

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТАНОВОК

Гасанов П. О.

Научный руководитель канд. техн. наук Непомнящий О. В.

Сибирский Федеральный Университет

Рассмотрен метод и алгоритм интегрированного моделирования преобразователя частоты для источника питания с несимметричной индуктивной нагрузкой. Предложенный метод основывается на моделировании электрической схемы преобразователя в программе MultiSim при управлении из среды разработки LabView. Полученные результаты моделирования позволили разработать алгоритм управления и лабораторный макет преобразователя частоты для систем электропитания магнетогидродинамических перемешивателей.

В мировой практике электромагнитное перемешивание жидкого металла при непрерывном литье стало неотъемлемой частью прогрессивных технологий в металлургии [1]. Основным узлом электромагнитного перемешивателя (МГД) является комплекс индукторов, расположенный на кристаллизаторе машин непрерывного литья заготовок, используемый для создания вращающегося магнитного поля.

При создании МГД-машин наибольшее внимание уделяют проектированию источников питания, поскольку для эффективной работы МГД-перемешивателей необходимо строго соблюдать определенные технические условия [2]. При этом необходимо обеспечивать частоты тока в пределах от 0.5 Гц до 6 Гц, то есть организовывать эффективное преобразование промышленных частот (50-60 Гц). Не менее важной является проблема компенсации реактивной мощности индуктора, обусловленная малым коэффициентом мощности нагрузки. Проведенные исследования в предметной области показали, что выпускаемые в настоящее время промышленностью источники питания не отвечают возрастающим требованиям по организации несимметричной индуктивной нагрузки [3].

С целью реализации источника питания отвечающего заданным критериям, авторами была создана модель и лабораторный макет преобразователя частоты, базирующегося на силовых полупроводниковых приборах с демпфирующими цепями, коммутирующими элементами, питаемая от трехфазной сети через выпрямитель и дроссель постоянного тока. В качестве нагрузки использовался колебательный контур МГД-перемешивателя. При схемотехническом моделировании разработанная модель была представлена в формате PSpice – в виде моделей означенных элементов.

Для исследования преобразователя частоты была построена принципиальная схема в профессиональной версии программы MultiSim компании National Instruments. Схема соответствует основным элементам стандартного современного преобразователя частоты, что позволяет произвести анализ взаимодействия источника питания и индуктора. Разработанная схема содержит следующие элементы: выпрямитель, сглаживающий фильтр, конденсатор для хранения реактивной энергии, инвертор и нагрузка.

Модель была построена с использованием технологии Co-simulation. Эта технология даёт возможность производить анализ принципиальной схемы, построенной в программе MultiSim из среды разработки LabView, позволяя изменять контролируемые сигналы IGBT «на лету», в процессе симуляции [4].

В данном случае, основной задачей моделирования является разработка алгоритма, наиболее полно отвечающего требованиям по разработке источника питания. Изначально был разработан базовый алгоритм управления IGBT модулями преобразователя частоты в LabView. При моделировании силовой части на каждом шаге модуляции в MultiSim полученные данные транслировались в LabView для их последующего анализа и выполнялась корректировка алгоритма.

Процесс моделирования состоит из следующих основных этапов:

- Ввод характеристик нагрузки. Задаются основные параметры нагрузки, такие как индуктивность и взаимоиндуктивность фаз индуктора, номинальная сила и сдвиг фаз тока, частота тока, номинальная активная мощность индуктора.
- Расчёт напряжения. Проводится расчёт формы напряжения, необходимой для получения необходимой формы силы тока на нагрузке.
- Генерация сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) по полученной форме напряжения.
- Процесс моделирования системы. Включает в себя циклическое задание полученных значений ШИМ в принципиальную схему ПЧ (MultiSim) с учётом времени моделирования и выполнение шага симуляции.
- Расчёт интегральных значений полученных форм напряжений и силы тока на каждой фазе индуктора.
- Вывод результатов.

Ключевым элементом моделирования является расчёт выходного напряжения инвертора. Так как МГД-перемешиватель является несимметричной индуктивной нагрузкой, то напряжение для каждой фазы должно рассчитываться отдельно, с учётом влияния взаимоиндуктивности. Не менее важной частью программы моделирования является выбор алгоритма генерации ШИМ, поскольку он будет влиять на наличие высших гармоник на выходе инвертора, что впоследствии скажется на качестве магнитного поля.

При рассмотрении полученных результатов моделирования основным является анализ переходных процессов (Transient analysis), в том числе особенностей включения преобразователя частоты. Для получения адекватных данных использовались контрольные точки в ключевых элементах силовой схемы, в том числе точки на входах преобразователя, а так же нулевые точки нагрузки, на входах IGBT ключей. Такой подход позволил обмениваться текущими значениями напряжения и силы тока между LabView и MultiSim, и построить графики изменения силы тока от времени работы устройства. При этом, используемые при разработке модели и программного обеспечения характеристики элементной базы полностью соответствовали требованиям нагрузки. Так, ёмкость конденсатора реактивной мощности позволила полностью компенсировать реактивную мощность нагрузки и была достаточной для обеспечения требуемого коэффициента. Коэффициент мощности нагрузки МГД-перемешивателей низкий (в пределах 0.2 по сравнению с асинхронными двигателями 0.75), поэтому ёмкость конденсатора была достаточно большой [5]. Кроме того, учитывались температурные параметры IGBT ключей, так как при длительной работе на низкой частоте температура ключа будет значительно выше обычных значений (в пределах 70 °С), что значительно уменьшает ресурс транзисторов и приводит к снижению времени наработки на отказ.

Выводы

Разработана модель и выполнено моделирование преобразователя частоты для источника электропитания МГД-перемешивателя. Полученная модель позволяет выполнять комплексный анализ различных алгоритмов управления преобразователями, совместную симуляцию и интегрированную оценку, а так же формировать данные для

анализа силы тока на выходе. В результате моделирования разработан алгоритм управления преобразователем частоты отвечающий заданным критериям.

На основании проведенных исследований осуществлен выбор алгоритма расчёта напряжения и алгоритма построения управляющих сигналов ШИМ, разработан лабораторный макет преобразователя и проведены лабораторные испытания макета.

При испытаниях выявлено, что для обеспечения запаса ресурса IGBT транзисторов при работе на низкой частоте необходимо использовать преобразователи частоты, рассчитанные на большую номинальную мощность чем нагрузка, при этом расхождения в результатах моделирования и лабораторного макета по выходному току не превышают 5%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сивак Б. А. МГД процессы при электромагнитном перемешивании жидкого металла в сортовых и блюмовых МНЛЗ / Б. А. Сивак, В. Г. Грачев, В. М. Паршин // *Металлург : науч.-технический и производственный журнал*. – 2009. – №8. – С. 39-46.
2. Магнитогидродинамические перемешиватели алюминиевых сплавов в миксерах и печах. [Электронный ресурс]: Сайт компании “НПЦ МГД”. – Режим доступа: <http://npcmgd.com/magnitogidrodinamicheskie-peremeshivateli-alyuminievyyih-splavov-v-mikserah-i-pechah.html>
3. Юшков А. В. Энергетически эффективные преобразователи частоты для двухчастотной индукционной тигельной плавки : дис. ... канд. техн. наук : 14.06.12 / Юшков Алексей Васильевич. – Томск, 2012. – 131с.
4. Introduction to Digital and Analog Co-simulation Between NI LabVIEW and NI Multisim. [Электронный ресурс]: Сайт компании “National Instruments”. – Режим доступа: <http://www.ni.com/white-paper/13663/en/>
5. Теория реактивной мощности. [Электронный ресурс]: Сайт компании ООО “Нюкон”. – Режим доступа: <http://www.nucon.ru/reactive-power/theory-of-reactive-power.php>