for maximizing RES hosting capacity—Part I: problem formulation. *IEEE Trans Sustain Energy* 2017;8.1:304–19.
7. Santos Sérgio F, et al. New multi-stage and stochastic mathematical model for maximizing RES hosting capacity—Part II: numerical results. *IEEE Trans Sustain Energy* 2017;8.1:320–30.
8. Sardi Junainah, et al. Multiple community energy storage planning in distribution networks using a cost-benefit analysis. *Appl Energy* 2017;190:453–63.
9. Wenxia LIU, Shuya NIU, Huiting XU. Optimal planning of battery energy storage considering reliability benefit and operation strategy in active distribution system. *J Modern Power Syst Clean Energy*. pp 1-10.
10. Babacan Oytun, Torre William, Kleissl Jan. Siting and sizing of distributed energy storage to mitigate voltage impact by solar PV in distribution systems. *Sol Energy* 2017;146:199–208.
11. Pombo A, Vieira J, Murta-Pina, FernãoPires V. Multiobjective formulation of the integration of storage systems within distribution networks for improving reliability. *Electr Power Syst Res* 2017;148:87–96.
12. Hemmati Reza, Saboori Hedayat. Short-term bulk energy storage system scheduling for load leveling in unit commitment: modeling, optimization, and sensitivity analysis. *J Adv Res* 2016;7.3:360–72.

13. Kumar Ashwani, Srivastava SC, Singh SN. Congestion management in competitive power market: a bibliographical survey. *Electr Power Syst Res* 2005;76.1:153–64.
 14. Sisternes de, Fernando J, Jenkins Jesse D, Botterud Audun. "The value of energy storage in decarbonizing the electricity sector. *Appl Energy* 2016;175:368–79.
-