

Метод распределения коэффициента нагрузки синхронного генератора в пределах сегмента энергосети

В.А. Шевченко, М.Ю. Медведев, В.Х. Пишихов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос распределения коэффициента нагрузки синхронного генератора, определяющего процент отбора мощности потребителем от конкретного генератора. При транспортировке электроэнергии потребителю по нескольким линиям от разных источников энергии, возникает задача рационального распределения уровня мощности, которой потребитель будет отбирать у каждого из источников. В работе предложен метод распределения, направленный на минимизацию потерь мощности в линиях электропередач. Выведен закон распределения коэффициента нагрузки СГ, учитывающий потери в линии и возможные ограничения на уровень вырабатываемой мощности генераторами.

Ключевые слова: коэффициент нагрузки, синхронный генератор, система управления, интеллектуальная энергосеть, распределение мощности.

Введение

В работе [1] предложена система автоматического управления интеллектуальной энергосетью, строящаяся по принципам распределения задач управления на несколько уровней. В работе выделено три основных уровня, где верхний уровень решает задачу распределения энергосети на энергетически самодостаточные сегменты и может обеспечить перераспределение энергетических мощностей от одного сегмента к другому, в нештатных ситуациях, используя резерв мощности пограничных генерирующих источников. Средний уровень обеспечивает баланс мощностей сегмента сети, формируя и решая систему уравнений энергобаланса, где решения уравнений является задачей управления для нижнего уровня системы. Нижний уровень является локальной системой управления генерирующим источником, и обрабатывает поставленную ему задачу управления.

В работе [1] представлен алгоритм определения баланса мощностей исходя из структуры сегмента энергосети. Сегмент энергосети представляет собой ряд генерирующих источников и потребителей, связанных между

собой (рис.1). Связи между сегментами представляются внешними источниками или потребителями энергии.

В общем случае от одного генератора питаются несколько потребителей. Каждый потребитель энергии также может быть подключен к нескольким источникам, например, потребители первой и второй категории. Таким образом, сегмент может быть представлен двумерным графом со связями «многие ко многим».

При определении системы уравнений энергобаланса учитывается, что один генератор питает несколько потребителей, по средствам коэффициента нагрузки СГ. Коэффициент нагрузки выбирался эмпирически, для возможности проведения моделирования работы системы, в связи с чем, возникает задача разработки алгоритма автоматического распределения и обоснования принципов распределения этого коэффициента.

Алгоритм распределения коэффициента нагрузки СГ

Запишем уравнение энергобаланса для потребителя П1 (рис. 1):

$$P_{p1} = \alpha_{11}P_{g1} + \alpha_{12}P_{g2} + \alpha_{13}P_{g3} \quad (1)$$

где α_{ij} – коэффициент нагрузки СГ, коэффициент учитывающий уровень потребления мощности i -го потребителя от j -го генератора.

Потребляемая мощность одним потребителем не должна превышать ста процентов, следовательно:

$$\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} = 1 \quad (2)$$

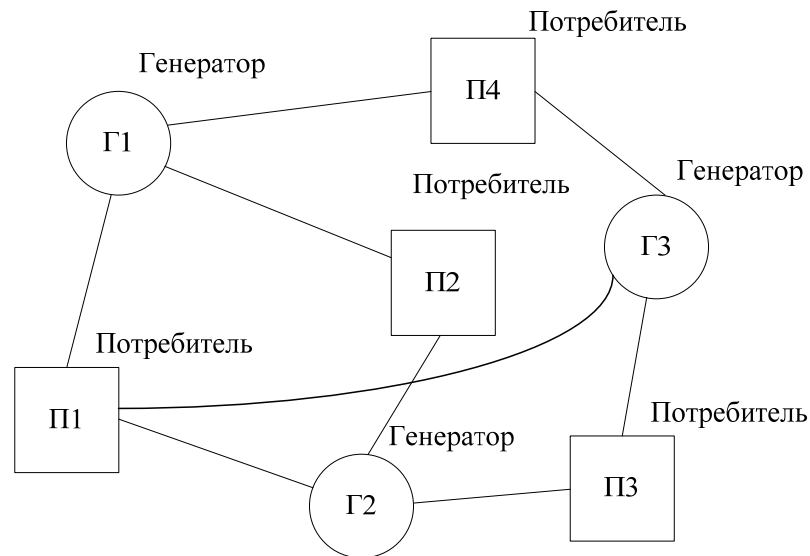


Рисунок 1 – Структура сегмента энергосети

В случае, если никаких ограничений не наложено на максимальный уровень выработки энергии каждым из генераторов и нет потерь при передаче электроэнергии, целесообразно распределить нагрузку в равных степенях на каждый из источников питания. Тогда:

$$\alpha_{11}=\alpha_{12}=\alpha_{13}=\alpha=1/3 \quad (3)$$

В реальных условиях потери в линиях электропередач могут достигать значительных величин, и в связи с этим, появляется необходимость учесть это. Необходимо ввести некоторый весовой коэффициент, который распределит нагрузку на генераторы с точки зрения минимизации потерь электроэнергии.

$$\Delta P_i=L_i \cdot \Delta P_i(\%) \quad (4)$$

$\Delta P_i(\%)$ – потери на 1 км линий электропередач, выраженные в % от требуемой мощности.

L_i – длина линий от генерирующего источника до потребителя.

Таким образом, можно записать массив, содержащий значения длин линий электропередач L :

$$L=[L_1; \dots; L_i]$$

Система автоматически сортирует массив L по возрастанию значения длины линии, таким образом, что $L_1 < L_2 < \dots < L_i$.

Таким образом, в самом простом случае, рассматривая 1-го потребителя (рис.1), получим значение весового коэффициента для второго и третьего генератора:

$$\begin{aligned} k_{v2} &= 1 - \Delta P_2 \\ k_{v3} &= 1 - \Delta P_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Для первого генератора значения весового коэффициента увеличиваются на $\Delta P_2 + \Delta P_3$, исходя из соображения минимизации потерь, тогда

$$k_{v1} = 1 - \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (6)$$

При такой записи коэффициентов не учитываются ограничения на генератор по максимально возможной выработке мощности или падения производительности, вплоть до отключения. Введем коэффициент максимальной выработки α_k (где $\alpha_{k=1}$ – работа без ограничений)

Перепишем уравнения (5), (6) следующим образом:

$$\begin{aligned} k_{v1} &= (1 - \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3) \cdot \alpha_{k1} \\ k_{v2} &= (1 - \Delta P_2 + (1 - \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3)(1 - \alpha_{k1})) \cdot \alpha_{k2} \\ k_{v3} &= (1 - \Delta P_3 + (1 - \Delta P_2 + (1 - \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3)(1 - \alpha_{k1}))(1 - \alpha_{k2})) \cdot \alpha_{k3} \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, нагрузочные коэффициенты получатся:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= k_{v1} \alpha \\ \alpha_{12} &= k_{v2} \alpha \\ \alpha_{13} &= k_{v3} \alpha \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{где } k_{v1} \alpha + k_{v2} \alpha + k_{v3} \alpha = 1$$

В общем случае, записать уравнение весового коэффициента можно следующим образом:

$$k_{v(i+1)} = (k_{v(i+1)} + k_{vi}(1 - \alpha_{ki})) \cdot \alpha_{k(i+1)}; i = 0 \dots n \quad (9)$$

Учитывая (8), (9) можно записать закон распределения коэффициента нагрузки в общем виде:

$$\alpha_{ij} = ((k_{v(i+1)} + k_{vi}(1 - \alpha_{ki})) \cdot \alpha_{k(i+1)}) \cdot \frac{1}{n}. \quad (10)$$

где n – количество генераторов, питающих i -го потребителя.

Заключение

В работе представлен алгоритм определения коэффициента нагрузки из соображений минимизации потерь. Закон распределения коэффициента нагрузки разработан в рамках концепции повышения энергоэффективности энергосети и является частью общего метода управления интеллектуальной энергосетью, который будет организован в системе управления. Полученный закон распределения позволяет повысить эффективность работы сетей без необходимости ввода в эксплуатацию нового энергетического оборудования, используя имеющуюся структуру сети, только за счет рационального распределения энергетических мощностей между потребителями и источниками электрической энергии.

Работа выполнена при поддержке ЮФУ (грант № 213.01-07/2014-01 «Теория и методы энергосберегающего управления распределенными системами генерации, транспортировки и потребления электроэнергии»).

Литература

1. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Шевченко В.А., Мазалов А.А., Тибейко И.А. Многоуровневая система распределенного управления интеллектуальными энергосетями // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2704.

2. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Шевченко В.А. Адаптивное управление с эталонной моделью приводом постоянного тока // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 2 (163). С. 6-18.

3. Медведев М.Ю., Шевченко В.А. Оценка возмущений в процессе автоматического регулирования синхронного генератора // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1930.

4. Shevchenko, V.A. Development and research of system of automatic control by the synchronous generator // Source of the Document Proceedings of the 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2013, July 16-19, 2013, Guilin, Guangxi, China. Session 30: System operation, control, diagnosis and prognosis. pp. 205-213. Code 106099.

5. Sancho-Asensio, A., Navarro, J., Arrieta-Salinas, I., Armendáriz-Íñigo, J.E., Jiménez-Ruano, V., Zaballos, A., Golobardes, E. Improving data partition schemes in Smart Grids via clustering data streams // Expert Systems with Applications, Volume 41, Issue 13, 1 October 2014, pp. 5832-5842 .

6. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Федоренко Р.В., Гуренко Б.В., Чуфистов В.М., Шевченко В.А. Алгоритмы многосвязного позиционно-траекторного управления подвижными объектами // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2579.

7. Гайдук А.Р., Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Плаксиенко Е.А., Шаповалов И.О. Управляемая форма жордана и синтез нелинейных систем управления // XII ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 521-531.

8. Медведев М.Ю., Борзов В.И., Пшихопов В.Х., Вершинин Г.Ф. Автономные управляемые ветроэнергетические установки. // Известия ТРТУ. 2006, № 3. С. 202 – 207.

9. Миркин Б.М. Адаптивное децентрализованное управление с модельной координацией // Автоматика и телемеханика. 1999. № 1. С. 90- 100.



10. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Оценивание и управление в сложных динамических системах. М.: Физматлит, 2009. С. 295.

References

1. Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju., Shevchenko V.A., Mazalov A.A., Tibejko I.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, N 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2704.
2. Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju., Shevchenko V.A. Izvestija SFU. Tehnicheskie nauki. 2015. № 2 (163). pp. 6-18.
3. Medvedev M.Yu., Shevchenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, N 4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1930.
4. Shevchenko, V.A. Development and research of system of automatic control by the synchronous generator. Source of the Document Proceedings of the 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2013, July 16-19, 2013, Guilin, Guangxi, China. Session 30: System operation, control, diagnosis and prognosis. pp. 205-213. Code 106099.
5. Sancho-Asensio, A., Navarro, J., Arrieta-Salinas, I., Armendáriz-Íñigo, J.E., Jiménez-Ruano, V., Zaballos, A., Golobardes, E. Expert Systems with Applications, Volume 41, Issue 13, 1 October 2014, pp. 5832-5842 .
6. Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju., Fedorenko R.V., Gurenko B.V., Chufistov V.M., Shevchenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, N 4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2579.
7. Gajduk A.R., Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju., Plaksienko E.A., Shapovalov I.O. Upravljaemaja forma zhordana i sintez nelinejnyh sistem upravlenija. XII VSEROSSIJSKOE SOVESHhANIE PO PROBLEMAM UPRAVLENIJa VSPU-2014 Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova RAN. 2014. pp. 521-531.
8. Medvedev M.Ju., Borzov V.I., Pshihopov V.H., Vershinin G.F.. Izvestija TRTU. 2006, № 3. pp. 202-207.



9. Mirkin B.M. Avtomatika i telemekhanika. 1999. № 1. pp. 90-100.
10. Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju. Ocenivanie i upravlenie v slozhnyh dinamicheskikh sistemah. [Assessment and management of complex dynamic systems]. M.: Fizmatlit, 2009. p. 295.