

Л.Б. ЖОРНЯК, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорозьє
В.И. ОСИНСКАЯ, ст. преподаватель, ЗНТУ, Запорозьє
И.Ю. СКИБА, студент, ЗНТУ, Запорозьє

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С УСТРОЙСТВОМ РПН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Досліджені питання підвищення якості напруги в мережах енергоємних споживачів електроенергії. Запропоновано модель системи регулювання напруги силового трансформатора з РПН типу РНТА – 220/1250 в пакеті програм Matlab (Simulink 4) для підвищення ефективності металургійного виробництва за рахунок регулювання потужності.

Исследованы пути повышения качества напряжения в сетях энергоёмких потребителей электроэнергии. Предложена модель системы регулирования напряжения силового трансформатора с РПН типа РНТА – 220/1250 в пакете программ Matlab (Simulink 4) для повышения эффективности металлургического производства за счет регулирования мощности.

Введение. Известно, что установки дуговых печей являются крупными потребителями электроэнергии, а их единичные мощности измеряются тысячами и десятками тысяч киловатт. Например, расход электроэнергии дуговыми печами на расплавление тонны твердой заварки достигает 400...600 кВт/ч, а для поддержания дуги в течение технологического процесса подается напряжение от 120 до 600 В и ток 10-15 кА. Меньшие значения напряжений и токов относятся к печам емкостью 12 тонн и мощностью 50000 кВА. Питание печей производится от сетей 6, 10 и 35 кВ через понижающие печные трансформаторы (максимальные значения вторичного линейного напряжения трансформаторов лежат обычно в пределах до 320 В у печей малой и средней емкости и до 510 В у крупных печей) [1]. Кроме того, дуговые сталеплавильные печи являются мощным и нестабильным потребителем для энергосистемы, из-за чего она работает с низким коэффициентом мощности $\eta = 0,7...0,8$. Потребляемая из сети мощность меняется в течение плавки, а электрический режим характеризуется частыми толчками тока, вплоть до обрыва дуги эксплуатационных коротких

замыканиях. Дуги генерируют высокочастотные гармоники, нежелательные для других потребителей и вызывающие дополнительные потери в питающей сети. Для повышения коэффициента мощности используется подключение конденсаторов на шины главной питающей подстанции, которая обеспечивает питание группы печей. Учитывая, что при толчках тока реактивная мощность колеблется в больших пределах, необходимо обеспечить возможность быстрой смены этой емкости. Для такого регулирования можно использовать высоковольтные тиристорные ключи, управляемые схемой поддержания коэффициента мощности, близким к единице. Для борьбы с высшими гармониками используются фильтры, настроенные на наиболее интенсивные гармоники. Широко применяется выделение печных подстанций на самостоятельное питание, связанное с другими потребителями напряжением 110, 220 кВ. В этом случае искажение кривых тока и напряжения у других потребителей удается удерживать в допустимых пределах.

Известно, что различные стадии обработки металла в дуговых печах характеризуются различными режимами горения электрической дуги [2]. При этом требуется широкий диапазон оперативного регулирования и высокая точность поддержания мощности, подводимой к печи. Регулирование мощности питания печи обеспечивает необходимый ход металлургической реакции, а особенности технологического процесса, в свою очередь, требуют от дуговой печи следующее:

- 1) способность быстро реагировать на эксплуатационные короткие замыкания и обрывы дуги, быстро восстанавливать нормальный электрический режим, ограничивать до допустимых пределов токи эксплуатационных замыканий;

- 2) гибкости управления мощностью, подводимой к печи.

Существующая система регулирования электрической мощности, подводимой к печи, инерционна и, поскольку печные трансформаторы работают в особо тяжелых условиях резкопеременного графика ударной нагрузки, к ним предъявляются более высокие требования по сравнению с обычными силовыми трансформаторами. Например, они должны обладать большей перегрузочной способностью по току, повышенной прочностью, большим диапазоном и числом ступеней вторичного напряжения и т.д. [2]. Все это ведет к удорожанию не только трансформаторов, но и самого конечного продукта металлургического производства в целом. Мощность печного трансформатора является важнейшим параметром дуговой печи и определяет длительность расплавления металла, что в значительной степени сказывается на производительности печи, напряжение на которой в течение плавки требуется изменять в довольно широких пределах. На первом этапе плавки, когда происходит расплавление скрапа, в печь должна вводиться мак-

симальная мощность, чтобы ускорить этот процесс. Но при холодной шихте дуга неустойчива. Поэтому для увеличения мощности необходимо повышать напряжение. Продолжительность этапа расплавления составляет 50 % и более от общего времени плавки, при этом потребляется 60-80 % электроэнергии. На втором и третьем этапах – при окислении и рафинировании жидкого металла (удалении вредных примесей и выжигании лишнего углерода) дуга горит спокойнее, температура в печи выше, длина дуги увеличивается [1, 2].

Постановка задачи. Для обеспечения нормальной и высокопроизводительной работы дуговые печи оборудуются автоматическими регуляторами мощности дуговых печей (АРМ), которые осуществляют поддержание постоянства заданной мощности электрической дуги. Работа автоматического регулятора мощности дуговой печи основана на изменении положения электродов относительно загрузки – в дуговых печах прямого нагрева или относительно друг друга в дуговых печах косвенного нагрева, т.е. в обоих случаях используется регулирование длины дуги. АРМ дуговых печей должны обеспечивать:

- 1) Автоматическое зажигание дуг.
- 2) Автоматическое устранение обрывов дуги и эксплуатационного короткого замыкания.
- 3) Быстродействие около 3 секунд при устранении обрывов дуги эксплуатационного короткого замыкания.
- 4) Аperiodический характер процесса регулирования.
- 5) Возможность плавно изменять мощность, вводимую в печь, в пределах от 20-125 % от номинальной и поддерживать ее с точностью 5%.
- 6) Остановка электродов при исчезновении напряжения питания.

Автоматическое регулирование напряжения на шинах электростанций и печных подстанций преимущественно осуществляется в виде встречного регулирования, при котором в период наибольших нагрузок напряжение устанавливается выше номинального напряжения сети (с целью компенсации потерь напряжения). В период же наименьших нагрузок напряжение автоматически понижается. В условиях эксплуатации стремятся, по возможности, уменьшить количество переключений ответвлений трансформатора, сознательно идя на некоторое снижение качества регулирования, но добиваясь этим повышения надежности систем электроснабжения. Для этого задают закон регулирования, который нечувствителен к кратковременным колебаниям напряжения, но реагирующий на отклонения, большие, чем зона нечувствительности.

Модель работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройством РПН. Для повышения устойчивости регулирования предложено использовать модель, которая позволяет учитывать знак производной огибающей регулируемого напряжения и не

производить дополнительных переключений ответвлений трансформатора, если регулируемый параметр находится вне зоны нечувствительности регулятора, но под влиянием внешних факторов движется в эту зону [3-5]. Оценка устойчивости исследуемой системы автоматического регулирования (САР) в [6-9] совмещена с оценкой качества его переходных процессов (последние в случае устойчивой системы будут с течением времени затухать). В работе [7] была описана модель, позволяющая разработать рациональный алгоритм переключения отпаек силового трансформатора, что, в конечном счете, обеспечивает повышение качества сетевого напряжения при одновременном повышении эксплуатационной надежности РПН. В качестве примера была рассмотрена имитационная модель трехфазного двухобмоточного силового трансформатора с РПН в пакете программ Matlab (Simulink 4) [7, 8], показанная на рис. 1 и 2.

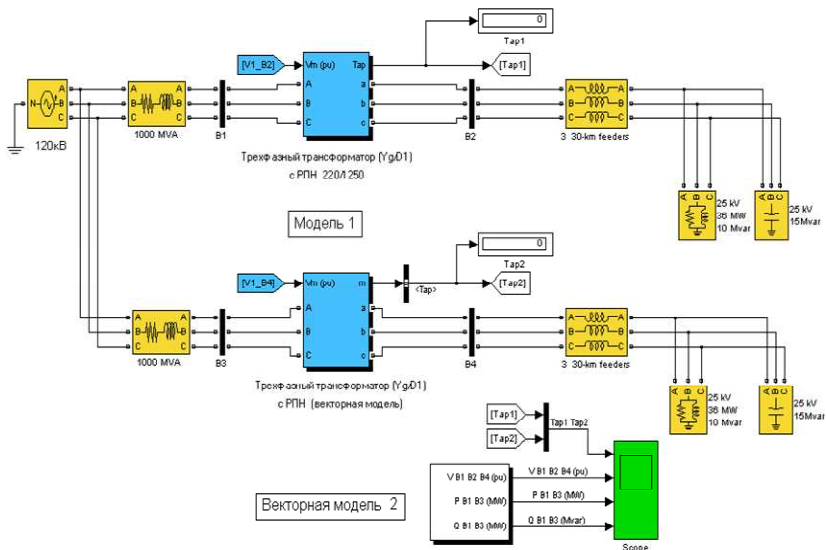


Рис. 1.

Автоматический контроль напряжения на регулируемом трансформаторе осуществляется системой управления напряжением обычно на обмотках или шинах. Такая система управления в данном случае обеспечивается блоком "Three-Phase OLTC Regulating Transformer", которая автоматически определяет положение ответвлений для устройств РПН типа РНОА-220/1250 с параметрами 220 кВ, 1250 А, до 3000 В и числом ступеней регулирования ± 8 .

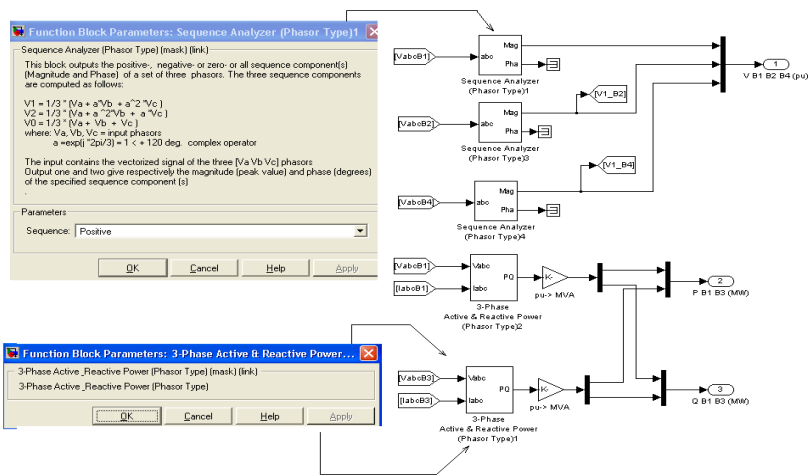


Рис. 2.

Выводы. Моделирование системы управления напряжением в пакете программирования Matlab (Simulink 4) позволяет значительно повысить не только качество поставляемой энергии энергоемким производствам, но и эффективность самого металлургического производства. Результаты, получаемые при моделировании и соответствующих расчетах, позволяют сделать вывод о том, насколько быстро в синтезированной системе автоматического регулирования напряжения силового трансформатора РПН (в данном примере это РНОА – 220/1250) происходит затухание переходных процессов при ступенчатом переключении обмоток, и нужно ли такое дополнительное переключение ответвлений РПН, пока не закончился переходный процесс. Прогнозирование числа и скорости переключений обмоток силового трансформатора позволит оптимизировать не только регулирование потребляемой мощности, но и, в конечном счете, обеспечить требуемый технологический процесс.

Кроме этого, применение системы моделирования позволит сократить затраты при модернизации существующих подстанций, обеспечивающих питание металлургического производства, увеличить время службы контактов устройств РПН силовых трансформаторов, снизить потери мощности и электроэнергии в действующих сетях, предупредить нежелательные аварийные режимы работы потребителей этой энергии.

Список литературы: 1. *Окорок Н. В.* Дуговые сталеплавильные печи. – М.: Металлургия, 1971 – 345 с. 2. *Леушин А.И.* Дуга горения. Свойства мощных

дуг современных сталеплавильных печей. – М.: Металлургия, 1973 – 245 с. **3. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В.** Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор) // Электротехника. – 1998. – № 3. – С. 10-17. **4. Мокин Б.И., Выговский Ю.Ф.** Автоматические регуляторы в электрических сетях. – К.: Техніка, 1985 – 104 с. **5. Грабко В.В.** Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. – 109 с. **6. Жежеленко И.В.** Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – К.: Техника, 1981. – 160 с. **7. Жорняк Л.Б., Осинская В.И.** Исследование методов моделирования работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройством РПН для повышения качества электроснабжения потребителей электроэнергии // Электротехника та електромеханіка. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – № 4. – С. 15-21. **8. Дьяконов В., Круглов В.** Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с. **9. Баталыгин С. Н.** Автоматизация средств диагностики электрических цепей силовых высоковольтных трансформаторов: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.09.01 / Ижевск, 2007. – 24 с.



Жорняк Людмила Борисовна, кандидат технических наук, доцент. Защитила диплом инженера, диссертацию кандидата технических наук в Харьковском политехническом институте по специальности электрические машины и аппараты соответственно в 1982, 2004 гг. Доцент кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "Запорожский национальный технический университет" с 2005 г.

Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Осинская Валентина Ивановна, старший преподаватель.

Защитила диплом инженера в Коммунарском горно-металлургическом институте по специальности электрические машины и аппараты в 1971 г. Старший преподаватель кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "Запорожский национальный технический университет" с 2007 г.

Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Скиба Иван Юрьевич, студент.

Студент Запорожского национального технического университета, кафедры "Электрические аппараты" с 2006 г.

*Поступила в редколлегию 26.11.2010
Рецензент д.т.н., проф. Болух В.Ф.*