

ведению больше похожа на устройство слежения за сетью с дополнительными возможностями инерционного реагирования и больше подходит для взаимосвязанных операций, т. к. реагирует на изменение частоты.

В настоящее время, данные топологии стараются активно усовершенствовать. Так для топологии СП было предложено увеличение индуктивности фильтра СП и вспомогательный контур вокруг частотного контура, что повысит его скорость реакции на возмущение. Для топологии Ise Lab предложен подход, который основан на эмуляции переменного момента инерции, что уменьшит колебания мощности. Для уменьшения колебаний мощности также предложен приём с регулированием «виртуального реактивного сопротивления статора». Для ВСГ была разработана самонастраивающаяся система, использующая метод онлайн-оптимизации для настройки параметров алгоритма управления ВСГ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tamrakar U. Et al. Current Trends and Future Directions // Applied sciences. – 2017. – № 4. – P. 1–29.
2. Саттаров Р.Р., Гарафутдинов Р.Р. Технология виртуального синхронного генератора для повышения устойчивости энергосистем. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 373–378.

## СИНХРОНИЗАЦИЯ MICROGRID С ВНЕШНЕЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

**Т.А. Киргизалиев**

*Томский политехнический университет,  
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5А03*

Микросеть представляет собой небольшую локализованную систему электроснабжения, которая может работать независимо от центральной электросети или быть интегрированной с ней. Времена, когда энергетическая система была представлена только большими централизованными электростанциями, уходят в прошлое. Сегодня микросети становятся все более распространенными, и именно поэтому вопрос об их синхронизации с внешней системой является столь актуальным. В наше время в качестве объединяющего элемента внешней сети с микросетью применяются реклоузеры, множество из которых не имеют функцию синхронизации, необходимой для работы в сетях с генерацией. Так как реклоузеры устанавливаются на участках сети, расположенных далеко от генераторов, синхронизацию необходимо выполнять на самих реклоузерах, а не на генераторных выключателях. В связи с этим, требуется совершенствовать функциональные возможности реклоузеров, например, с помощью блока синхронизации, который, как следует из вышесказанного, целесообразно установить в шкаф управления реклоузера, тем самым сделав реклоузер компонентом интеллектуальной сети.

При синхронизации микросети с большой внешней сетью очень часто возникают трудности, связанные с невыполнением условий синхронизации, главной причиной которых является частое изменение мощности нагрузок в microgrid. Данная причина является важной для учёта, потому что во время объединения внешней сети с microgrid нагрузка в микросети может измениться в момент подачи сигнала на включение объединяющего выключателя, что окажет влияние на несоответствие условий синхронизации еще до того момента, как объединяющий выключатель полностью включится, тем самым приводя к сдвигу угла фаз между векторами напряжений микросети и внешней сети. Так как угол сдвига фаз будет намного

больше допустимого, возникнет уравнительный ток, за которым последует резкий момент, приводящий к срабатыванию механизмов защиты и, соответственно, к отключению генераторов микросети. Из-за образующегося момента срок службы генераторов может сократиться, кроме того, может произойти аварийная ситуация.

На рис. 1 изобразим алгоритм работы блока синхронизации на реклоузерах. Данный алгоритм помогает уменьшить воздействие ударных моментов при подключении microgrid к внешней изолированной сети.

Суть метода работы алгоритма заключается в том, что если первые два условия синхронизации выполнены, необходимо дождаться выполнения третьего. Сигнал на включение реклоузера не будет выдаваться до тех пор, пока угол сдвига фаз напряжений не будет равен  $|\Delta\delta| \geq \Delta\delta_{\text{доп}}/2$ , в свою очередь угол сдвига фаз напряжений должен соответствовать следующему неравенству:  $|\Delta\delta| < \Delta\delta_{\text{доп}}$ .

При учете знака скольжения ( $S$ ) условие № 3 будет иметь вид:

При  $S \geq 0$ :

$$0 \geq \Delta\delta \geq -\Delta\delta_{\text{доп}}/2.$$

При  $S < 0$ :

$$\Delta\delta_{\text{доп}}/2 \geq \Delta\delta \geq 0.$$

Ниже на рис. 2 можно увидеть, что при подаче сигнала на включение угол сдвига фаз не должен быть больше допустимого угла, соответственно, для этого необходимо иметь некоторый запас по времени для включения реклоузера  $t_{\text{вкл}}$ . Если вышеупомянутое условие не выполняется, то сигнал на включение реклоузера заблокируется, тем самым присоединение микросети с внешней не произойдет.

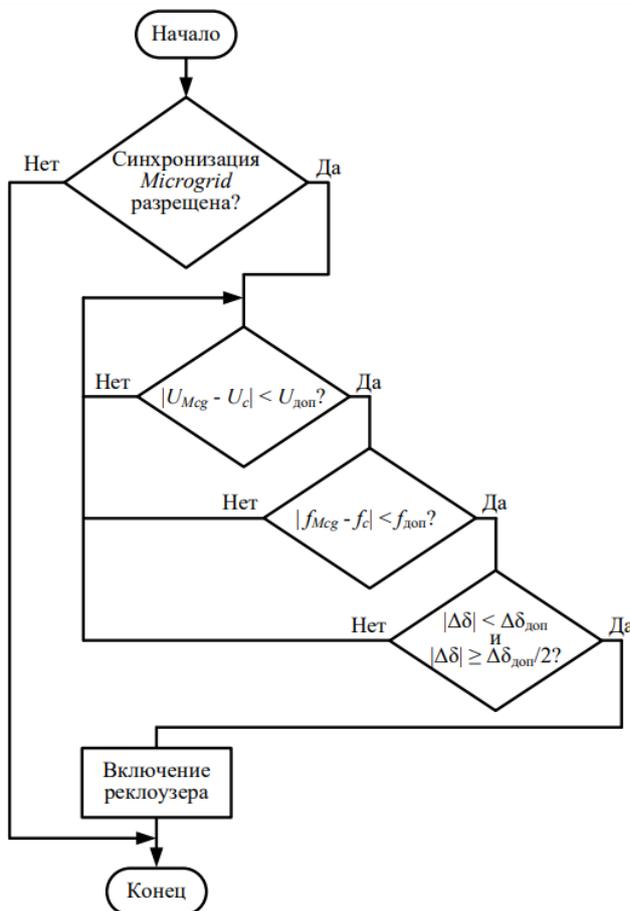


Рис. 1. Блок-схема алгоритма синхронизации

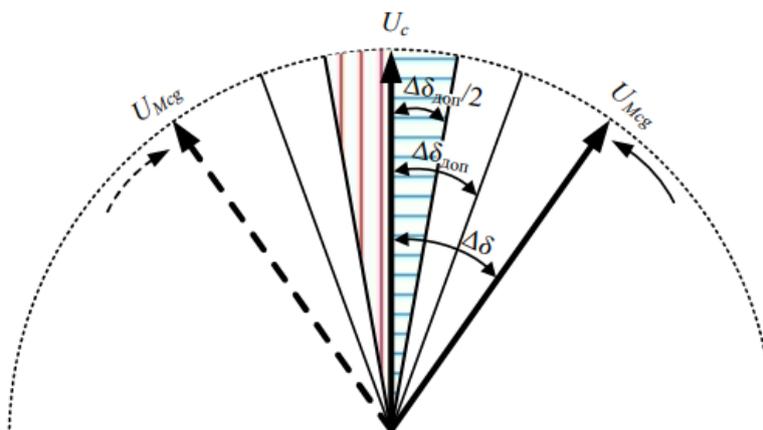


Рис. 2. Пояснение алгоритма работы

Работоспособность алгоритма можно увидеть на рис. 3 и 4.

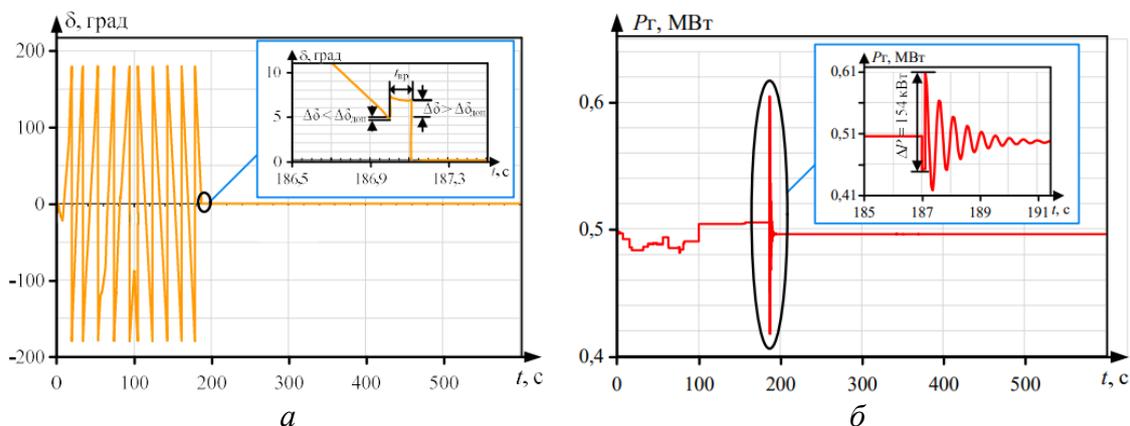


Рис. 3. Графики изменения взаимного угла (а) и мощности генератора (б) до использования алгоритма

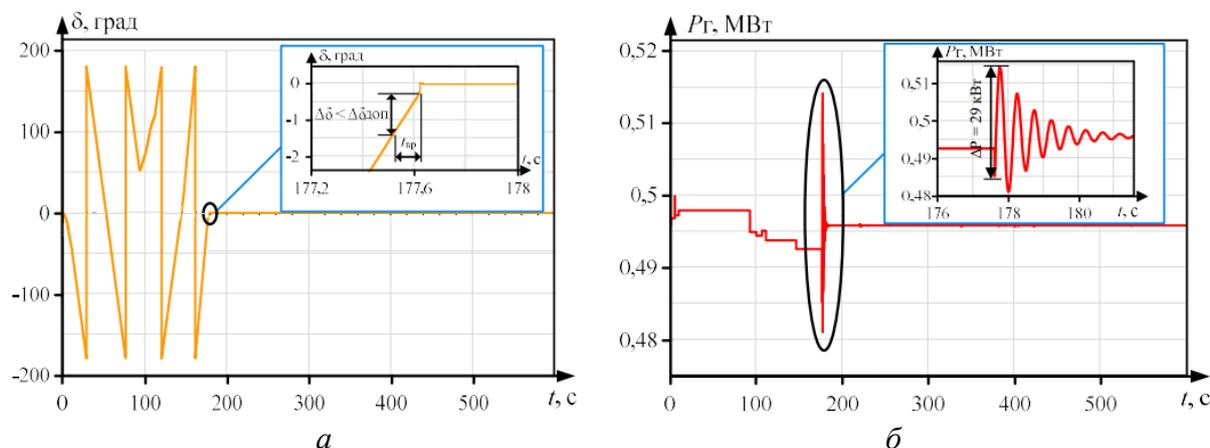


Рис. 4. Графики изменения взаимного угла (а) и мощности генератора (б) после использования алгоритма

По рис. 3 и 4 можно сделать вывод, что алгоритм отлично справляется со своей задачей. Если до его использования угол включения Microgrid к внешней сети был равен  $\delta \approx 7^\circ$  (что не допустимо в ударный момент) и скачок мощности был  $\Delta P = 154$  кВт, то после использования алгоритма угол понизился до  $0,3^\circ$  и мощность стала  $\Delta P = 29$  кВт.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hossaina M.A. et al. Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities // Elsevier. – 2019. – P. 1–27.
2. Гуломзода А.Х., Сафаралиев М.Х., Люханов Е.А. Модифицированный способ синхронизации Microgrid с внешней изолированной энергосистемой // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 3(52). – С. 72–80.