

---

УДК 621.316

Д. М. ОКЛАДНИКОВ, магистрант гр.ФЭ20-04М (СФУ)  
Е. Ю. СИЗГАНОВА, канд. техн. наук, доцент (СФУ)  
С. С. ТРУФАКИН, зам. начальника СЭРиБ (Красноярское РДУ)  
г. Красноярск

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ**

**Актуальность.** В последнее время происходит активное внедрение полупроводниковой преобразовательной техники в электроэнергетику, при наличии которой появляются новые возможности по управлению электроэнергетическим режимом как электростанций, так и энергосистем. Одной из таких возможностей является перевод генератора, подключенного по инверторной схеме к электрической сети, в двигательный режим. В данной работе будет представлен анализ экономической эффективности использования двигательных режимов на электростанциях в качестве управляющих воздействий противоаварийной автоматики энергосистем.

#### **Введение**

Говоря о двигательных режимах электрических машин, работающих в качестве генераторов на электростанциях, стоит отметить, что речь пойдет о возможности перевода электрической машины в двигательный режим при условии неизменного характера вращения турбины и неизменного характера движения основного энергоносителя [1].

Техническая реализация возможности перевода электрической машины в двигательный режим при условии движения основного энергоносителя, которое создает ускоряющий момент турбины, возможна только при изменении направления вращения вектора напряжения статора на противоположное. В традиционной трансформаторной схеме подключения направление вращения вектора напряжения статора обуславливается внешней сетью, к которой подключена электрическая машина, и изменить это направление на противоположное без последствий невозможно. Возможность изменения направления появляется при инверторной схеме подключения, в которой инвертор может преобразовать из входного напряжения внешней сети любую характеристику выходного вектора напряжения.

Рассматриваемая возможность перевода электрической машины в двигательный режим однозначно улучшает управляемость и живучесть электростанции, однако создает множество вопросов об экономической эффективности её использования в существующих энергосистемах. Главный вопрос в том, что в дополнение к затрачиваемым энергоресурсам появляются издержки, связанные с компенсацией объемов потребления электроэнергии. Поэтому использование двигательных режимов в качестве способов управления нормальными режимами энергосистемы, которое предусматривает длительное существование двигательных режимов, маловероятно.

В данной работе рассмотрим экономическую эффективность использования возможности перевода электрических машин электростанций, имеющих инверторную схему подключения к сети, в двигательный режим в качестве управляющих воздействий противоаварийной автоматики энергосистем. Сначала рассмотрим особенности оперативно-диспетчерского управления режимами энергосистем, а также особенности ценообразования на оптовом рынке электрической мощности (ОРЭМ).

### **Особенности оперативно-диспетчерского управления режимами работы энергосистем**

При оперативно диспетчерском управлении режимами энергосистем надежность обеспечивается принципом « $N - 1$ », т.е. при отключении какого-либо элемента энергосистемы параметры послеаварийного режима должны находиться в допустимых пределах. На практике вместо «отключения какого-либо элемента энергосистемы» используют нормативные возмущения, описанные в Методических указаниях по устойчивости энергосистем [1].

Например, существуют две энергосистемы, связанные двумя одинаковыми линиями электропередач (ЛЭП) (рис. 1). Допустим, что максимальный переток мощности по одной ЛЭП составляет 100 МВт. Следовательно, по двум ЛЭП максимальный переток мощности составит 200 МВт. Однако, исходя из принципа « $N - 1$ », максимально допустимый переток (МДП) мощности должен составить 100 МВт, чтобы при отключении одной из ЛЭП переток мощности по оставшейся ЛЭП не был выше максимального.

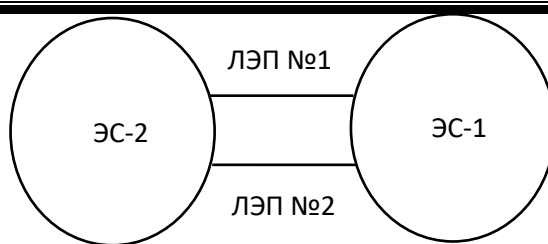


Рис.1. Упрощенная схема связи энергосистем

В результате получается, что ЛЭП в нормальном режиме «недогружают», чтобы в послеаварийном их не перегружать.

На основании этого принципа рассчитаны МДП по различным ЛЭП или, при совокупности нескольких элементов электрической сети, по сечениям электрической сети. Наиболее важные из таких сечений получили название *контролируемые сечения* (КС).

#### **Влияние МДП в КС на ценообразование на рынке на сутки вперед (РСВ)**

Ключевой фактор влияния МДП на определение цен РСВ описан в [3]. Указанной особенностью проведения конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед заключается в том, что в случаях «запираания» КС (т.е. когда расчетный переток мощности равен МДП), ценообразование происходит на основании ценовых заявок (ЦЗ) отдельно по каждой части энергосистемы, разделенных КС.

Например, вернемся к схеме на рис. 1, допустим, что в ЭС-2 ЦЗ поставщиков «низкие», а в ЭС-1 «средние» и «высокие», также примем для упрощения, что стоимость передачи электроэнергии равна нулю. Конкурентный отбор объемов поставщиков всегда происходит от «низких» ЦЗ к «высоким», поэтому при отсутствии МДП сначала будут отобраны «низкие» ЦЗ ЭС-2, далее «средние» ЦЗ ЭС-1 (здесь предположим, что на уровне «средних» ЦЗ произошло определение равновесной цены). В результате для ЭС-1 и ЭС-2 равновесная цена равна «средней».

При наличии МДП в КС, состоящей из ЛЭП №1 и ЛЭП №2, сначала также будут отобраны «низкие» ЦЗ ЭС-2, но только в объеме, соответствующем сумме потребления ЭС-2 и МДП, при этом цена в ЭС-2 будет равна «низкой». В ЭС-1 будут отобраны «средние» ЦЗ и, если объема «средних» ЦЗ недостаточно, будут отобраны «высокие» ЦЗ. В результате цена ЭС-1 будет «высокой».

На основании этого можно считать, что ограничение МДП, ограничивающих выдачу мощности электростанций, приводит к исключению из баланса выработки более выгодных электростанций, а значит оказывает негативное влияние на экономическую работу энергосистем.

---

### **О способах увеличения МДП в КС**

Проанализируем какое влияние на МДП оказывает ввод ПА на примере схемы (рис. 1). Ранее было показано, что МДП по двум ЛЭП составляет 100 МВт. Допустим, что ЭС-2 избыточная, и предположим, что в качестве управляющих воздействий (УВ) ПА было реализовано отключение генератора мощностью 50 МВт, находящегося в ЭС-2. Тогда МДП равен 150 МВт, что соответствует сумме максимального перетока по одной ЛЭП (100 МВт) и объему УВ ПА (50 МВт). Получается, что при отключении одной из ЛЭП в ЭС-2 необходимо отключить генератор мощностью 50 МВт и переток по оставшейся ЛЭП не будет превышать максимального 100 МВт.

Стоит отметить, что само по себе УВ ПА, действующее на отключение генератора, оказывает негативный экономический эффект на работу электростанции. Однако, учитывая вероятность или время существования аварийных ситуаций, когда необходимо реализовывать такое УВ ПА, а также то, что в остальное время (в нормальном режиме) увеличивается МДП, с экономической точки зрения ввод ПА оказывает позитивное влияние на экономическую эффективность работы как электростанций, так и энергосистем.

### **Заключение**

На основании вышеизложенного можно утверждать, что ввод ПА оказывает позитивное влияние на экономическую эффективность работы как электростанций, так и энергосистем. Однако, что в настоящее время для избыточных энергосистем используются в качестве УВ только разгрузка или отключение генераторов электростанций. Очевидно, что возможность использования двигательных режимов, позволит увеличить объем УВ ПА и, соответственно, увеличить МДП в КС на выдачу из избыточной энергосистемы.

### **Список литературы:**

1. Труфакин С.С. Повышение маневренности ГЭС, использующих инверторную схему подключения к сети. Материалы XI Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи». г. Ставрополь. 2020. Том II. С. 101-104.
2. Методические указания по устойчивости энергосистем. – Утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277.
3. Регламент проведения конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед. Приложение № 7 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. – Изм. 26.02.2020. – Москва: АО «СО ЕЭС», 2007, 13 с.

Информация об авторах:

Окладников Денис Максимович, магистрант гр. ФЭ20-04М, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д. 26, г. Okladnikov24krsk@mail.ru

Сизганова Евгения Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехнических комплексов и систем Политехнического института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д. 26, г. YSizganova@sfu-kras.ru

Труфакин Сергей Сергеевич зам. начальника СЭРиБ Красноярское РДУ, 660020, г. Красноярск ул. Петра Подзолкова, д. 3 г. trufakin.sergey@mail.ru