

УДК 621.31

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997eeb74876.09423136

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДОМ ШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА IGBT-ИНВЕРТОРА ДЛЯ ДВУХФАЗНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ МАШИНЫ

Евгений Сергеевич Кинев¹, директор, доцент, к.т.н., Kinev_ES@ontecom.com

Алексей Андреевич Тяпин², аспирант, Mishinskaya_AS@tamerlan-krk.ru

Матвей Денисович Колодочкин², аспирант, matvyshakolodochkin@gmail.com

Василий Иванович Пантелеев², зав. кафедрой электроэнергетики, д.т.н., профессор, pvi0808@rambler.ru

¹ООО Тепловые электрические системы,

²Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

Аннотация. Рассмотрены задачи моделирования в среде Matlab режимов МГД-перемешивателя расплава алюминия в печах с учетом цеховой распределительной сети. Отмечено, что работа частотных инверторов системы электропитания резко осложняет электромагнитную обстановку в сети ограниченной мощности. Предложено применить комплекс моделей для оценки возможности снижения искажения токов сети, путём модификации алгоритмов управления выпрямителем, при сохранении стабильности шины постоянного тока преобразователя частоты.

Ключевые слова: IGBT-инвертор, индукционная машина, тиристорный выпрямитель, шина постоянного тока, распределительная сеть, высшие гармоники, электромагнитная совместимость.

MODELING A DC BUS CHARGE CONTROL SYSTEM IGBT INVERTER FOR TWO PHASE LINEAR INDUCTION MACHINE

E. S. Kinev¹, Director, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, Kinev_ES@ontecom.com

A. A. Tyapin², Postgraduate Student, Mishinskaya_AS@tamerlan-krk.ru

M. D. Kolodochkin², Postgraduate Student, matvyshakolodochkin@gmail.com

V. I. Panteleev², Head of the Department of Electric Power Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, pvi0808@rambler.ru

¹Thermal Electrical Systems LLC, ²Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

Abstract. The problems of modeling in the Matlab environment the modes of the MHD-stirring of aluminum melt in furnaces, taking into account the distribution network. It is noted that the operation of frequency inverters of the power supply system sharply complicates the electromagnetic environment in a network of limited power. It is proposed to apply a complex of models to assess the possibility of reducing the distortion of the network currents by modifying the rectifier control algorithms, while maintaining the stability of the DC bus of the frequency converter.

Keywords: IGBT inverter, induction machine, thyristor rectifier, DC bus, distribution network, harmonics, electromagnetic compatibility.

Большинство промышленных печей для плавления алюминия оснащают МГД-машинами для бесконтактного перемешивания расплава [1]. Источником питания линейной индукционной машины служит IGBT-инвертор [2]. В зависимости от вида индукционной машины применяют двухфазные, трехфазные или многофазные частотные преобразователи на самом краю низкочастотного диапазона, при токах 300-400 ампер и напряжениях 0,4 кВ [3]. Режимы работы преобразователей частоты с металлургическими машинами отличаются от частотного электропривода [4]. Естественный коэффициент мощности индукционной машины с разомкнутым магнитопроводом крайне мал (0,05), а нагрузка в большинстве случаев резко несимметричная [5]. Указанные особенности наряду с генерацией ШИМ-инвертором несинусоидальных токов в распределительную сеть ограниченной мощности, крайне осложняют электромагнитную обстановку в металлургическом цеху [6].

Пример схемной модели для исследования характеристик 300 кВА инвертора для двухфазной индукционной машины, мощностью около 45 кВт, показан на рис. 1. Трехфазный источник питания в первоначальной версии модели (слева), показан упрощенно [7, 8]. Через трехфазный измерительный модуль сетевое напряжение поступает на управляемое вентильное звено, задающее режим на шине постоянного тока. Дроссель и конденсаторная батарея служат неизменными атрибутами в структуре частотного преобразователя [9]. Для имитации аварийных режимов в модели предусмотрено наличие транзисторного модуля, управляемого из блока 1.

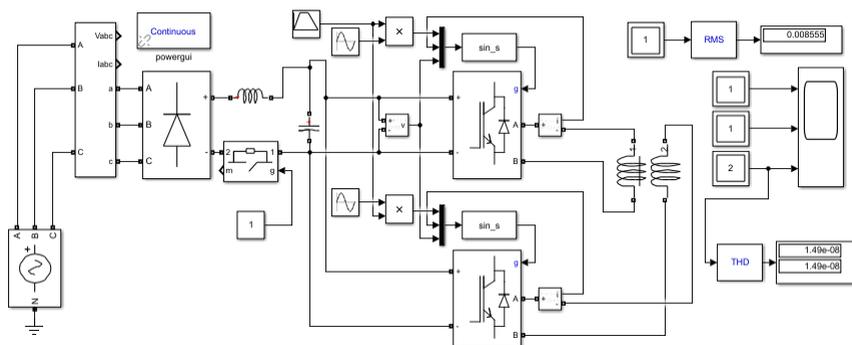


Рисунок 1 – Схемная модель индукционной машины с источником питания

Структура ШИМ-контроллера с IGBT-модулями и перекрестными связями отражена в центре схемной модели. К выходу силовых транзисторов подключены обмотки двухфазного индуктора, имеющие нелинейную магнитную связь через ферромагнитный сердечник [10]. Справа на рисунке показана компоновка измерительных блоков.

При построении комплекса моделей индукционных машин с ШИМ-инвертором в программном симуляторе Matlab, дополненным приложением Simulink, поставлена цель исследования и оптимизации режимов работы электроники, индукционного оборудования, а также режимов электропотребления [11, 12]. Сформулировано несколько задач, среди которых можно выделить наиболее важные. Сравнительный анализ эффективности двухфазных и трехфазных индукционных машин с одно- двух-уровневыми инверторами. Оценка генерации высших гармоник тока в распределительную сеть для разных алгоритмов контроллерного управления коммутацией вентилях выпрямителя. Анализ режимов входного управляемого выпрямителя при ускоренном заряде шины постоянного тока двухфазных и трехфазных инверторов. Анализ режимов выпрямителя и инвертора при резко несимметричной нагрузке. Анализ устойчивости узлов преобразователя в аварийных режимах. Для решения поставленных задач в программную среду интегрированы библиотеки Power System Blockset, Digital Signal Processing Blockset.

Для каждой задачи составлена программа численных экспериментов, результаты которых сопоставляются с результатами, получаемыми на физических моделях трехобмоточных и четырехзонных индукторов поперечного и продольного поля, установленных на лабораторном миксере, емкостью 150 кг алюминия в составе плавильно-литейного агрегата. Для оценки электромагнитной совместимости индукционного комплекса с источниками питания Веспер EI-7011 и PowerFlex 70 от Allen-Bradley и Rockwell Automation использовано программно-аппаратное оснащение METREL PowerView.

Первоочередной практический интерес представляет сравнение результатов исследования динамики входного выпрямителя при изменении характера и алгоритмов управления вентилями со стороны контроллера. Необходимо сопоставить влияние законов управления на стабильность шины постоянного тока (качество технологического режима), при максимально возможном снижении искажений сети. Дело в том, что эксплуатация нескольких ПЧ с металлургическими линейными машинами в цеховой распределительной сети, приводит к искажению токов свыше 50 %. Особенно существенно это при магистральной схеме подключения. Для алюминиевых кабельных линий такие токи чреваты увеличением искажения напряжений, значительно выше уровня 12-15 %, а также увеличением несимметрии свыше 14 % и импульсными помехами. Поэтому крайне актуальным представляется решение задачи снижения уровня высших гармоник, путём оптимизации режима коммутации вентилях и обеспечения электромагнитной совместимости. При невозможности снижения искажений применение МГД-перемешивателей на плавильные печи без реконструкции системы электроснабжения окажется невозможным.

Список литературы

1. Kinev E. S., Tyapin A. A., Panteleev V. I., Litovchenko A. V., Efimov S. N. and Molokov V. V. Energy and thrust characteristics of MHD inductors for stirring liquid aluminum. Camstech_2021, AIP - Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2021.
2. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Инверторное электропитание металлургических линейных индукционных МГД-машин. В книге: Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. 18–19 марта 2020. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – Т. 2. – с. 135-143.
3. 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
4. Tyapin A. A., Kinev E. S. Fundamentals of PWM Inverter Control Strategy of Linear Metallurgical MHD Machine. The scientific heritage. Budapest, 2020. No 51-1, Vol. 1. pp. 63-67. ISSN 9215-0365.
5. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Выбор схемы инвертора для линейной металлургической МГД-машины. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. № 3, 2020. с. 23-29. ISSN: 2074-9635.
6. 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.
7. Shaffer R. Fundamentals of Power Electronics with MATLAB. Charles River Media, Boston, Massachusetts. USA, 2007, 401 p. ISBN: 1-58450-852-3.
8. Tyapin Aleksey, Panteleev Vasilii and Kinev Evgeny. Mathematical models of non-sinusoidal power supply of a three-phase transverse field MHD inductor. E3S Web of Conferences. International scientific forum on computer and energy Sciences (WFCES 2021) May 20-21. Volume 270. Almaty, Kazakhstan, A.D. Nazarov (Ed.) p.13. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127001024>
9. Тяпин А. А., Кинев Е. С. IGBT-инвертор с биполярной синусоидальной ШИМ для двухфазной линейной МГД-машины // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. III Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 96-102. DOI: 10.30987/conferencearticle_5e028210dbc298.14572422.
10. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Двухфазная линейная индукционная МГД-машина трехзонной конструкции. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. № 7, 2019. с. 38-48. ISSN: 2074-9635.
11. 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.
12. The Industrial Electronics Handbook. Power electronics and motor drives. B. M. Wilamowski and J. D. Irwin edition. Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton, London, New York. USA, 2011, 974 p.

Материал принят к публикации 12.10.21.