

УДК 621.31

DOI: 10.30987/conferencearticle\_61c997edd341c8.81845475

## ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ В СЕТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЦЕХА

**Евгений Сергеевич Кинев**<sup>1</sup>, директор, доцент, к.т.н., Kinev\_ES@ontecom.com

**Алексей Андреевич Тяпин**<sup>2</sup>, аспирант, Mishinskaya\_AS@tamerlan-krk.ru

**Алексей Анатольевич Хороших**<sup>2</sup>, аспирант, Lexicon12x@gmail.com

**Матвей Денисович Колодочкин**<sup>2</sup>, аспирант, matvyshakolodochkin@gmail.com

**Василий Иванович Пантелеев**<sup>2</sup>, зав. кафедрой электроэнергетики, д.т.н., профессор, pvi0808@rambler.ru

<sup>1</sup>ООО Тепловые электрические системы,

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

*Аннотация. Рассмотрены причины ухудшения электромагнитной обстановки в цеховой распределительной сети металлургического предприятия с мощными вентильными регуляторами. Предложено локальное решение задачи улучшения электромагнитной совместимости, посредством применения цифровой микроконтроллерной системы управления тиристорными регуляторами миксеров сопротивления. Эффект достигается за счет более точного выполнения условий коммутации вентилей каждой фазы в момент перехода через нуль. Это позволяет не только снизить уровень высших гармоник тока в распределительной сети и улучшить симметрию напряжений, но также повысить устойчивость работы оборудования.*

*Ключевые слова: трехфазная распределительная сеть, вентильный регулятор, микроконтроллерное управление, электромагнитная совместимость, высшие гармоники.*

### DIGITAL CONTROL SYSTEM OF THE THYRISTOR REGULATOR IN THE NETWORK OF THE METALLURGICAL SHOP

E. S. Kinev<sup>1</sup>, Director, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, Kinev\_ES@ontecom.com

A. A. Tyapin<sup>2</sup>, Postgraduate Student, Mishinskaya\_AS@tamerlan-krk.ru

A. A. Khoroshikh<sup>2</sup>, Postgraduate student, Lexicon12x@gmail.com

M. D. Kolodochkin<sup>2</sup>, Postgraduate Student, matvyshakolodochkin@gmail.com

V. I. Panteleev<sup>2</sup>, Head of the Department of Electric Power Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, pvi0808@rambler.ru

<sup>1</sup>Thermal Electrical Systems LLC, <sup>2</sup>Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

*Abstract. The reasons for the deterioration of the electromagnetic environment in the workshop distribution network of a metallurgical enterprise with powerful valve regulators are considered. A local solution to the problem of improving electromagnetic compatibility is proposed by using a digital microcontroller control system for thyristor regulators of resistance mixers. The effect is achieved due to a more accurate fulfillment of the conditions for switching the gates of each phase at the moment of zero crossing. This allows not only to reduce the level of higher harmonics of the current in the distribution network and improve the symmetry of voltages, but also to increase the stability of the equipment.*

*Keywords: three-phase distribution network, valve regulator, microcontroller control, electromagnetic compatibility, higher harmonics.*

На металлургических предприятиях при эксплуатации основного и вспомогательного оборудования используется технологический нагрев тепловыми электрическими нагревателями (ТЭН). При этом управление температурным режимом расплава алюминия осуществляется с помощью тиристорных регуляторов [1]. Контроллеры вентильных регуляторов строят по принципу фазоимпульсного управления. С повышением потребляемой мощности становится актуальной оценка взаимного влияния работы соседних агрегатов, поддержание устойчивости работы всего комплекса технологических установок [2]. В тяжелой электромагнитной обстановке, нередко возникает необходимость модернизации производства [3]. Эффект ухудшения электромагнитной совместимости (ЭМС) особенно ярко проявляется при эксплуатации установок с фазоимпульсным регулированием температуры мощных нагревателей металлургических печей и транспортных лотков для расплава алюминия [4]. Режимные характеристики фазовых регуляторов в сети 0,4 кВ должны обеспечивать мощности потребления в десятки мегаватт, при токах каждой из 4-6 печей до 1000 ампер при низких значениях естественного коэффициента мощности.

Показатели качества электроэнергии технологической электросети страдают от несовершенства технологии управления переключением мощных вентилях, обусловленной схмотехникой модуля синхронизации задающего звена контроллера [5]. Как правило, его выполняют в виде схемы детектора перехода через ноль по каждой из трех фаз. Такой подход обоснован при бытовом применении для регулировки потребителей небольшой мощности. Однако, при одновременной работе в магистрали мощных нагрузок, с несинусоидальностью токов свыше 40 % при слабой сети подводящих алюминиевых кабелей, появляются провалы напряжения в момент закрытия тиристоров [6]. Появление импульсных помех в одной фазе, в силу связности линий питания через силовой трансформатор, приводит к импульсным выбросам в других фазах и агрегатах, подключенных к распределительной сети [7]. Это приводит к резкой несинусоидальности напряжений (свыше 12 %) при явно выраженных знакопеременных производных по напряжению и току.

Насыщение сети высшими гармониками приводит к ошибке при определении истинного момента перехода через ноль, и как следствие - к несвоевременному формированию импульса открытия силового тиристора. Тем самым, подавая меньше или больше мощности на нагреватель. Этот эффект проявляется как постоянный шум при измерении тока нагрузки при постоянном управляющем сигнале на регуляторе. Рассогласованные управляющие воздействия приводят к ошибкам в работе соседних агрегатов и возникновению аналогичных помех. В зависимости от мощности, уставок, режимов работы, помехи могут динамически суммироваться, и даже входить в резонанс. Указанная проблема чревата авариями для оборудования, работающего за пределами расчетных режимов [8].

Проблема устойчивости сети усугубляется возникновением токов реактивного характера, даже при резистивной нагрузке, что приводит к дополнительным потерям, нагреву проводов, эмиссии электромагнитных помех, влияющих на все электроприемники и измерительное оборудование цеха. В результате воздействия перечисленных факторов, системы автоматического регулирования могут давать ошибочные команды исполнительным механизмам и устройствам. Поддержание элементов распределительной сети в работоспособном состоянии, требует комплекса мер не только по компенсации реактивных мощностей и симметрированию режимов, но также по защите измерительных и сигнальных цепей от импульсных помех [9].

Одним из способов противодействия ухудшению ЭМС цеховой сети с вентильными регуляторами является создание цифрового микроконтроллерного модуля управления мощной нагрузкой. Работа модуля основана на цифровой обработке сигналов, точно идентифицирующей моменты перехода сетевого напряжения через ноль. Пример структурной схемы разработанного микроконтроллерного устройства показан на рис. 1.

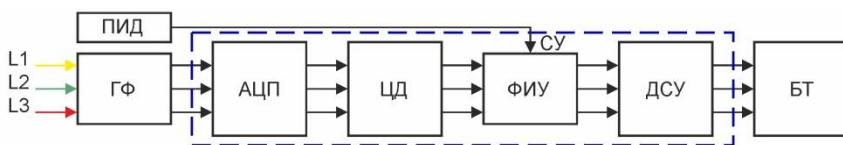


Рисунок 1 – Структурная схема контроллера тиристоров

В схеме контроллера трехфазный входной сигнал напряжения проходит гармонический фильтр ГФ и преобразуется с помощью АЦП в цифровые отсчеты. С использованием методов дискретной обработки сигналов в цифровом детекторе ЦД, выделяется сигнал синхронизации, который является аналогом сигнала перехода через ноль. Контроллер запускает формирователь импульсов управления (ФИУ), сочетая в алгоритме сигналы управления (СУ) от внешнего устройства, например, от ПИД-регулятора. Синтезированное управляющее воздействие усиливается штатным драйвером сигналов управления (ДСУ) контроллера и поступают в модуль силовых тиристоров (БТ).

Исследование взаимодействия аппаратных модулей и алгоритмов работы устройства проведено в программной среде платформы моделирования ISIS Proteus v.7. В качестве микропроцессорного средства применен целевой микроконтроллер ATmega8. Разрядность 8 бит, ОЗУ 1024 байт, ПЗУ 8192 байт. При построении устройства использованы оригинальные программно-аппаратные решения и схемотехника. Конструктивные и технологические решения, применены такие же, как в серийном промышленном оборудовании, для обеспечения удобства замены устаревших блоков на модифицированные. Результаты моделирования, макетирования и построения опытно-промышленного образца устройства показали надежность аппаратного

оснащения, а также точность и достоверность алгоритмов управления силовыми тиристорными сборками разной мощности.

Тестирование устройства выполнено в комплекте с модулями ПНТТ-630 для промышленных металлургических миксеров сопротивления емкостью 50 тонн. Долговременные испытания на печах были проведены при токах свыше 600 ампер. Кроме того, устройство испытано на системах обогрева транспортных лотков, для расплава алюминия, при токах до 200 ампер. Предложенное изделие показало значительно более надежную и устойчивую работу в сравнении со стандартными изделиями БУСТ-2 (Овен) в крайне сложной электромагнитной обстановке металлургического цеха.

### Список литературы

1. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Система электропитания МГД-перемешивателей расплава алюминия с IGBT-инверторами // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. IV Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГТУ, 2020. – С. 190-195. DOI: 10.51932/9785907271739\_190

2. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Постановка задачи анализа электромагнитной совместимости МГД-перемешивателей расплава алюминия. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. № 8, 2021. с. 41-49. ISSN: 2074-9635.

3. Kinev E. S., Tyapin A. A., Litovchenko A. V. Analysis of the closed circuit network in the power supply system of a metallurgical enterprise. The scientific heritage. Budapest, 2020. No 49-1, Vol. 1. pp. 69-74. ISSN 9215-0365.

4. Головенко Е. А., Литовченко А. В., Тяпин А. А., Кинев Е. С. Электрооборудование для транспортировки жидкого алюминия. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. № 8, 2019. с. 43-55. ISSN: 2074-9635.

5. Williams B. W. Principles and Elements of Power Electronics. Devices, Drivers, Applications and Passive Components. Glasgow. United Kingdom, 2006, 1432 p. ISBN: 978-0-9553384-0-3.

6. The Industrial Electronics Handbook. Power electronics and motor drives. V. M. Wilamowski and J. D. Irwin edition. Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton, London, New York. USA, 2011, 974 p.

7. Кинев Е. С., Тяпин А. А., Пантелеев В. И., Первухин М. В., Литовченко А. В. Динамика параметрических ШИМ-моделей индукционных устройств. В кн.: Сборник материалов конференции «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем» (ДНДС-2021) 4 июня 2021. Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». С. 107-111.

8. Kinev E., Tyapin A., Pantelev V., Pervukhin M. Application of analog phase splitting in induction device simulation systems. The Scientific Heritage. 2021. № 65-1 (65). pp. 56-66.

9. Tyapin A. A., Pantelev V. I., Kinev E. S., Efimov S. N., Bezhitsky S. S. Binary control characteristics of resistive models of the induction devices. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1155, III International Scientific Conference: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering (MIP-III 2021) 29th-30th April 2021, Krasnoyarsk, Russian Federation. 1155 012044. <https://doi:10.1088/1757-899X/1155/1/012044>.

*Материал принят к публикации 12.10.21.*