

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В.А. Соловьев, Н.Е. Дерюжкова, А.В. Купова

Рассмотрены результаты математического моделирования статического тиристорного компенсатора (СТК) в среде Matlab. Представлена структура модели системы электроснабжения, включающая в себя сетевой трансформатор, реактор, печной трансформатор, дуговую сталеплавильную печь (ДСП) и СТК. Отличительной особенностью представленной модели является использование блока, моделирующего сетевой трансформатор, что позволяет учесть влияние режимов работы ДСП на показатели сети электроснабжения. Предложенная модель СТК выполнена наращиваемой по числу используемых фильтрокомпенсирующих цепей и тиристорно-реакторных групп. Приведены графики, иллюстрирующие работу основных узлов системы.

Ключевые слова: статический тиристорный компенсатор, математическая модель, система управления СТК, дуговая сталеплавильная печь.

Введение

Применение статических тиристорных компенсаторов (СТК) позволяет увеличить пропускную способность линий электропередачи, ограничить временные перенапряжения, снизить потери, улучшить синусоидальность кривой напряжения в различных режимах работы сети. Многолетний опыт использования СТК на металлургических заводах позволяет говорить об успешном применении их свойств при решении задач нормализации показателей качества электроэнергии в системах энергоснабжения предприятий [1–3]. Используемые в металлургической промышленности дуговые сталеплавильные печи (ДСП) характеризуются как приемники с резкопеременной нагрузкой. В процессе их работы наблюдается генерация токов высших гармоник, существенная несимметрия напряжения, броски реактивной мощности. Указанные явления приводят к колебаниям напряжения в питающих сетях, что негативно сказывается как на работе других потребителей электроэнергии, так и на работе самой дуговой печи. Настроенные определенным образом фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ) позволяют скомпенсировать гармоники высших порядков. Генерирование реактивной мощности в ФКЦ происходит дискретно, поэтому для получения плавного регулирования реактивной мощности совместно с ФКЦ используется тиристорно-реакторная группа (ТРГ). Кроме того применение ТРГ позволяет увеличить устойчивость системы и демпфировать колебания мощности. Регулирование параметров системы в СТК производится пофазно, тем самым осуществляется симметрирование системы.

Система энергоснабжения

Предлагаемая для исследования система питает ДСП мощностью 120 МВт. Дуговая печь подключается к линии 35 кВ через электропечной трансформатор мощностью 120 МВАр и реактор 22 МВАр. Питание шин 35 кВ осуществляется

через понижающий трансформатор мощностью 160 МВАр от линии 220 кВ.

В рассматриваемой системе энергоснабжения используется компенсатор мощностью 160 МВАр, содержащий четыре фильтрокомпенсирующие цепи, настроенные на компенсацию второй, третьей, четвертой и пятой гармоник.

Модель системы энергоснабжения приведена на рис. 1. При разработке модели данной системы не ставилось целью описание режимов работы ДСП с точки зрения тепловых процессов, их влияние на сеть рассматривается через энергетические составляющие. Сама ДСП представлена как активно-индуктивная нагрузка с возможностью изменения значений соответствующих блоков в процессе работы моделирующей программы. Также в процессе моделирования учитывалось, что в зависимости от режимов работы ДСП требуется переключение обмоток печного трансформатора и реактора.

Отличием данной модели системы энергоснабжения от аналогичных является использование блока, моделирующего сетевой трансформатор. С одной стороны, это позволяет учесть влияние режимов работы ДСП на параметры сетей, к которым подключены и другие потребители электроэнергии. Без этого блока можно говорить только о параметрах в точке подключения печного трансформатора. С другой стороны, использование блока сетевого трансформатора в модели рассматриваемой системы позволяет учесть влияние параметров электрических сетей и режимов работы сетевого трансформатора на систему энергоснабжения, режимы работы ДСП и выработку управляющего сигнала в системе управления СТК.

Модель статического тиристорного компенсатора

Модель СТК в MatLab для заданной системы разрабатывалась на основе примера (MatLab/demos/SimPowerSystems/FACTSDemos/SVC(detaile

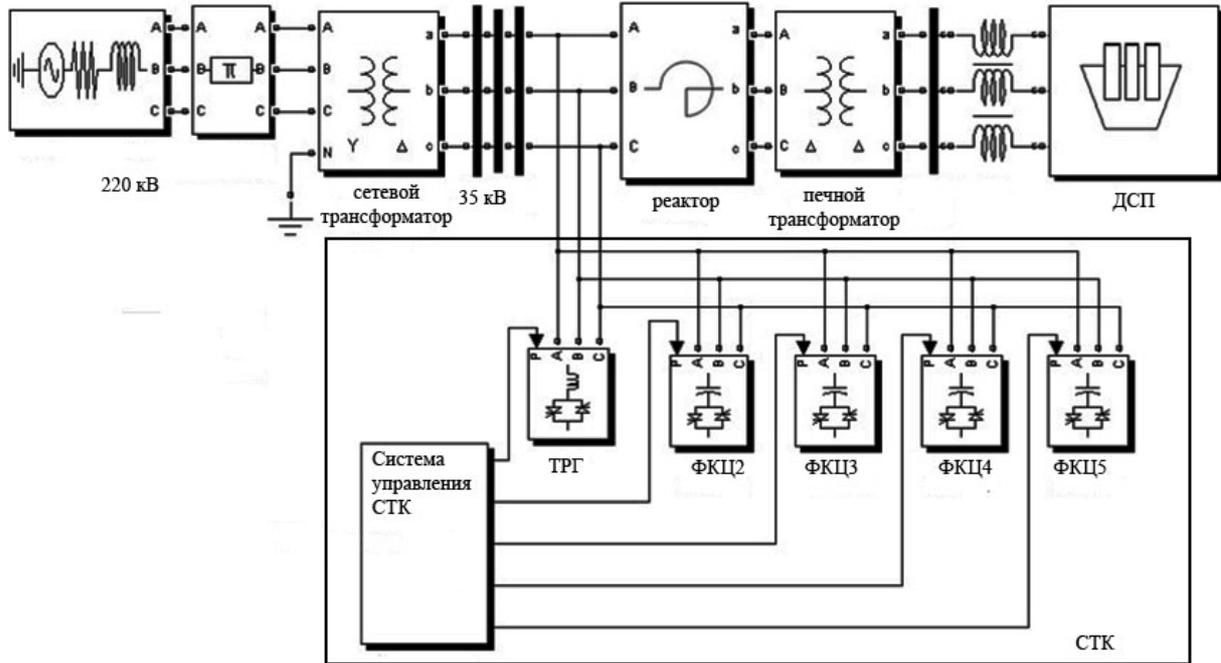


Рис. 1. Модель системы энергоснабжения дуговой сталеплавильной печи и статического тиристорного компенсатора

dmodel)), предложенного Power System Laboratory, IREQ Hydro-Quebec (Pierre Giroux, Gilbert Sybille). Настроенная на систему меньшей мощности и выполняющая другие функции модель из примера содержит три блока, имитирующих ФКЦ, и блок, имитирующий ТРГ. Предложенная модель системы электроснабжения ДСП позволяет учитывать увеличение количества блоков ФКЦ, а также осуществлять корректировку параметров блоков ФКЦ и ТРГ таким образом, чтобы получать необходимые значения мощностей.

На рис. 2. и 3 показаны структуры блоков ТРГ и ФКЦ. Фазы ТРГ включены в треугольник. В ка-

ждой фазе ТРГ два компенсирующих реактора (КР) и тиристорный вентиль (ТВ). Каждая фаза ФКЦ содержит конденсатор (КБ), тиристорный вентиль (ТВ) и фильтровый реактор (ФР). Фазы ФКЦ включены в звезду. Через A_p , A_m , B_p , B_m , C_p и C_m обозначены сигналы импульсов, управляющие тиристорными вентилями.

На рис. 4. приведена функциональная схема, в соответствии с которой осуществляется управление СТК. Уровень компенсации реактивной мощности определяется амплитудой напряжения, которая сравнивается с задающей величиной и с помощью ПИ-регулятора вырабатывается корректи-

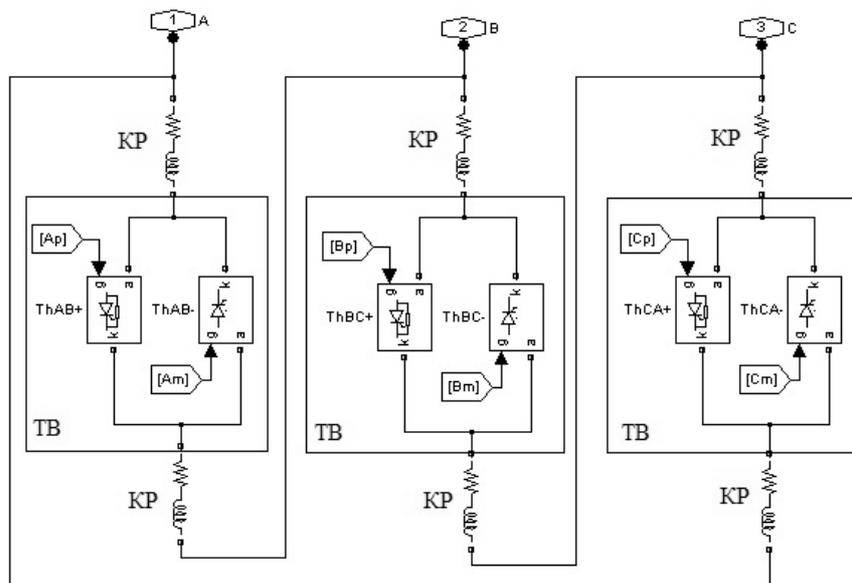


Рис. 2. Структура блока ТРГ

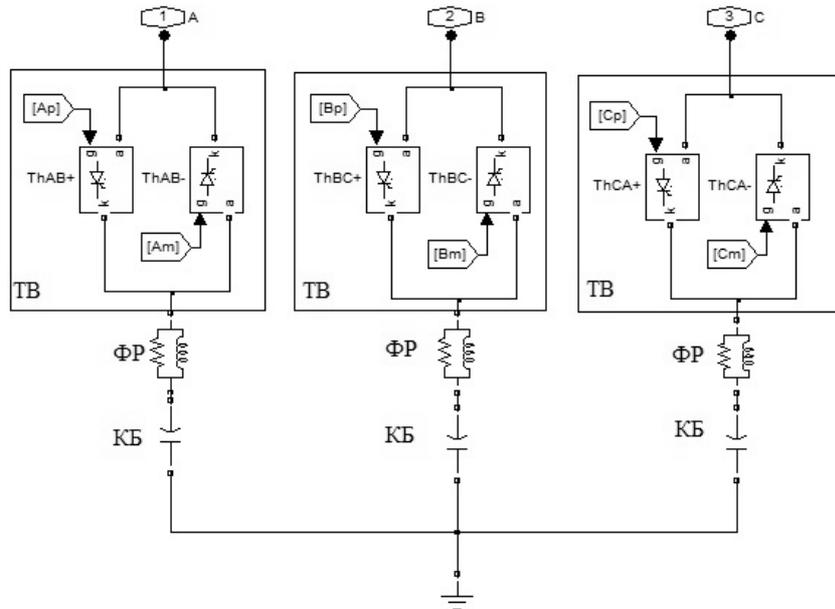


Рис. 3. Структура блока ФКЦ



Рис. 4. Функциональная схема управления СТК

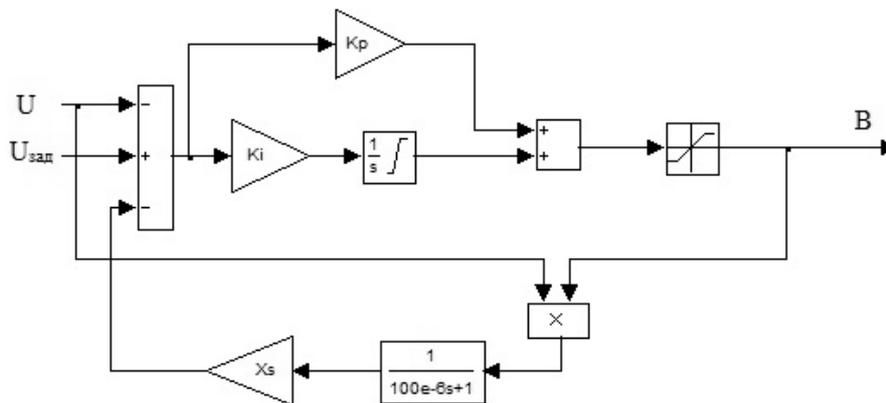


Рис. 5. Детализированная схема ПИ-регулятора напряжения

рующей сигнал, поступающий на ТРГ и ФКЦ. В результате осуществляется требуемый уровень стабилизации напряжения.

Блок распределения выполняет функцию разделения сигнала управления на включение соответствующего ФКЦ и выбора необходимого угла регулирования ТРГ.

Определение параметров ПИ-регулятора классическим методом затруднительно в силу того, что их вариация сильно зависит от режимов работы дуговой печи.

В [4, 5] показано, что даже для упрощенной модели СТК, учитывающей более 100 возможных сочетаний переключений реактора и печного трансформатора, система уравнений электрических и нелинейных цепей получается очень сложной и трудно реализуемой на практике.

Один из вариантов реализации адаптивного ПИ-регулятора приведен на рис. 5. В данном регуляторе с помощью цепи обратной связи учитываются как динамические характеристики тиристора, влияющие на момент включения ФКЦ, так и реак-

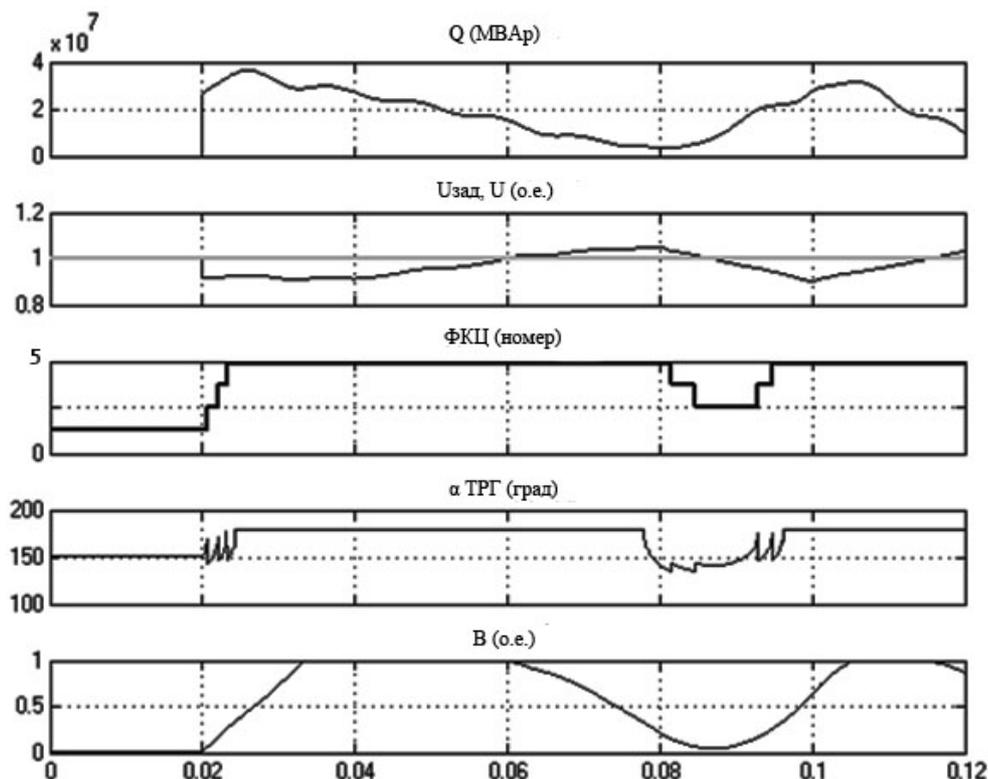


Рис. 6. Динамические характеристики СТК

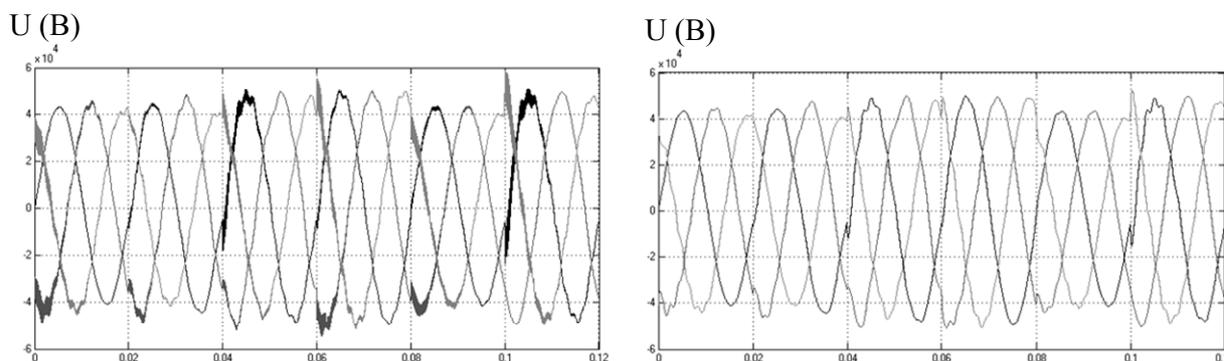


Рис. 7. Осциллограммы напряжения: а – работа системы энергоснабжения ДСП без включения СТК; б – работа системы энергоснабжения совместно с СТК

тивное сопротивление статизма X_s СТК, определяющее угол регулирования ТРГ. Графики, иллюстрирующие работу основных узлов системы, приведены на рис. 6. На графиках четко прослеживается динамика изменения угла управления ТРГ при дискретных переключениях ФКЦ при стабилизации напряжения сети.

Для подтверждения эффективности разработанной модели «СТК – электрическая сеть» на рис. 7 приведены сравнительные осциллограммы напряжения, снятые с модели 35 кВ при одинаковом изменении нагрузки без включения СТК и при совместной работе системы с СТК.

Заключение

Использование предложенной модели системы электроснабжения ДСП при наличии СТК дает воз-

можность оценить влияние на показатели качества электрической сети параметров и режимов работы ДСП, а также учесть собственные характеристики сети, влияющие на алгоритмы управления СТК.

Ослабление влияния нестационарности параметров ДСП на показатели качества питающей сети может быть достигнуто путем построения системы регулирования СТК на основе аппарата искусственного интеллекта. В настоящее время авторами статьи проводятся исследования в этом направлении.

Литература

1. Иванов, В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.

2. Кочкин, В.И. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий / В.И. Кочкин, О.П. Нецаев. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 248 с.

3. Hingorani, Narain G. Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems / Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi. – New York: IEEE PRESS, WILEY INTERSCIENCE, 2000. – 428 с.

4. Mathematical description of complicated power supply systems / V. Soloviov, A. Kupov, K. Khandoshko, A. Kupova // Proc. 11th Int. conference «Electrical machines, drives and power systems ELMA 2005». – Sofia, 2005. – P. 487–490.

5. Егорова, Ю.Г. Моделирование пластического состояния в задаче о волочении полосы / Ю.Г. Егорова, В.А. Егоров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2013. – № 1-1(13). – С. 42–50.

Соловьев Вячеслав Алексеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматика промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре; keparu@knastu.ru.

Дерюжкова Нелли Егоровна, канд. техн. наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматика промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре; keparu@knastu.ru.

Купова Анастасия Викторовна, старший преподаватель кафедры «Управление инновационными процессами и проектами», Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре; kupova_a@rambler.ru.

Поступила в редакцию 10 апреля 2014 г.

Bulletin of the South Ural State University
Series “Power Engineering”
2014, vol. 14, no. 2, pp. 23–28

MODELING OF STATIC THYRISTOR COMPENSATOR IN POWER SUPPLY SYSTEM OF ELECTRIC ARC FURNACE

V.A. Soloviov, Komsomolsk on Amur State Technical University, Komsomolsk on Amur, Russian Federation, keparu@knastu.ru,

N.E. Deryuzhkova, Komsomolsk on Amur State Technical University, Komsomolsk on Amur, Russian Federation, keparu@knastu.ru,

A.V. Kupova, Komsomolsk on Amur State Technical University, Komsomolsk on Amur, Russian Federation, kupova_a@rambler.ru

The article considers results of static thyristor compensator (STC) modeling in Matlab medium. The authors present structure of power supply system model including mains transformer, reactor coil, electric arc furnace (EAF) and STC. The key feature of the presented model is block modeling mains transformer that makes it possible to allow for the influence of EAF operation modes on power network indices. Proposed STC model design implies increasing number of used filter compensating chains and thyristor reactor groups. Diagrams that demonstrate operation of major system units are given.

Keywords: static thyristor compensator, mathematical model, STC control system, electric arc furnace.

References

1. Ivanov V.C., Sokolov V.I. *Rezhimy potrebleniya i kachestvo elektroenergii system elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Modes of consumption and quality of electricity supply systems of industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 336 p.

2. Kochin V.I., Nechaev O.P. *Primenenie staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyakh energosistem i predpriyatiy* [Application of static compensators in electric power systems and networks of enterprises]. Moscow, ENAS Publ., 2002. 248 p.

3. Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi *Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems*, New York, IEEE PRESS, WILEY INTERSCIENCE, 2000. 428 с.

4. Soloviov V., Kupov A., Khandoshko K., Kupova A. Mathematical description of complicated power supply systems, *Proc. 11th Int. conference "Electrical machines, drives and power systems ELMA 2005"*. Sofia, 2005, pp. 487–490.

5. Egorova J.G., Egorov V.A. [Plastic state modeling in the strip drag problem]. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta* [Proceedings of Komsomolsk-on-Amur State Technical University. Natural sciences and engineering], 2013, no. 1-1. (in Russ.)

Received 10 April 2014