

ИСТОЧНИКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 110–500 кВ НА БАЗЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ И БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ

БРЯНЦЕВ А.М., БРЯНЦЕВ М.А., ДЯГИЛЕВА С.В., КАРЫМОВ Р.Р., МАКЛЕЦОВА Е.Е., НЕГРЫШЕВ А.А.

Недостаточная степень компенсации реактивной мощности приводит к возрастанию величины реактивной составляющей в перетоках мощности и, как следствие, к снижению напряжения и устойчивости энергосистем. Это подтвердил анализ крупных аварий, имевших место в последнее время, который показал, что главная причина их возникновения – низкая обеспеченность энергосистем устройствами компенсации реактивной мощности. В связи с этим вопрос компенсации реактивной мощности в электрических сетях перешел в разряд ключевых аспектов обеспечения надежности функционирования энергосистем Российской Федерации.

Передача электрической энергии от генераторов к потребителям является сложным физическим процессом многократного преобразования энергии и требует наличия в процессе этого преобразования различных форм поддержания электрических и магнитных полей, а следовательно, наличия как активной, так и реактивной составляющих мощности передачи (преобразования). Выработка реактивной мощности не требует непосредственного расхода энергии, но для ее передачи по сети требуются дополнительные затраты на производство энергии, необходимой для покрытия потерь. Кроме того, передача реактивной мощности от генераторов к потребителям вызывает дополнительную загрузку элементов электрической сети, приводящую к снижению их пропускной способности. В связи с этим увеличение выдачи реактивной мощности генераторами с целью доставки ее потребителю нецелесообразно [1].

Компенсация реактивной мощности – одно из наиболее эффективных средств рационального использования электроэнергии [1].

Традиционные устройства компенсации реактивной мощности:

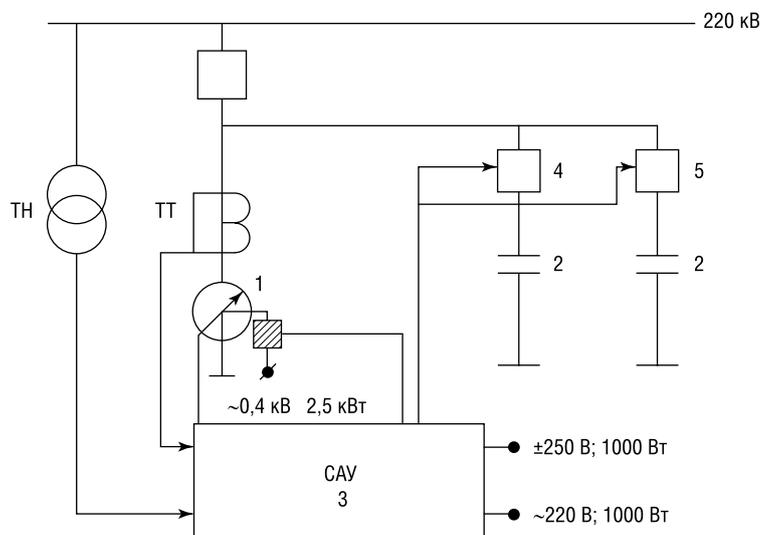
- батареи статических конденсаторов (БСК);
- синхронные компенсаторы (СК);
- синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения;
- статические тиристорные компенсаторы (СТК).

В настоящее время в электрических сетях, и в первую очередь в системах электроснабжения промышленных предприятий, вследствие сравнительно низкой стоимости и простоте обслуживания нашли широкое применение БСК. Мощность, выдаваемую БСК, можно изменять за счет изменения числа включенных конденсаторов. Однако в ряде задач ступенчатое регулирование неприемлемо, например, для повышения пропускной способности линий электропередачи по условиям статической и динамической устойчивости. Кроме того, часто для нормализации напряжения в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше требуются компенсирующие устройства, способные не только генерировать, но и потреблять реактивную мощность. Для решения этих задач на подстанциях 110 кВ и выше применяют СТК и СК. Одним из недостатков СТК и СК является то, что все они рассчитаны на напряжения до 35 кВ. Применение компенсирующих устройств, которые можно включать в сеть без промежуточного трансформатора, позволяет снизить их установленную

мощность и повысить эффективность регулирования напряжения. Такие компенсирующие устройства состоят из ступенчато регулируемой конденсаторной батареи и плавно регулируемого реактора, включенных параллельно [2].

В последние годы в высоковольтной сети 110–500 кВ для компенсации зарядной мощности линий электропередачи интенсивно внедряются управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УШР). В настоящее время установлены, устанавливаются или планируются к установке десятки УШР мощностью 25, 32, 63, 100 и 180 Мвар на все классы напряжения от 110 до 500 кВ. Применение УШР обеспечивает снижение потерь мощности, стабилизацию напряжения, повышение пропускной способности и надежности электрических сетей высокого напряжения. Опыт эксплуатации показал их высокую надежность. Поэтому в основных направлениях технической политики ОАО «ФСК ЕЭС» внедрение УШР рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений модернизации электрических сетей Российской Федерации [3].

Успех УШР основан на том, что при значительно меньшей стоимости в функциональном отношении он полностью замещает тиристорно-реакторную группу СТК вместе с повышающим трансформатором, а по конструкции не отличается от обычного двух- или трехобмоточного трансформатора. Совместно с батареей статических конденсаторов УШР может выполнять те же функции, что и синхронный компенсатор или СТК. Принципиальную возможность создания реверсивного высоковольтного источника реактивной мощности (ИРМ) на базе УШР и БСК доказало введение в эксплуатацию в 1999 г. на подстанции «Кудымкар» первого управляемого реактора РТУ 25000/110, установленного параллельно с БСК мощностью 42 Мвар. Установленные в 2004–2005 гг. в ОАО «Томскнефть» три высоковольтных ИРМ на базе реактора РТУ 25000/110 с БСК 54 Мвар подтвердили их высокую эффективность и надежность. Указанные прототипы высоковольтных ИРМ требовали ручного управления БСК. Используемые в них схемы не позволяют создать ИРМ на напряжении выше 110 кВ. Однако успешный опыт эксплуатации этих установок дал основание для создания новых высоковольтных реверсивных источников реактивной мощности 110–500 кВ на базе УШР. Эта работа была выполнена в Московском энергетическом институте совместно с ОАО «Электрические управляемые реакторы» по заказу ОАО



«ФСК ЕЭС» в рамках программы создания и применения в ЕЭС России устройств FACTS.

Рис.1. Принципиальная схема ИРМ

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИРМ

Принципиальная схема ИРМ показана на рисунке 1, где 1 – управляемый шунтирующий реактор, 2 – батарея статических конденсаторов, 3 – система автоматического управления (САУ), 4, 5 – выключатели, ТН – трансформатор напряжения, ТТ – трансформатор тока [4].

Управление ИРМ осуществляется следующим образом. В САУ устанавливают заданное для регулирования (стабилизации) напряжение сети, минимальный ток реактора, максимальный ток реактора и задержку времени Δt между соседними коммутациями секций конденсаторных батарей (включениями или отключениями выключателей 4 и 5). Обычно интервал времени Δt составляет 1–10 минут, в зависимости от параметров ИРМ и сети. Затем управляемый подмагничиванием реактор 1 выключателями подключают к сети [5].

При малой нагрузке или ее отсутствии (что имеет место, например, в часы ночного провала нагрузки) в сети имеется избыток реактивной мощности из-за емкостных токов распределенной емкости высоковольтной сети на землю. В результате напряжение в сети увеличивается выше заданного, что фиксируется трансформаторами напряжения ТН, и САУ 3 вырабатывает команду на увеличение тока подмагничивания реактора 1. В результате ток реактора 1 увеличивается (вплоть до максимального тока), ИРМ переходит в режим потребления реактив-

ной мощности. При этом САУ 3 отслеживает изменение напряжения из-за колебаний нагрузки в сети и осуществляет регулирование его значения на уровне заданной уставки за счет плавного, непрерывного изменения тока подмагничивания реактора 1.

При увеличении нагрузки в сети возникает недостаток реактивной мощности. САУ 3, реагируя на снижение напряжения и проверяя условие тока реактора 1 (меньше минимального), дает команду на подключение к сети выключателем 4 одной секции конденсаторной батареи 2, переводя ИРМ в режим выработки реактивной мощности. При этом плавное регулирование напряжения и реактивной мощности осуществляется реактором.

При дальнейшем увеличении нагрузки сети снова возникают условия, при которых напряжение сети становится меньше заданного и ток реактора 1 меньше минимального. САУ 3 дает команду на подключение выключателем 5 второй секции конденсаторной батареи 2.

При снижении нагрузки в сети возникает избыток реактивной мощности и напряжение возрастает. От ИРМ требуется переход от режима выдачи реактивной мощности к режиму потребления реактивной мощности. Поэтому САУ 3 вырабатывает команды на увеличение тока реактора и на отключение секций конденсаторной батареи [5, 6].

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Расскажем об опыте применения компенсирующих устройств на ПС–110 кВ «Игольская» и «Двуреченская» для электроснабжения нефтяных месторождений ОАО «Томскнефть», октябрь 2004 г. – март 2005 г. К исходу 2003 г. на нефтяных месторождениях Южного Васюгана ОАО «Томскнефть» возникла кризисная ситуация. Пропускная способность электропередачи 110 кВ «Парабель–Лугинецкая–Игольская–Крапивинская» была исчерпана, а уровни напряжения на ПС–110 кВ «Крапивинская» не превышали 85 % от номинального. И только в августе–октябре 2004 г. после ввода на ПС–110 кВ «Игольская» батареи статических конденсаторов (БСК) 23 Мвар, УШР 25 Мвар и ПС–110 кВ «Двуреченская» с БСК 23 и УШР 25 Мвар ситуация коренным образом изменилась в лучшую сторону. Пропускная способность выросла на 30–50 %, уровни напряжения достигли 105–110 % от номинального и могут регулироваться в широком диапазоне в зависимости от режимов.

Даже непродолжительный период эксплуатации реакторов РТУ–25000/110–У1 позволяет отметить, что реакторы совместно с батареями статических конденсаторов:

- обеспечивают оптимальные потоки реактивной мощности, позволяющие довести передаваемую мощность вплоть до предельно допустимой токовой нагрузки проводов по нагреву. По состоянию на март 2005 г. достигнуто 100 % взаимного резервирования электрических нагрузок электропередачи «Парабель–Двуреченская–Чапаевка». Необходимость перевода региона на напряжение 220 кВ потеряла свою актуальность;

- снижают потери активной мощности в проводах ВЛ–110 кВ. При нагрузке 72 МВт потери составляют 7,5 МВт против 11,9 МВт, в том числе в сетях ООО «Энергонефть–Томск» 1,8 МВт против 2,9 МВт;

- обеспечивают плавную автоматическую стабилизацию заданных уровней напряжения в установившихся режимах при сокращении числа коммутаций БСК и РПН в десятки раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ УСТАНОВКИ ИРМ НА ПС «ТАВРИЧЕСКАЯ», ПС «ВАНДМТОР», ПС «НОВОГОДНЯЯ»

В 2007 г. были проведены исследования по 256 подстанциям Тюменского региона по показателям $\text{tg } \varphi$, $K_{\text{исп}}$, U_{110} , $I_{\text{кз}}$. Результаты показали, что установка ИРМ необходима более чем на 1/3 всех подстанций. В связи с этим в 2008 г. в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго» на подстанциях «Таврическая», «Вандмтор» и «Новогодняя» были введены в работу компенсирующие устройства общей мощностью 225 Мвар (по 75 Мвар на каждую ПС). На каждую из подстанций были установлены батареи статических конденсаторов мощностью 2x25 Мвар и УШР мощностью 1x25 Мвар. Это дало возможность увеличить пропускную способность линий электропередачи и позволило уменьшить вероятность отключения потребителей при провалах напряжения.

ИТОГИ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ АСТАН-ИРМ-110/50/25 НА ПС «ТАВРИЧЕСКАЯ»

Анализ результатов измерений показывает, что после ввода в работу АСТАН-ИРМ–110/50/25 на ПС «Таврическая» напряжение на шинах 110 кВ этой подстанции увеличилось на 3–4,4 %, а колебания напряжения снижены более чем в 5 раз. Вследствие

повышения напряжения на шинах 110 кВ ПС «Таврическая» изменились и положения РПН трансформаторов на подстанциях, получающих от нее питание. Кроме того, после ввода в работу АСТАН–ИРМ–110/50/25 на ПС «Таврическая» изменилась загрузка реактивной мощностью питающих линий и автотрансформаторов.

ИТОГИ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ АСТАН–ИРМ–110/50/25 НА ПС «НОВОГОДНЯЯ»

ПС «Новогодняя» задействована в электроснабжении нефтедобычи ОАО «Газпромнефть–ННГ». Эта подстанция удалена от крупных питающих центров (от ПС–220 кВ «Вынгапур» на 52 км, от ПС–220 кВ «Янга-Яха» на 161 км), вследствие чего данный узел имел низкую статическую устойчивость и низкий уровень напряжения в ремонтных и послеаварийных режимах. Изменения параметров режима сети после ввода в работу АСТАН–ИРМ–110/50/25 на ПС «Новогодняя» следующие:

- увеличено напряжение на ПС «Новогодняя» и прилегающем узле на 1,5 % и снижены колебания напряжения в 2 раза;
- изменилась загрузка реактивной мощностью питающих линий и автотрансформаторов на ПС «Вынгапур» по полному току на 3,8 %, по реактивной мощности – на 2 %.

Вследствие изменения потоков реактивной мощности после ввода в эксплуатацию АСТАН–ИРМ–110/50/25 потери мощности в сетях Вынгапуровского РЭС Ноябрьских электрических сетей филиала ОАО «Тюмень-энерго» снизились на 1,8 %.

ИТОГИ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ АСТАН–ИРМ–110/50/25 НА ПС «ВАНДМТОР»

Изменения параметров режима сети до и после ввода в работу АСТАН–ИРМ–110/50/25 на ПС «Вандмтор» следующие:

- увеличено напряжение на ПС «Вандмтор» и прилегающем узле на 2,5 % и снижены колебания напряжения в 3,5–5 раз;
- изменилась загрузка реактивной мощностью питающих линий и автотрансформаторов.

Вследствие изменения потоков реактивной мощности на 1,1 МВт снизились потери мощности в сети филиала ОАО «Тюмень-энерго» «Энергокомплекс».

Следует подчеркнуть, что АСТАН–ИРМ обеспечил точность поддержания напряжения на шинах 110 кВ подстанции с точностью ± 200 В, т.е. $\pm 0,2$ %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Высоковольтный реверсивный источник реактивной мощности на базе УШР и БСК может выполнять те же функции, что и СК или СТК в высоковольтных электрических сетях. Вследствие того, что ИРМ на базе УШР в отличие от СК и СТК включается непосредственно в той точке сети, где необходимо обеспечить требуемое напряжение, он имеет меньшую установленную мощность оборудования и позволяет обеспечить более точное поддержание напряжения по заданной уставке (до $\pm 0,2$ %).

2. Опыт эксплуатации ИРМ на базе УШР и БСК в распределительных сетях Томского и Тюменского регионов показал, что включения в сеть такого устройства позволяет: повысить напряжение в точке подключения и поддерживать его на заданном уровне, как в нормальных режимах, так и при аварийных возмущениях; увеличить пропускную способность линий электропередачи и уменьшить вероятность отключения потребителей при провалах напряжения; снизить потери мощности и электроэнергии в сетях, а также повысить качество электроэнергии у потребителей.

3. Широкое применение ИРМ на базе УШР и БСК на линиях 110 кВ и выше позволит существенно снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии и сократить объем электросетевого строительства за счет максимального использования пропускной способности существующих линий электропередачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паули В.К., Воротников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии. «Энергоэксперт», 2007, № 2.
2. Бурман А.П., Строев В.А. Основы современной энергетики: Курс лекций для менеджеров энергетических компаний. В двух частях. Часть 2. Современная электроэнергетика. М.: Издательство МЭИ, 2003. 454 с.
3. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы // Сб. статей. Под ред. д.т.н. проф. А.М. Брянцева. М.: «Знак». 2004. 264 с.
4. Брянецев А.М. Источники реактивной мощности. Патент № 2335056. Бюллетень № 27 от 27.09.08
5. Брянецев А.М. Источники реактивной мощности. Патент № 2335026. Бюллетень № 27 от 27.09.08
6. Брянецев А.М. Способы управления источником реактивной мощности. Патент № 2337424. Бюллетень № 30 от 27.10.08.