



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 62

ПРЕИМУЩЕСТВА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ: АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В СЕТИ

¹ Кашицын С.А., Кириллов М.В., Ситников С.В.

РЯЗАНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Рязань, Россия (390000, г Рязань, ул Праволыбедская, д. 26/53), e-mail: ¹ kashitsyn.serge@yandex.ru

Необходимость обеспечения приемлемого качества и надежности электроснабжения создаст очень благоприятный климат для внедрения распределенных ресурсов и инновационных методов эксплуатации. Распределенные ресурсы охватывают как распределенную генерацию, так и распределенное хранение энергии. Среди многих преимуществ распределенной генерации - снижение потерь на линии. Цель данной статьи - количественно оценить это преимущество для простого случая радиально-распределительного фидера с сосредоточенной нагрузкой и распределенным генератором. Анализ представлен для различных местоположений распределенного генератора вдоль фидера и для различных выходных мощностей.

Ключевые слова: Распределенная генерация, снижение потерь, электрическая мощность, подача электроэнергии.

ADVANTAGES OF DISTRIBUTED GENERATION: ANALYSIS OF NETWORK LOSS REDUCTION

¹ Kashitsyn S.A., Kirillov M.V., Sitnikov S.V.

RYAZAN INSTITUTE (BRANCH) OF MOSCOW POLYTECHNIC UNIVERSITY, Ryazan, Russia (390000, Ryazan, Pravolybedskaya street, 26/53), e-mail: ¹ kashitsyn.serge@yandex.ru

The need to ensure acceptable quality and reliability of power supply will create a very favorable climate for the introduction of distributed resources and innovative methods of operation. Distributed resources cover both distributed generation and distributed energy storage. Among the many advantages of distributed generation is the reduction of line losses. The purpose of this article is to quantify this advantage for the simple case of a radial distribution feeder with a concentrated load and a distributed generator. The analysis is presented for different locations of the distributed generator along the feeder and for different output capacities.

Keywords: Distributed generation, loss reduction, electric power, power supply.

Введение

В условиях дефицита электроэнергии электроэнергетические компании ищут новые технологии для обеспечения приемлемого качества и надежности подачи электроэнергии своим потребителям. Вариант нетрадиционных источников электроэнергии быстро становится привлекательным для многих коммунальных предприятий, поскольку эти

технологии производят энергию с меньшим воздействием на окружающую среду, просты в размещении и высокоэффективны [1-3].

Распределенную генерацию (РГ) можно рассматривать как “доставку мощности в нагрузку”. РГ позволяет вырабатывать электроэнергию с высокой эффективностью и низким уровнем загрязнения окружающей среды. В отличие от крупных энергоустановок установки РГ могут быть установлены на нагрузке или рядом с ней. Мощность РГ колеблется от 5 кВт до 100 МВт. Затраты на техническое обслуживание РГ, например, топливных элементов и фотоэлектрических элементов, довольно низки из-за отсутствия движущихся частей [4].

Некоторые технологии РГ находятся на различных стадиях разработки. К ним относятся микротурбины, фотоэлектрические системы (ФЭ), системы преобразования энергии ветра (ВГ), газовые турбины, газовые двигатели внутреннего сгорания, дизельные двигатели и системы топливных элементов [5-7]. В настоящее время ветроэнергетика стала наиболее конкурентоспособной среди всех технологий возобновляемой энергетики [5].

Интеграция РГ в существующую энергосистему может дать ряд преимуществ. Эти преимущества включают снижение потерь на линиях, снижение воздействия на окружающую среду, снижение пиковых нагрузок, повышение общей энергоэффективности, уменьшение перегрузок при передаче и распределении электроэнергии, поддержку напряжения и отсроченные инвестиции в модернизацию существующих систем генерации, передачи и распределения электроэнергии.

В данной статье выполнен анализ снижения потерь на линии. Решение проанализировано для различных местоположений РГ вдоль фидера и для различных выходных мощностей РГ.

Методы

Рассмотрим две простые радиальные системы: систему без РГ (Рисунок 1,а) и систему с включением РГ (Рисунок 1,б). Обе системы имеют концентрированную нагрузку на конце линии. Предполагается, что общая протяженность линии составляет L км. РГ располагается на G км от источника.

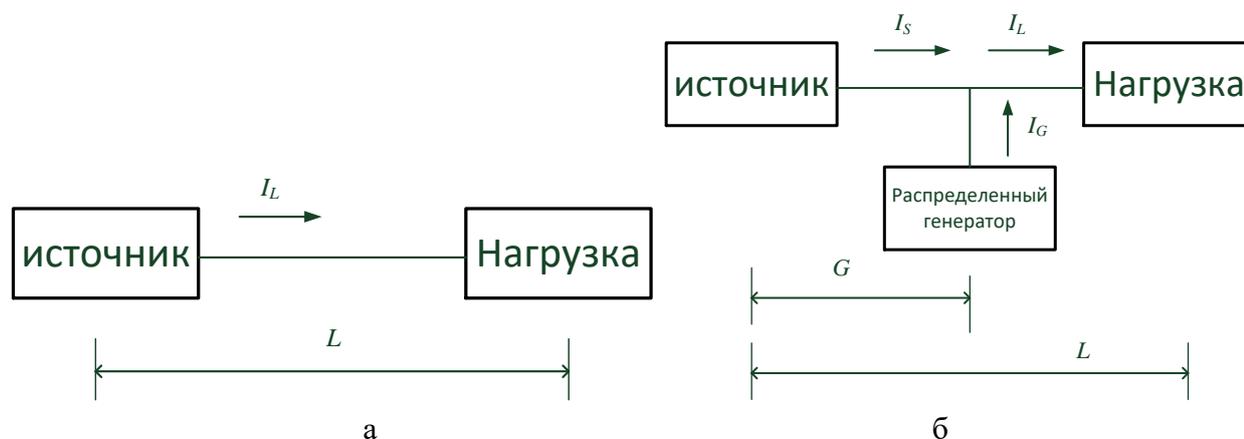


Рисунок 1 – а) простая радиальная распределительная система;
б) схема радиальной системы с включением РГ. I_L – ток нагрузки на фазу, I_S - ток источника на фазу, I_G – выходной ток РГ на фазу.

В ходе исследования были сделаны следующие предположения:

- 1) Нагрузка подключена по Y-образной схеме;
- 2) Нагрузка поглощает реальную мощность при некотором заданном коэффициенте мощности;
- 3) РГ производит реальную мощность с запаздывающим, опережающим или единичным коэффициентом мощности;
- 4) V_P - среднеквадратичное напряжение на нагрузке.

Комплексная мощность нагрузки равна сумме активной и реактивной мощностей $S_L = P_L + jQ_L$, следовательно, ток, поглощаемый нагрузкой, равен:

$$I_L = \frac{(P_L - jQ_L)}{3V_P} \quad (1)$$

Потеря электрической линии происходит, когда ток протекает через системы передачи и распределения. Величина потерь зависит от величины протекающего тока и сопротивления линии. Следовательно, потери в линии можно уменьшить, уменьшив либо ток в линии, либо сопротивление, либо и то, и другое вместе. Если РГ используется для локального обеспечения энергии нагрузки, потери в линии могут быть уменьшены из-за уменьшения расхода тока в некоторой части сети.

Проанализируем схему на рис. 1,а. Уравнение потерь в линии до включения РГ для трехфазной системы определяется как:

$$P_B = \frac{rL(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2}, \quad (2)$$

где r - сопротивление линии на фазу на единицу длины.

Предположим, что линия короткая, тогда падением напряжения вдоль линии можно пренебречь. Схема этой системы показана на рис. 1,б. Выходной ток РГ задается как:

$$I_G = \frac{(P_G - jQ_G)}{3V_P} \quad (3)$$

Потери на линии при включении РГ представляет собой сумму двух составляющих: потери на линии от источника до РГ и потери на линии от РГ до нагрузки.

Выражение для потерь в первом случае может быть задано в виде:

$$P_S = \frac{rG(P_L^2 + Q_L^2 + P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G)}{3V_P^2} \quad (4)$$

Потери в линии во втором случае могут быть выражены следующим образом:

$$P_N = \frac{r(L - G)(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2} \quad (5)$$

Тогда общая потеря линии выразится как:

$$P_\Sigma = \frac{R}{3V_P^2} \left(P_L^2 + Q_L^2 + \frac{G}{L} (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G) \right), \quad (6)$$

где $R = rL$.

Уменьшение потерь (ΔP) определяется разницей в потерях на линии с РГ и без него. Следовательно,

$$\Delta P = P_B - P_\Sigma = \frac{RG}{3V_P^2 L} (2P_L P_G + 2Q_L Q_G - P_G^2 - Q_G^2) \quad (7)$$

Если ΔP положительно, то системные потери уменьшаются при интеграции РГ. Напротив, отрицательное значение ΔP подразумевает, что РГ приводит к более высоким системным потерям.

Уменьшение потерь на единицу измерения определяется как отношение уменьшения потерь к потерям в линии без учета РГ:

$$\Delta P_{y0} = \frac{LR}{P_B} = \frac{G}{(P_G^2 + Q_G^2)L} (2P_L P_G + 2Q_L Q_G - P_G^2 - Q_G^2) \quad (8)$$

Далее рассмотрим варианты нагрузки в сети. Нагрузки могут иметь запаздывающий, опережающий или единичный коэффициент мощности. При запаздывающем коэффициенте мощности нагрузка поглощает реактивную мощность из системы, что означает, что Q положительна. При лидирующем коэффициенте мощности нагрузка подает реактивную мощность в систему, значит Q отрицательна.

Исходя из базовой концепции треугольника мощности, уравнение для реактивной мощности нагрузки может быть выражено через коэффициент мощности PF_L и реальную мощность P_L следующим образом:

$$Q_L = \frac{(-1)^{k_N} P_L \sqrt{1 - (PF_L)^2}}{PF_L} \quad (9)$$

где:

$$k_N = \begin{cases} 1 & \text{для нагрузки с запаздывающим коэффициентом мощности} \\ 2 & \text{для нагрузки с опережающим коэффициентом мощности} \end{cases}$$

РГ может работать в трех режимах: с запаздыванием, опережением или с единичным коэффициентом мощности. При работе с запаздывающим коэффициентом мощности РГ вырабатывает реактивную мощность для системы, таким образом, Q положительна. Для работы с ведущим коэффициентом мощности Q отрицательна, поскольку РГ поглощает реактивную мощность из сети. Уравнение реактивной мощности для РГ выражается в виде:

$$Q_G = \frac{(-1)^{k_N} Y P_L \sqrt{1 - (PF_L)^2}}{PF_L} \quad (10)$$

где:

$$k_N = \begin{cases} 1 & \text{для работы с запаздывающим коэффициентом мощности} \\ 2 & \text{для работы с опережающим коэффициентом мощности} \end{cases}$$

Существует четыре возможные комбинации коэффициентов мощности нагрузки и РГ:

1. РГ работает с запаздывающим коэффициентом мощности, в то время как нагрузка имеет опережающий коэффициент мощности.

2. РГ работает с запаздывающим коэффициентом мощности, и нагрузка также запаздывает.

3. РГ работает с ведущим коэффициентом мощности, и нагрузка также является ведущей.

4. РГ работает с опережающим коэффициентом мощности, в то время как нагрузка имеет запаздывающий коэффициент мощности.

Варианты 1, 4 и 2, 3 дали одинаковый результат для ΔP . Следовательно, подставляя (9) и (10) в (8), ΔP для четырех возможных случаев может быть выражен двумя различными уравнениями.

Уравнение снижения потерь для случаев 1 и 4

$$\Delta P_{1,4} = \frac{YG(PF_L)^2}{L} \left[2 - \frac{Y}{(PF_G)^2} - \frac{2\sqrt{1-(PF_L)^2}\sqrt{1-(PF_G)^2}}{PF_L \times PF_G} \right] \quad (11)$$

Уравнение снижения потерь для случаев 2 и 3

$$\Delta P_{2,3} = \frac{YG(PF_L)^2}{L} \left[2 - \frac{Y}{(PF_G)^2} + \frac{2\sqrt{1-(PF_L)^2}\sqrt{1-(PF_G)^2}}{PF_L \times PF_G} \right] \quad (12)$$

Результаты

Рассмотрим влияние изменения местоположения РГ и изменения выходной мощности РГ. Чтобы оценить влияние выходной мощности РГ на потери в системе, коэффициенты мощности нагрузки и РГ примем с запаздыванием 0,85. Далее предполагается, что РГ устанавливается в середине фидера. Выходная мощность РГ варьируется в пределах: 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 и 1,0, 1,2 и 1,4 ри, в то время как величина нагрузки поддерживается постоянной на уровне 2,0 ри. Значения ΔP , рассчитанные с использованием (13), сопоставляются с выходной мощностью РГ (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Изменение снижения потерь в линии в зависимости от выходной мощности DG

Из Рисунке 2 ясно видно, что РГ может уменьшить потери на линии в системе. Это связано с тем, что РГ подает часть реальной и реактивной мощности на нагрузку. Таким образом, ток подачи уменьшается от источника к местоположению РГ, что приводит к снижению потерь в электрической линии. Однако более высокие значения РГ не всегда могут гарантировать меньшие потери в линии. На рисунке показано, что при повышении мощности РГ выше 2,0 pu скорость снижения потерь в линии фактически снижается. Это указывает на то, что распределенный генератор может привести к более высоким потерям на линии в распределительной системе, если мощность и местоположение РГ недостаточно обоснованы.

Местоположение РГ также играет жизненно важную роль при учете потерь в электрической линии. Чтобы изучить это влияние, расположение и мощность РГ варьируется вдоль фидера: 20 (местоположение 1), 40 (местоположение 2), 60 (местоположение 3), 80 (местоположение 4) и 100% (местоположение 5) мощности (от источника), в то время как коэффициенты нагрузки и мощности РГ поддерживаются на уровне 0,85. Результаты расчета по формуле (13) приведены на Рисунке 3.

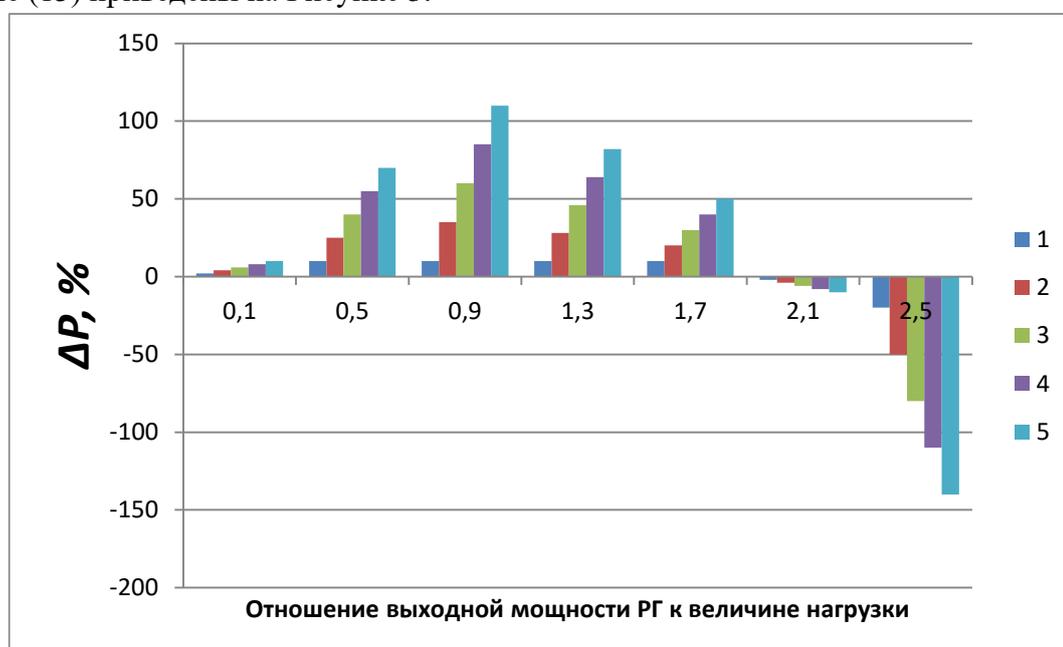


Рисунок 3 – Изменения снижения потерь в линии в зависимости от выходной мощности РГ и местоположения

Результаты показывают, что потери в линии уменьшаются по мере того, как РГ размещается ближе к нагрузке. Однако этот факт применим только в том случае, если номинальная мощность РГ согласована с нагрузкой. Если отношение выходной мощности РГ к величине нагрузки превысит допустимую величину, то РГ, установленный рядом с нагрузкой, вызовет большие потери в электрической линии, чем тот, который установлен рядом с нагрузкой. Это связано с тем, что нагрузка не может потреблять всю мощность, подаваемую РГ. Таким образом, оставшаяся мощность от РГ подается обратно к источнику по распределительной линии, что приводит к более высоким потерям в линии.

Заключение

Использование распределенной генерации - одна из многих стратегий, которые рассматривают электроэнергетические компании. Включение РГ на уровне распределения приводит к ряду преимуществ, среди которых устранение перегрузок, снижение потерь, поддержка напряжения, снижение пиковых значений и общее повышение энергоэффективности, надежности и качества электроэнергии.

В этой статье рассмотрено преимущество РГ по снижению потерь для простого случая радиальной распределительной линии с одной концентрированной нагрузкой и одним РГ. Результаты ясно указывают на то, что РГ может снизить потери в электрической линии. Номинальная мощность РГ, местоположение и коэффициент рабочей мощности являются важными факторами для снижения потерь в линии. Следовательно, эти факторы необходимо учитывать очень тщательно, чтобы определить наилучшее местоположение и рейтинг DG.

Список литературы

1. Даукаев А. А., Сарсаков М. С., Сулейманова З. И. Традиционные и нетрадиционные источники энергии: исторические и современные аспекты //Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. ХИ Ибрагимова РАН. – 2020. – №. 1. – С. 215-222.
2. Проваторов Н. С., Чан Т. Н., Москвитин А. А. К вопросу об использовании "нетрадиционных" источников энергии //Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – С. 210-213.
3. Vezirishvili-Nozadze K., Jishkariani M., Pantskhava E. Renewable and non-Traditional Energy Sources //Actual trends of modern scientific research. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. – 2021. – С. 232-239.
4. Denysiuk S., Derevianko D. The cost based DSM methods in microgrids with DG sources //2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – IEEE, 2021. – С. 544-548.
5. Пустовойтов А. С. и др. Обзор различных типов ветрогенераторов, использующихся в мире //Евразийское научное объединение. – 2020. – №. 9-2. – С. 124-127.
6. Чичирова Н. Д. и др. Обзор возможности применения газовых турбин малой мощности //Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2023. – Т. 16. – №. 5. – С. 584-600.
7. Абдали Л. М. А. и др. Анализ различных методов отслеживания точки максимальной мощности при работе солнечных фотоэлектрических систем //Интеллектуальные системы в производстве. – 2022. – Т. 20. – №. 3. – С. 104.

References

1. Daukaev A. A., Sarsakov M. S., Suleymanova Z. I. Traditional and non-traditional energy sources: historical and modern aspects //Bulletin of the HI Ibragimov Integrated Research Institute of the Russian Academy of Sciences. – 2020. – №. 1. – pp. 215-222.

2. Provatorov N. S., Chan T. N., Moskvitin A. A. On the use of "unconventional" energy sources //Modern electrotechnical and information complexes and systems. – 2019. – pp. 210-213.
 3. Vezirishvili-Nozadze K., Jishkariani M., Pantskhava E. Renewable and non-Traditional Energy Sources //Actual trends of modern scientific research. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. – 2021. – pp. 232-239.
 4. Denysiuk S., Derevianko D. The cost based DSM methods in microgrids with DG sources //2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – IEEE, 2021. – pp. 544-548.
 5. Pustovoitov A. S. et al . Overview of various types of wind generators used in the world //Eurasian Scientific Association. – 2020. – No. 9-2. – pp. 124-127.
 6. Chichirova N. D. et al. Review of the possibility of using low-power gas turbines //Journal of the Siberian Federal University. Equipment and technologies. – 2023. – Vol. 16. – No. 5. – pp. 584-600.
 7. Abdali L. M. A. et al. Analysis of various methods for tracking the maximum power point during the operation of solar photovoltaic systems //Intelligent systems in production. – 2022. – Vol. 20. – No. 3. – pp. 104.
-