

## Технические науки

УДК (621.316)

**С.Ж. Ескендиоров**

АО «KEGOC» Восточные МЭС Семейские ТЭС ПС 500кВ Семей (г. Семей)

E-mail: Sayat\_eskendirov. mail.ru

**Е.В. Иванова**, доктор технических наук, доцент

### Управляемые шунтирующие реакторы трансформаторного типа

***Аннотация.** Рассмотрены возможности применения управляемых шунтирующих реакторов трансформаторного типа на подстанциях энергосистемы для оптимизации режима электропередачи. Выделены законы регулирования напряжения, обеспечивающие режим натуральной мощности и снижение потерь активной мощности в электрической системе.*

***Ключевые слова:** энергетический комплекс, управляемый шунтирующий реактор трансформаторного типа, стабилизации напряжения, тиристорный регулятор, обмотка управления.*

Электрификация страны занимает особое место в экономике государства. Высоковольтные линии являются составляющими крупномасштабного проекта «Строительство ВЛ 500 кВ транзита Север-Восток-Юг». Проект включает в себя строительство высоковольтных линий электропередачи 500 кВ протяженностью порядка 1500 км и трех новых подстанций 500 кВ: Семей, Актогай, Талдыкорган. На подстанциях устанавливаются управляемые шунтирующие реакторы 500 кВ (УШР), новейшее оборудование заводов изготовителей и мировых производителей ABB, SIEMENS, AREVA и другие. Данные фирмы установили элегазовые выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы, ограничители перенапряжения, новые цифровые микропроцессорные терминалы защит и автоматики. С вводом в эксплуатацию ВЛ-500 кВ транзита Север-Восток-Юг увеличится пропускная способность Национальной Электрической Сети (НЭС) Казахстана в направлениях Север-Восток-Юг и Север-Юг. В результате повысится транзитный потенциал НЭС и будут созданы условия для передачи дополнительных объемов электроэнергии от энергоисточников северного Казахстана для покрытия перспективного роста электропотребления южного региона, а также для обеспечения покрытия перспективного роста электропотребления южного региона, для обеспечения покрытия дефицитов Восточно-Казахстанской области вне зависимости от транзита электроэнергии через сети России [1-2].

Модернизация высоковольтного оборудования была осуществлена на 43 подстанциях. На подстанциях 500 кВ Семей, Актогай, Талдыкорган, Алма установлены управляемые шунтирующие реакторы для стабильного напряжения в сетях 500 кВ. Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) – электромагнитные реакторы, индуктивность которых может плавно регулироваться с помощью системы автоматического управления, что позволяет осуществлять стабилизацию напряжения на воздушных линиях с большой зарядной мощностью. В комбинации с батареями конденсаторов, включаемых параллельно, УШР являются аналогами статических тиристорных компенсаторов (СТК), позволяющих поддерживать напряжение на линиях как в режиме малых, так и больших нагрузок [3].

Применяются три вида УШР: управляемые с подмагничиванием постоянным током с помощью специальной обмотки управления, управляемые подмагничиванием постоянным током через расщепленную нейтраль сетевой обмотки трансформаторного типа, состоящие из двухобмоточного трансформатора с напряжением короткого замыкания, равным 100%, и тиристорной группы, включенной во вторичную обмотку [4]. Управляемый шунтирующий реактор трансформаторного типа (УШРТ) является одним из видов управляемых реакторов и предназначен для реализации следующих функций:

- плавного быстродействующего регулирования реактивной мощности с целью разгрузки оборудования сетей и подстанций от реактивной мощности и снижения потерь в них;
- стабилизации напряжения на шинах подстанции;
- демпфирования качаний активной мощности по линии;
- повышения статической и динамической устойчивости энергосистемы.

Управляемый реактор типа УШРТ может обеспечивать снижение колебаний напряжения, а также балансирование (симметрирование) напряжений по фазам, вызванных наличием мощной несимметричной нагрузки (например, при питании тяговых подстанций железных дорог). В этом случае используется пофазное управление реактивной мощностью УШРТ.

В состав УШРТ входят: электромагнитная часть (ЭМЧ), тиристорный регулятор, представляющий собой трехфазный высоковольтный тиристорный вентиль, подключенный к вентильной обмотке ЭМЧ, соединенной в треугольник; цифровая система автоматического управления и защит, обеспечивающая управление тиристорного вентиля и коммутацию выключателя в соответствии с

заданными алгоритмами, состоящая из шкафа управления и шкафа релейных защит; система жидкостного охлаждения тиристорных вентиляей, состоящая из шкафа системы охлаждения и аппарата воздушного охлаждения [5-6].

Схема УШРТ приведена на рисунке 1 [7]. Управление УШРТ производится в автоматическом режиме по командам оператора ПС от пульта дистанционного управления или АРМ оператора и не требует присутствия оперативного персонала. ЭМЧ имеет замкнутый магнитопровод и две обмотки. Обмотка высокого напряжения (сетевая обмотка – СО) подключается к точке подстанции, оптимальной с точки зрения регулирования реактивной мощности/напряжения или непосредственно к концу линии электропередачи и имеет соответствующий класс напряжения. Обмотка управления (ОУ) служит для подключения тиристорных вентиляей (ТВ), ее номинальное напряжение выбирается из учета оптимальных параметров ТВ. Отличительной особенностью УШРТ является 100 %-я магнитная связь между СО и ОУ. Изменяя угол зажигания тиристоров, можно регулировать ток в ОУ и, соответственно, в СО, от нуля до номинального значения, когда тиристоры полностью открыты.

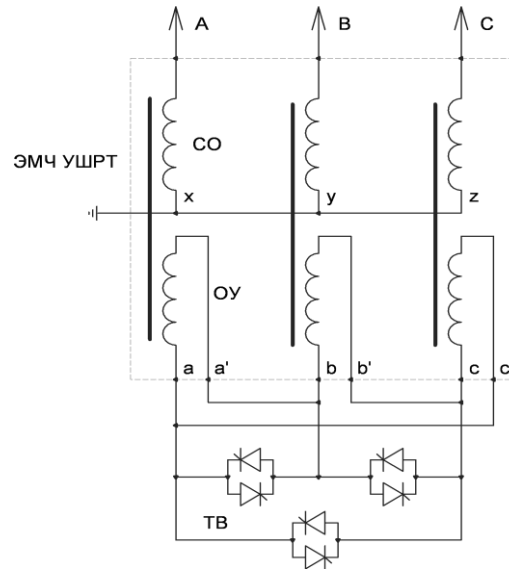


Рисунок 1 – Типовая схема УШРТ

Принцип работы УШРТ и полное отсутствие в нем «магнитной памяти» позволяют изменять его мощность от нуля до номинального значения и наоборот в течение 10 мс. Специальная конструкция тиристорного вентиля обеспечивает включение УШРТ с номинальной мощностью на первой полуволне нарастающего напряжения при включении линии независимо от предыдущего режима и при отсутствии дополнительных источников энергии. Именно это дает возможность использования УШРТ в качестве линейного шунтирующего реактора и единственного средства регулирования напряжения на подстанции, обеспечивающего одновременное выполнение всех требуемых функций:

Специальная конструкция ЭМЧ обеспечивает: низкие потери за счет полной локализации магнитного поля внутри магнитной структуры; компенсацию токов высших гармоник, возникающих при регулировании тока в обмотке ВО, внутри магнитной структуры; возможность независимого пофазного регулирования тока в каждой из обмоток ВО и, соответственно, СО. ЭМЧ предназначена для внешней установки, имеет принудительную циркуляцию воздуха и естественную циркуляцию масла. В состав ЭМЧ входит система контроля состояния реактора, обеспечивающая автоматический контроль параметров, на основе информации от установленных в нем датчиков.

Процесс оптимизации режима электропередачи разделяется на две стадии. При нагрузках линии, составляющих 30÷50 % пропускной способности электропередачи, производится автоматическое регулирование напряжения в точках подключения УШРТ к линии. Для поддержания напряжения на неизменном уровне реактивная мощность УШРТ  $Q_{ж}$  должна изменяться в функции передаваемой активной мощности  $P$  по закону:

$$Q_{*} = ctg\lambda - \sqrt{\frac{1}{\sin^2} - P^2} \quad (1)$$

где  $Q_{ж}$ ,  $P_{ж}$  – мощности УШРТ и линии, выраженные в относительных единицах натуральной мощности линии;  $\lambda$  – волновая длина линии [8].

Регулирование напряжения может производиться регулятором, воздействующим на изменение реактивной мощности УШРТ, не в функции величины передаваемой мощности  $P^*$ , а по факту отклонения напряжения от заданного значения. При положительном отклонении напряжения мощность УШРА должна увеличиваться, при отрицательном – уменьшаться. Для устойчивости режима могут использоваться стабилизирующие сигналы по параметрам переходного процесса.

В диапазоне изменения мощности ЛЭП в пределах 50-100 % ее пропускной способности производится изменение напряжения на линии по закону

$$U_l = \sqrt{P^* Z_c}, \quad (2)$$

где  $Z_c$  – волновое сопротивление линии (Ом);  $P$  – активная мощность линии (МВт). [8]

Если напряжение на линии регулируется по закону (2), то режим передачи натуральной мощности будет сохраняться при любом значении мощности  $P$ , что благоприятно сказывается на распределении напряжения вдоль линии и на уровень потерь активной мощности.

Применение управляемых шунтирующих реакторов на объектах энергетической системы позволяет управлять режимами работы сетей таким образом, чтобы снизить потери, повысить пропускную способность линий электропередачи. За счет этого повышается надежность работы системы, значительно экономится электроэнергия при ее передаче.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Назарбаев Н.А. Глобальная энергоэкологическая стратегия устойчивого развития в 21 веке / Аналитический обзор. – Режим доступа: <http://os.x-pdf.ru/20ekonomika/110836-1-globalnaya-energoekologicheskaya-strategiya-ustoychivogo-razvitiya-xxi.php> (Дата обращения – 02 февраля 2019 года).

2 Чокин Ш.Ч. Этапы формирования электроэнергетики Казахстана / Электроэнергетика Казахстана. – Режим доступа: <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-kazahstana-26.html>. (Дата обращения – 10 марта 2019 года).

3 Чокин Ш.Ч., Сартаев Т.С., Шкрет А.Ф. Электроэнергетика Северного и Центрального Казахстана / Электроэнергетика Казахстана. – Режим доступа: [http:// http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-severnogo-i-centralnogo-kazahstana.html](http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-severnogo-i-centralnogo-kazahstana.html) (Дата обращения – 11 февраля 2019 года).

4 Управляемый Шунтирующий Реактор Трансформаторного типа / Компенсация реактивной мощности. – Режим доступа: [http://complectprom.ru/produkciya/krm\\_main/yshrt/](http://complectprom.ru/produkciya/krm_main/yshrt/) (с). (Дата обращения – 11 февраля 2019 года)

5 Акционерное Общество Казахстанская компания по управлению электрическими сетями «KEGOC» / Транзит Север-Восток-Юг. – Режим доступа: <https://www.kegoc.kz/ru/o-kompanii/investicionnye-proekty/proekt-modernizaciya-nacionalnoy-elektricheskoy-seti-kazahstana>. (Дата обращения – 10 марта 2019 года).

6 Закон Республики Казахстана «О техническом регулировании» от 9 ноября 2004 года № 603-III ЗРК.

7 Филиппова А.В., Мухамедиева А.Г. Энергетика Казахстана / Состояние и перспективы развития электроэнергетики Казахстана. – Режим доступа: <https://articlekz.com/article/6658> (Дата обращения – 10 марта 2019 года).

8 Электроэнергетика Казахстана в 21 веке / Развитие электроэнергетики Казахстана. – Режим доступа: <http://bourabai.kz/toe/kazenergy.htm> (Дата обращения – 10 марта 2019 года)

### REFERENCES

1 Nazarbaev N.A. Global'naya energoekologicheskaya strategiya ustojchivogo razvitiya v 21 veke / Analiticheskij obzor. – Rezhim dostupa: <http://os.x-pdf.ru/20ekonomika/110836-1-globalnaya-energoekologicheskaya-strategiya-ustoychivogo-razvitiya-xxi.php> (Data obrashcheniya – 02 fevralya 2019 goda).

2 SHokin SH.CH. Etapy formirovaniya elektroenergetiki Kazahstana / Elektroenergetika Kazahstana. – Rezhim dostupa: <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-kazahstana-26.html>. (Data obrashcheniya – 10 marta 2019 goda).

3 SHokin SH.CH., Sartaeв T.S., SHkret A.F. Elektroenergetika Severnogo i Central'nogo Kazahstana / Elektroenergetika Kazahstana. – Rezhim dostupa: [http:// http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-severnogo-i-centralnogo-kazahstana.html](http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-severnogo-i-centralnogo-kazahstana.html) (Data obrashcheniya – 11 fevralya 2019 goda).

4 Upravlyaemyj SHuntiruyushchij Reaktor Transformatornogo tipa / Kompensaciya reaktivnoj moshchnosti. – Rezhim dostupa: [http://complectprom.ru/produkciya/krm\\_main/yshrt/](http://complectprom.ru/produkciya/krm_main/yshrt/) (s). (Data obrashcheniya – 11 fevralya 2019 goda)

5 Akcionerное Obshchestvo Kazahstanskaya kompaniya po upravleniyu elektricheskimi setyami «KEGOC» / Tranzit Sever-Vostok-YUg. – Rezhim dostupa: <https://www.kegoc.kz/ru/o-kompanii/>

investicionnye-proekty/proekt-modernizaciya-nacionalnoy-elektricheskoy-seti-kazahstana. (Data obrashcheniya – 10 marta 2019 goda).

6 Zakon Respubliki Kazahstana «O tekhnicheskoy regulirovaniy» ot 9 noyabrya 2004 goda № 603-II ZRK.

7 Filippova A.V., Muhamedieva A.G. Energetika Kazahstana / Sostoyanie i perspektivy razvitiya elektroenergetiki Kazahstana. – Rezhim dostupa: <https://articlekz.com/article/6658> (Data obrashcheniya – 10 marta 2019 goda).

8 Elektroenergetika Kazahstana v 21 veke / Razvitie elektroenergetiki Kazahstana. – Rezhim dostupa: <http://bourabai.kz/toe/kazenergy.htm> (Data obrashcheniya – 10 marta 2019 goda)

### **ТҮЙІН**

**С.Ж. Ескенди́ров**

*АО «КЕГОС» Шығыс ЖЭТ Семей АЭҚ ПС 500кВ Семей (Семей қ.)*

**Е.В. Иванова**, техникалық ғылымдарының докторы, доцент

#### **Трансформаторлы түрлі басқарылатын шунттаушы реакторларды**

*Энергетикалық жүйенің қосалқы станцияларында қуат беру тәртібін оңтайландыру мақсатымен трансформаторлы түрлі басқарылатын шунттаушы реакторларды қолдану мүмкіншіліктері қарастырылған. Табиғи қуат тәртібін қамтамасыздандыратын және электрлік жүйеде белсенді қуатты жоғалтуды төмендететін күштерді реттеу заңдары анықталып көрсетілген.*

**Түйінді сөздер:** *энергетикалық кешен, трансформаторлы түрлі басқарылатын шунттаушы реакторлар, кернеу тұрақтандырылуы, тиристорлы реттеуші, басқару орамасы.*

### **RESUME**

**S.Zh. Eskendirov**

*АО «КЕГОС» Vostochnye MES Semejskie TES PS 500kV Semej (Semej)*

**E.V. Ivanova**, doctor of Technical Science, professor

#### **Controlled transformer-type shunt reactors**

*The possibilities of using controlled transformer-type shunt reactors at power grid substations to optimize the transmission mode are considered. The laws of voltage regulation, providing the mode of natural power and reduction of active power losses in the electrical system, are highlighted.*

**Key words:** *energy complex, controlled transformer-type shunt reactor, voltage stabilization, thyristor voltage controller, control winding.*