



Идентификатор выступления: 9

Тип: не указан

## ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ FACTS ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИБКОСТИ ПЕРЕДАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ USING FACTS FOR CONTROL OF TRANSMISSION NETWORKS FLEXIBILITY

Необходимым условием обеспечения потребителей электроэнергией требуемого качества (частота, уровни напряжения) является соблюдение в каждый момент времени баланса мощности в каждом узле и во всей электроэнергетической системе (ЭЭС) в целом. Свойство энергосистемы, которое может рассматриваться как способность обеспечивать управление балансом мощности, называется гибкостью [1,2].

Основными средствами обеспечения и регулирования гибкости на разных уровнях современных энергосистем являются следующие аспекты (технические средства и технологии управления) ЭЭС [3]:

1. управление гибкостью на стороне генерации;
2. управление гибкостью на стороне нагрузки (англ. Demand System Management);
3. технологии управления режимами (системные услуги);
4. накопители энергии ;
5. виртуальные системы средств регулирования (агрегирование нагрузок, накопителей энергии, электромобилей и т.д.);
6. технологии рынков электроэнергии;
7. передовые технологии ("электричество-тепло" (E2T) для ВИЭ, преобразование электричества в газ (P2G) и в водород (P2H), технология "транспортное средство - сеть" (V2G)).

Технологии управления режимами или системные услуги являются эффективным средством регулирования гибкости высоковольтных передающих сетей в цикле оперативного и ПА управления. Развитие современных ЭЭС предусматривает широкое внедрение технологии FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) - управляемых (гибких) систем передачи переменного тока. Технологии и устройства FACTS открывают новые возможности для управления электроэнергетическими системами, так как обеспечивают регулирование взаимосвязанных параметров схемы и режима.

В ряде зарубежных работ [4,5] для анализа гибкости ЭЭС вводится два понятия: эксплуатационная гибкость – это способность энергосистемы поглощать помехи, чтобы поддерживать безопасное рабочее состояние. Наиболее распространенные помехи – это перебои в работе вследствие отключения линии или генератора, ошибки прогноза в выработке мощности; и локальная гибкость – это гибкость, доступная на данной шине (в узле) в сети, определяет размер возмущения в конкретном узле, которое может быть сдержано подходящими и доступными корректирующими действиями, например, мерами диспетчерского управления: развертыванием резервов, регулированием на стороне спроса, изменением топологии сети, регулированием энергопотребления и др.

Поддержание баланса мощности в узле может осуществляться за счет изменения мощности генерации, изменения мощности нагрузки, применения систем накопления энергии, изменения потоков по отходящим от узла линиям. Технология FACTS позволяет улучшить использование пропускных способностей линий электропередач, изменять потокораспределение в реальном времени и практически мгновенно реагировать на возмущения, возникающие в ЭЭС.

В качестве средств обеспечения и регулирования гибкости наиболее перспективными являются современные устройства FACTS второго поколения на базе силовой электроники, системы управления которых обладают высокой эффективностью управления и стабилизации. В первую очередь к ним можно отнести СТАТКОМ, ТУПК, ФПУ, ОРПМ, ВПТ. Широкое использование таких устройств обеспечит радикальное

повышение управляемости ЭЭС, а следовательно, гибкости, устойчивости и живучести этих систем [6].

В докладе будут рассмотрены возможности применения этих устройств для регулирования гибкости сети 500 кВ, являющейся фрагментом реальной ЭЭС. Для включения устройств FACTS в схему замещения сети использовались разработанные в ИСЭМ СО РАН модели этих устройств [7]. Расчеты выполнялись в имитационном эксперименте и по реальным данным телеизмерений с использованием ПВК Оценивания состояния.

Результаты исследований показали, что замена старых устройств FACTS первого поколения на управляемые устройства FACTS второго поколения и установка новых устройств позволяют существенно повысить управляемость электрических сетей высокого напряжения и обеспечить требуемый уровень гибкости таких сетей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-49-04108 “Разработка инновационных технологий и средств для оценки и повышения гибкости будущих энергосистем”

#### Литература

1. Воропай Н., Ретанц К. (Voropai N., Rehtanz Ch.) Flexibility and Resilience of Electric Power Systems: Analysis of Definitions and Content EPJ Web Conf. - 2019 International Workshop on Flexibility and Resiliency Problems of Electric Power Systems (2019 г.)
2. Зубакин В., Опадчий Ф., Кулешов М., Архипов А., Шевченко С. Влияние проектов по управлению спросом на изменение цены электроэнергии на примере ВИНК // Энергорынок, № 7, 2019 г.
3. Peter D. Lund, Juuso Lindgren, Jani Mikkola, Juri Salpakari, Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity (Renewable and sustainable energy reviews, V. 45, pp. 785-807, 2015)
4. Bucher M.A., Delikaraoglou S., Heussen K., Pinson P., Andersson G., “On quantification of flexibility in power systems”, 2015 IEEE Power Tech, Eindhoven, Netherlands, June 29 – July 2, 2015, 6 p.
5. Zhao J., Zheng T. and Litvinov E. A Unified Framework for Defining and Measuring Flexibility in Power System // IEEE Trans. On Power Syst., January 2015, 31(1), pp.1-9.
6. Воропай Н.И., Колосок И.Н., Коркина Е.С., Осак А.Б. Проблемы уязвимости и живучести киберфизических электроэнергетических систем // Энергетическая политика, вып. 5, 2018, с. 53 - 61.
7. Колосок И.Н., Тихонов А.В. «Моделирование современных устройств FACTS при оценивании состояния фрагмента сети 500 кВ ЭЭС Сибири» // Мат-лы межд. научно-практ. семинара «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики», вып. 69 «Надёжность развивающихся систем энергетики», Книга 1, Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2018. С. 209-218.

A prerequisite for providing consumers with the required quality of electricity (frequency, voltage levels) is that the power balance is maintained at each point in time in each node and in the in the whole power system. The power system property that can be treated as its capability to control power balance is called flexibility [1, 2].

The main means to assure and control flexibility at different levels of the present-day energy systems are the following engineering tools and technologies of their control [3]:

1. supply-side flexibility;
2. demand-system flexibility;
3. grid ancillary services;
4. energy storages;
5. virtual systems of control tools (aggregation of loads, energy storage systems, electric vehicles and others);
6. electricity markets technologies;
7. advanced technologies (electricity- to- thermal (E2T), power - to - gas (P2G) and power - to - hydrogen (P2H), vehicle – to-grid” (V2G)).

The grid ancillary services are an effective means for flexibility control of HV transmission networks in dispatching and emergency control. The present-day power systems will be developed on the basis of the large-scale introduction of the FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) technology. The FACTS technology and devices offer new possibilities for power system control, as far as they control interrelated parameters of the network and regime.

In some foreign works [4, 5] the power system flexibility is analyzed using two notions: functional and local flexibility. The functional flexibility is the power system capability of absorbing noises to maintain a safe operational state. The most commonly spread noises are interruptions in operation due to line or generator tripping, forecast errors in power generation. The local flexibility is the flexibility attainable at the network bus (node), i.e. the disturbance value at the concrete node that can be eliminated by the suitable and available correction actions, such as measures of dispatching control: involvement of reserves, demand-side management, change of network topology, energy consumption control, etc.

The nodal power balance can be maintained by change of the generation and load powers, application of energy storages, change of power flows in transmission lines incident to the node. The FACTS technology allows the more effective use of transfer capabilities of transmission lines, the change of load distribution in real time and practically the instant response to disturbances in power systems.

The most promising means for flexibility assurance and control are the advanced second-generation FACTS devices on the basis of the power electronics, whose control systems are highly efficient for control and sta-

bilization. First of all, they are STATCOM (static compensator), TSSC (thyristor switched series capacitor), TSPST ( thyristor switched phase shifting transformer), UPFC (unified power flow controller), HVDC link (high voltage direct current link). Large-scale application of these devices will essentially improve power system controllability, and hence, flexibility, stability and survivability [6].

The paper will focus on the possible application of these devices to flexibility control of the 500 kV network that is a fragment of the real power system. The FACTS devices were included in the equivalent network circuit using the models of these devices developed at Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS [7]. The calculations were performed in the simulation experiment based on the actual measurements using the software "State estimation".

The results of the studies have showed that substitution of the first-generation FACTS devices by the controlled second-generation FACTS devices and installation of new devices will substantially enhance controllability of the HV electric networks and assure the required flexibility level of such networks.

This study is supported by RSF grant № 19-49-04108 "Development of Innovative Technologies and Tools for Flexibility Assessment and Enhancement of Future Power Systems".

#### References

1. Voropai N., Rehtanz Ch. Flexibility and Resilience of Electric Power Systems: Analysis of Definitions and Content EPJ Web Conf. - 2019 International Workshop on Flexibility and Resiliency Problems of Electric Power Systems (2019)
2. Zubakin V., Opadchiy F., Kuleshov M., Arkhipov A., Shevchenko S. Impact of the projects on demand-side management on electricity price change on the example of the vertically integrated oil company // Energy market, No. 7, 2019. (in Russian)
3. Peter D. Lund, Juuso Lindgren, Jani Mikkola, Juri Salpakari, Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity (Renewable and sustainable energy reviews, V. 45, pp. 785-807, 2015)
4. Bucher M.A., Delikaraoglou S., Heussen K., Pinson P., Andersson G., "On quantification of flexibility in power systems", 2015 IEEE Power Tech, Eindhoven, Netherlands, June 29 – July 2, 2015, 6 p.
5. Zhao J., Zheng T. and Litvinov E. A Unified Framework for Defining and Measuring Flexibility in Power System // IEEE Trans. On Power Syst., January 2015, 31(1), pp.1-9.
6. Voropai N. I., Kolosok I.N., Korkina E.S., Osak A.B. Vulnerability and survivability problems of cyber physical power systems // Energy policy, issue 5, 2018, pp. 53 - 61. (in Russian)
7. Kolosok I.N., Tikhonov A.V. Modeling of advanced FACTS devices for state estimation of a fragment of 500 kV network in IPS of Siberia // Materials of the International Scientific Workshop "Methodological problems in reliability study of large energy systems", issue. 69 "Reliability of developing energy systems", Book 1, Irkutsk: ISEM SO RAN, 2018. P. 209-218. (in Russian)

**Основные авторы:** КОЛОСОК, Ирина (ИСЭМ СО РАН); Mrs КОРКИНА, Елена (ИСЭМ СО РАН)

**Докладчик:** КОЛОСОК, Ирина (ИСЭМ СО РАН)

**Классификация сессий:** Session 1. Towards Intelligent energy systems.

**Классификация направления:** Towards Intelligent energy systems / Трансформирующиеся интеллектуальные энергетические системы