

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

15-16 декабря 2022 г.

**Новокузнецк
2022**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островляничик,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

ют, что при неизменных параметрах объекта регулирования, система с нечетким логическим регулятором имеет лучшие динамические показатели. Однако интервал времени переходного процесса у системы с нечетким регулятором больше почти в два раза. Вид переходного процесса нечеткого регулятора более предпочтителен, поскольку перерегулирование гораздо меньше, чем у ПИД-регулятора.

Библиографический список

1. Ю.И.Кудинов, А.Ю.Келина, И.Ю.Кудинов, А.Ф.Пашенко, Ф.Ф.Пашенко, Нечеткие модели и системы управления / Под ред. Ф.Ф.Пашенко, М: ЛЕНАНД, 2017. – 328с.
2. Zadeh L. A., Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics, SMC-3, 1973, pp. 28-44
3. Ю.М.Фролов. Управление электроприводом с применением нечеткой логики: учебное пособие для вузов / Ю.М.Фролов, Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 108с.

УДК 621.3.078.4

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ «ВРС-93-110М»

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, klevtsov1999@mail.ru, dima010@mail.ru

Аннотация. В статье разработана система векторного управления однодвигательного и многодвигательного электропривода. Выбраны и исследованы пути симметрирования нагрузок многодвигательной системы управления. Произведена оптимизация системы векторного управления для работы электропривода в режиме «Ведущий-ведомый». Построены переходные процессы частоты вращения, токов и электромагнитных моментов. Дана оценка работы системы многодвигательного электропривода при пуске, торможении, выходе в номинальный режим работы.

Ключевые слова: угольный вагоноопрокидыватель, многодвигательный электропривод, однодвигательный электропривод, электропривод, система векторного управления, модель, переходный процесс.

Abstract. The article develops a vector control system for single-motor and multi-motor electric drives. The ways of solving the uneven loads of a multi-motor control system are selected and investigated. The vector control system has been optimized for the operation of the electric drive in the «Master-slave» mode. Transients of rotational speed, currents and electromagnetic moments are constructed. The evaluation of the operation of the multi-motor electric drive system during start-up, braking, and entering the nominal operating mode is given.

Keywords: wagon tipper coal, multi-motor electric drive, single-motor electric drive, electric drive, vector control system, model, transition process.

Современным вагоноопрокидывателем роторного типа называется сложный механизм, предназначенный для разгрузки сыпучих материалов из открытых железнодорожных полувагонов.

Роторная конструкция представляет собой два ротора (кантователя) с люльками и общей платформой. Каждый ротор представляет собой металлоконструкцию, состоящую из двух дисков. Роторы вагоноопрокидывателя вращаются двумя приводами, соединенными между собой трансмиссионным валом. На дисках ротора закреплены зубчатые сектора, находящиеся в зацеплении с шестернями, приводимыми во вращение электродвигателями через редукторы.

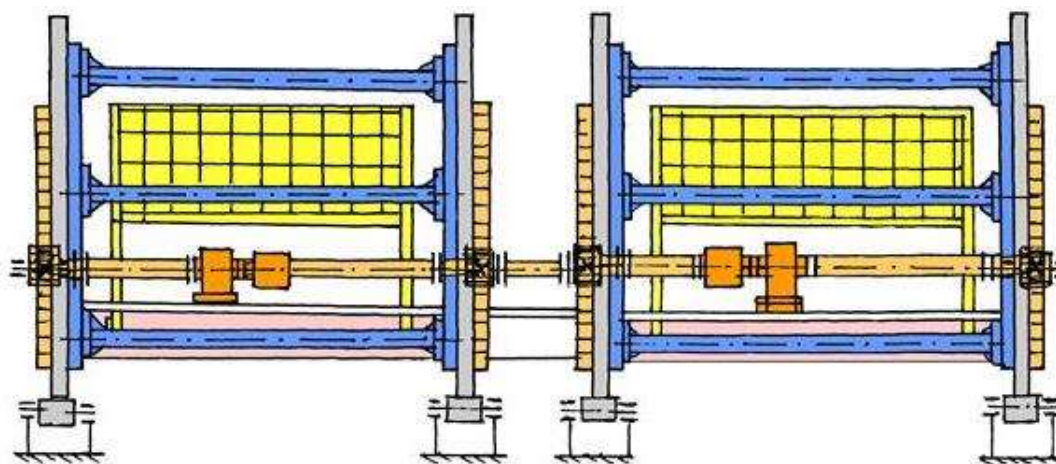


Рисунок 1 – Вагоноопрокидыватель роторного типа в поперечном разрезе

Данная конструкция роторного типа применяется в различных сферах производства. Система имеет ряд недостатков, способствующих увеличенному износу механизма кантования, уменьшению срока службы оборудования.

Во время цикла разгрузки полувагона на многодвигательную систему электропривода, зубчатые и шестеренные механизмы оказываются под различными нагрузками. Это связано с тем, что полувагоны имеют разную массу. В результате разности моментов система электропривода, работающая на общий вал, испытывает разные нагрузки, увеличивается вероятность «скручивания» конструкции вагоноопрокидывателя, заклинивание и выработка зубчатых и шестеренных механизмов. Один из электроприводов испытывает значительные перегрузки, что приводит к уменьшению срока эксплуатации, большим ударным нагрузкам на вал передающиеся на систему электропривода.

На рассматриваемом роторном вагоноопрокидывателе типа «ВРС-93-110М» используется нерегулируемый асинхронный электропривод 4МТН280-М10 с релейно-контакторной системой управления. Привод вращения роторной конструкции состоит из двух асинхронных электродвигателей с фазным ротором, мощностью 60 кВт каждый.

Система управления асинхронным многодвигательным электроприводом реализуема путем скалярного, либо векторного управления. Векторное управление асинхронными двигателями позволяет создавать регулируемые системы электропривода соответствующие необходимым требованиям по качеству регулирования, потому как скалярное управление обеспечивает только ограниченное регулирование скорости и момента асинхронного электродвигателя.

Значительные показатели статических и динамических характеристик достигаются при применении векторных систем управления. Разница векторного способа управления асинхронным электродвигателем заключается в том, что контролируется не только величина, но и пространственное положение векторов в определенный момент времени.

К основным преимуществам векторной системы управления относятся высокая точность регулирования скорости, быстрая реакция на изменение нагрузки, увеличенный диапазон управления и точность регулирования, плавность и быстрота управления основными параметрами электродвигателя. Чего лишена система скалярного управления.

Из всего вышесказанного можно поставить цель и ряд задач по исследованию электропривода.

Целью работы является исследование системы многодвигательного электропривода на каждом временном промежутке времени цикла работы вагоноопрокидывателя.

Основными задачами работы является разработка системы векторного управления электропривода позволяющая реализовать многодвигательный режим работы, исключая несимметричность загруженности системы электроприводов, произвести исследование

графиков переходных процессов нарастания скорости, моментов и токов статора системы.

Исследуем систему двухдвигательного электропривода угольного вагоноопрокидывателя, используя прикладной пакет Mat Lab Simulink.

Для проверки адекватности модели рассмотрим процесс работы асинхронного двигателя при запуске и выходе в номинальный режим работы. За основу взят крановый асинхронный короткозамкнутый двигатель серии МТКН 512-6 мощностью 55 кВт, работающий в повторно-кратковременном режиме.

Для исследования переходных процессов асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором была создана модель, имитирующая этот процесс в среде Mat Lab Simulink.

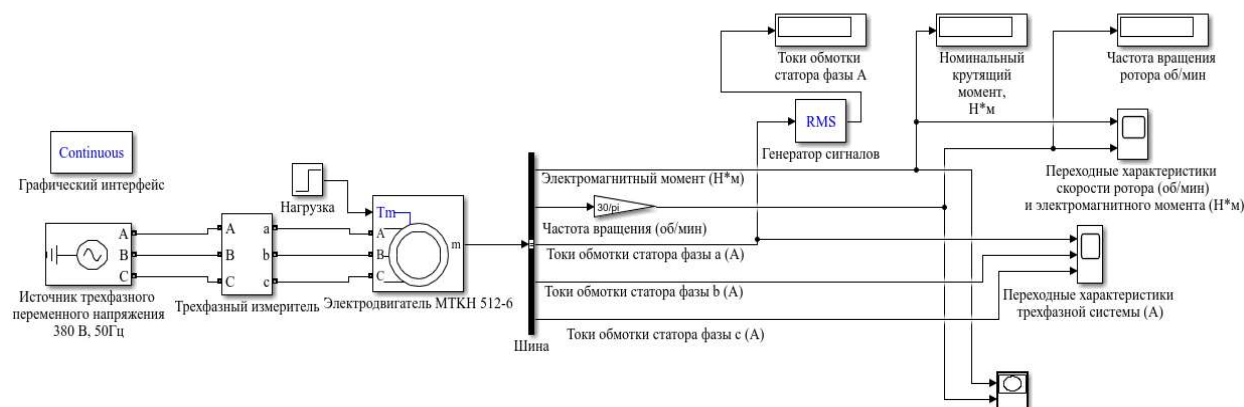


Рисунок 2 – Модель асинхронного электродвигателя МТКН 512-6

Для проверки адекватности модели на двигатель подаем нагрузку (механический крутящий момент) 568 Н·м. Результатом моделирования служат переходные характеристики электромагнитного момента, скорости и токов двигателя.

Осуществив имитацию запуска асинхронного электродвигателя, получаем следующие переходные характеристики электромагнитного момента и частоты вращения ротора.

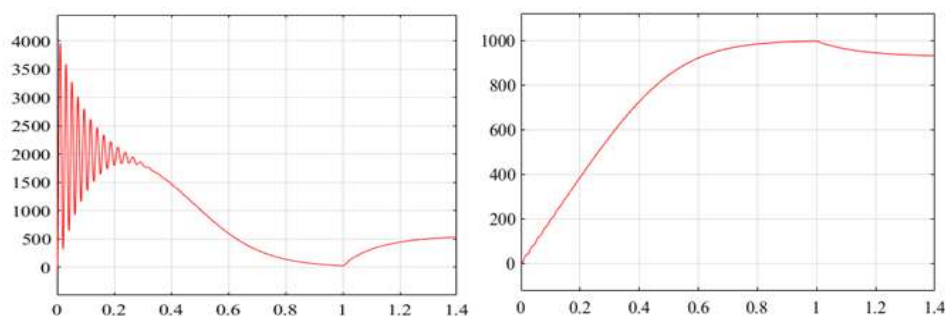


Рисунок 3 – График переходных процессов электромагнитного момента (Н·м) и частоты вращения ротора электродвигателя

Анализируя графики переходных процессов по рассчитанным и моделируемым параметрам электродвигателя можно сказать, что расчет параметров электродвигателя произведен, верно. На рисунке 3 видно, что двигатель разгоняется до номинальной скорости за 1 секунду со значительным перерегулированием и переходит в номинальный режим работы.

Рассчитаем значение перерегулирования по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{996,9 - 925}{925} \cdot 100 = 7,77 \%, \quad (1)$$

где $h_{\max} = 996,9$ об/мин – максимальная амплитуда отклонения;
 $h(\infty) = 925$ – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.

Значение перерегулирования не должно превышать $\pm 5\%$ от $h(\infty)$.

На рисунке 3 на первом временном отрезке от 0 до 1 сек. в начальный момент времени двигатель разгоняется под нагрузкой 568 Н·м, электромагнитный момент двигателя носит колебательный характер с амплитудным значением 3966 Н·м, что приводит к ухудшению пусковых свойств двигателя и является недостатком.

При увеличении частоты вращения, колебания момента двигателя затухают, интенсивность роста частоты вращения возрастает. В момент времени от 1 до 1,4 сек. происходит наброс нагрузки 568 Н·м, частота вращения достигает номинального значения 925 об/мин.

Получаем установившиеся номинальные значения электромагнитного момента, частоты вращения двигателя.

Структурная схема электропривода с векторной системой управления представлена на рисунке 4.

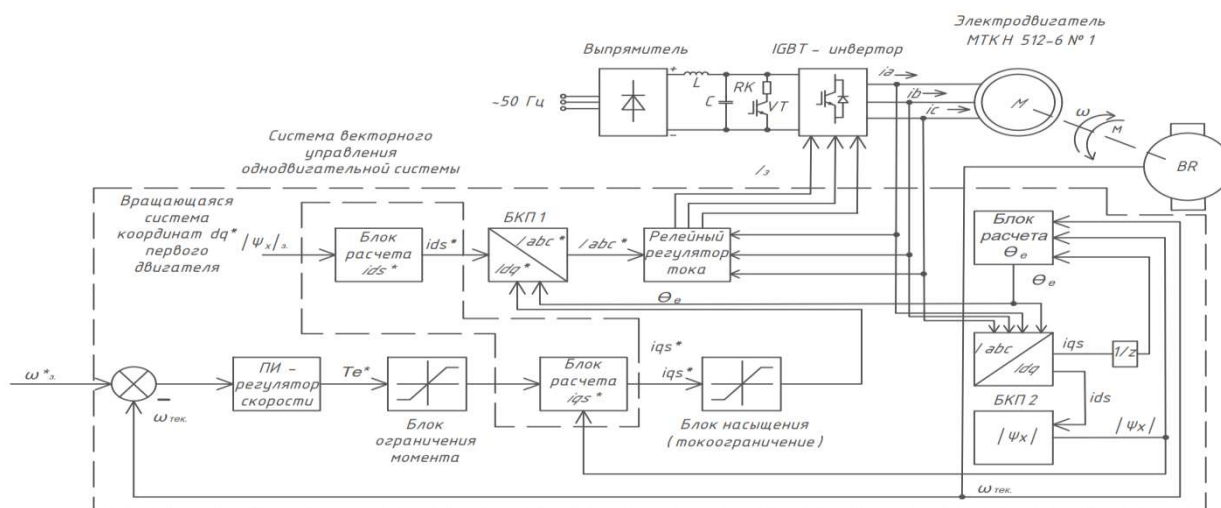


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления электроприводом с векторным управлением

Построим систему векторного управления однодвигательным асинхронным электроприводом серии МТКН 512-6.

На рисунке 5 представлена схема векторного управления однодвигательной системы. Блок «Система векторного управления» отвечает за векторное управление асинхронного двигателя, в нем настраивается регулятор скорости с помощью коэффициента усиления, интегральная составляющая и токоограничение. Также идет преобразование токов из координат I_q и I_d , в токи I_{abc} .

Асинхронный двигатель питается от управляемого током IGBT-инвертора, который работает как трехфазный источник синусоидального тока. Источник питания имеет постоянное напряжение 660 В.

Блок векторного управления «Система векторного управления», представленный на рисунке 6, включает в себя: регулятор скорости, регулятор тока, блоки расчета токов и потока, угла положения и преобразователи координат.



Рисунок 5 – Имитационная модель системы векторного управления однодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТКН 512-6

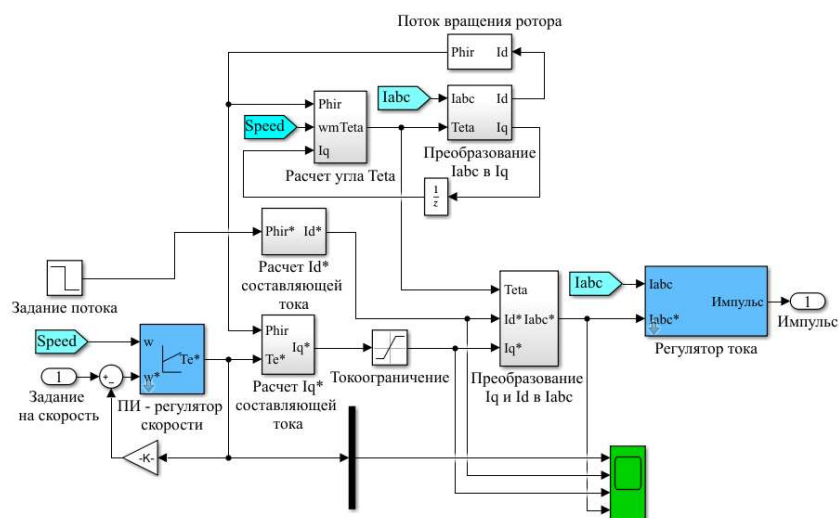


Рисунок 6 – Имитационная модель системы векторного управления однодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТКН 512-6

Результаты работы однодвигательной системы векторного управления электропривода приведены на рисунке 7.

На отрезке 0 – 0,5 с. происходит разгон электропривода, на рисунке 7 пусковой ток достигает амплитудного значения 800А. Происходит постепенное нарастание скорости.

На отрезке 0,5 – 1 с. по мере увеличения частоты вращения уменьшается амплитуда тока. Частота нарастает в два этапа, при достижении 725 об/мин за 0,8 с, далее переходит в номинальный режим.

На отрезке 1 – 2 с. происходит второй этап нарастания скорости при достижении 925 об/мин – номинальная частота работы двигателя. В 2 с. происходит нарастание нагрузки 568 Н·м, и привод переходит в рабочий режим.

Рассчитаем значение перерегулирования при скорости 725 об/мин по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{745,8 - 725}{725} \cdot 100 = 2,9 \%, \quad (2)$$

где $h_{\max} = 745,8$ – максимальная амплитуда отклонения;

$h(\infty) = 725$ – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.

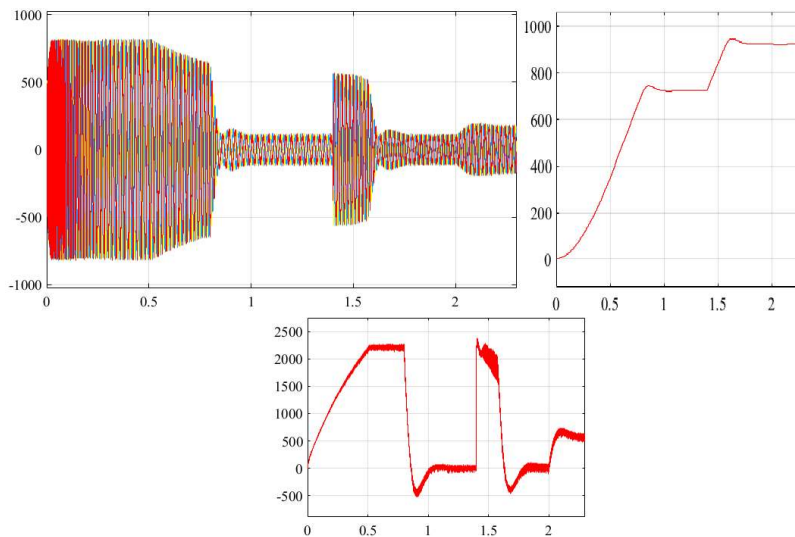


Рисунок 7 – График переходных процессов токов статора, частоты вращения ротора и электромагнитного момента электропривода

Рассчитаем значение перерегулирования при скорости 925 об/мин по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{944,9 - 925}{925} \cdot 100 = 2,2 \%, \quad (3)$$

где $h_{\max} = 944,9$ – максимальная амплитуда отклонения;

$h(\infty) = 925$ – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.

Анализируя данные переходные процессы можно сделать вывод, что запуск электропривода происходит плавно, перерегулирование в пределах нормы.

На рисунке 8 представлена модель двухдвигательного электропривода серии МТНК 512-6 с векторным способом управления и делением нагрузки методом «Ведущий-ведомый».

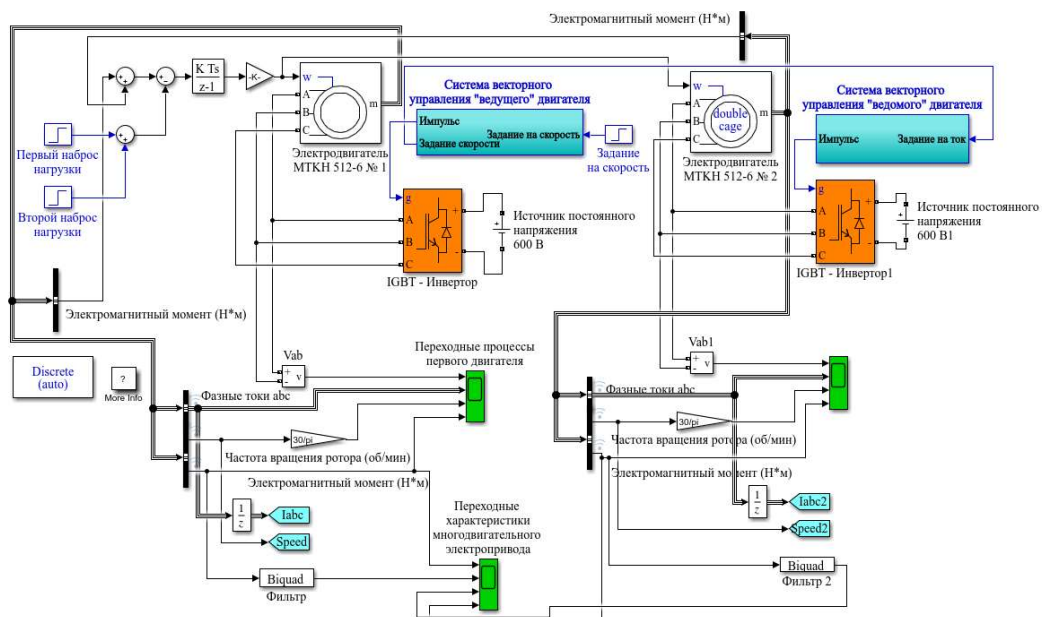


Рисунок 8 – Имитационная модель системы векторного управления многодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТНК 512-6

Модель реализована при помощи многодвигательного электропривода, каждый питается от источника постоянного напряжения 600 В через инвертор. Регулирование приводами происходит при помощи блока «Системы векторного управления «ведущего»/«ведомого» двигателя». Нагрузка на вал подается в два этапа. Симметрия нагрузок реализована методом «Ведущий-ведомый», путем введения в блок «Системы векторного управления «ведомого» двигателя» задания на скорость от первого.

На практике точно идеальных по параметрам электродвигателей невозможно изготовить. Требуется настройка системы управления каждого электропривода на симметрию.

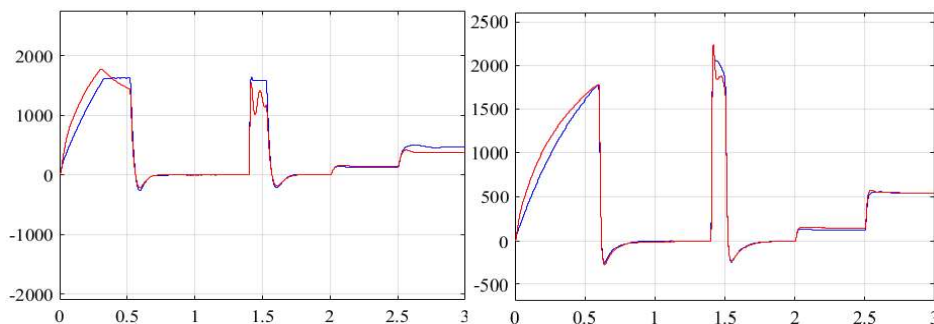


Рисунок 9 – Электромагнитный момент (Н·м) многодвигательного электропривода с различными параметрами сопротивлений в цепи ротора без выравнивания и с выравниванием нагрузки методом «Ведущий-ведомый»

На правом рисунке переходные процессы момента на всем протяжении одинаковые. Небольшое различие присутствует как раз из-за небольшой разницы в параметрах двигателей. Во время переходных процессов происходит наброс двух нагрузок, которые достигают своих номинальных значений при 268 и 568 Н·м.

При набросе нагрузок перерегулирование у обоих электродвигателей не превышает 5%.

Моменты выровнялись как в динамическом режиме, так и в статическом. Система электропривода работает устойчиво, без чрезмерных колебаний (<5%) при работе на один общий вал.

Исследованы механические и электромеханические характеристики электроприводов с разными параметрами активных и индуктивных сопротивлений, что имитирует разброс параметров реальных двигателей и можно сделать вывод, что их механические характеристики отличаются при одинаковой нагрузке.

В результате исследования проведена разработка системы управления двухдвигательного электропривода механизма кантования ротора угольного вагоноопрокидывателя серии «ВРС-93-110М» производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» КХП - УОЦ.

Принцип, реализуемый в данном исследовании настройки, позволяет обеспечить работу многодвигательного электропривода на общий вал с выравниванием нагрузки между ними. Предложенная схема регулируемого электропривода удовлетворяет техническим требованиям. За счет чего можно сказать, что проектируемый электропривод позволит произвести симметрирование нагрузок, повысить качество управления электроприводом, увеличить срок службы, надежность оборудования и механизмов.

Библиографический список

1. Металлургические подъемно-транспортные машины: [Учеб. для металлург. спец. вузов] / В. А. Кружков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1989. - 462 с.
2. Механическое оборудование фабрик для окускования железорудного сырья [Текст] / Э.В. Ловчиновский. - Москва: Металлургия, 1977. - 255 с.

3. Эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. Пособие для спец. «Электромеханика» вузов/ М.В. Антонов, Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец. – Москва: «Высшая школа» 1989. – 192 с.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – Москва: «Энергоатомиздат», 1983. – 616с.

УДК 621.314:621.311

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ГРУППОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК Y/Y_n-0 В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ.

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, mbedarev@yandex.ru; tehconsultant@mail.ru;
kipervasser2012@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается проблема асимметрии фазных напряжений в сетях 0,4 кВ при использовании силовых распределительных трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Y_n-0 при несимметричной нагрузке.

Ключевые слова: трансформатор, несимметрия, группа соединения обмоток, сопротивление нулевой последовательности, регистрация параметров.

Abstract. The problem of asymmetry of phase voltages in 0.4 kV networks is considered when using power distribution transformers with a Y/Y_n-0 winding connection group with an asymmetric load.

Keywords: transformer, unbalance, winding connection group, zero sequence resistance, parameter registration.

Силовые распределительные трансформаторы с группой соединения обмоток Y/Y_n-0 , нашедшие массовое применение с начала прошлого века по причине максимальной простоты и минимальной металлоемкости обмоток, в настоящее время по-прежнему используются в распределительных сетях 0,4 кВ.

Известно, что основными особенностями схемы Y/Y_n-0 , вызывающими проблемы при эксплуатации в распределительных сетях 0,4 кВ, являются большое сопротивление нулевой последовательности и повышенные нагрузочные потери при несимметричной нагрузке [1-3]. Определение параметров трансформаторных мощностей, в том числе схем соединения обмоток, в системах электроснабжения разного уровня является одной из обязательных процедур при их проектировании [4,5]. Во внутреннем документе основного электросетевого оператора в России ПАО «Россети» предписано преимущественное использование силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток Δ/Y_n или Y/Z_n , а схема Y/Y_n является допустимой при наличии соответствующего обоснования [6].

В действующих в настоящее время ГОСТ 11677-85 [7] и ГОСТ Р 52719-2007 [8] предписаны все три вышеупомянутые схемы, но схема Y/Y_n-0 стоит по очереди первой. В тоже время в ГОСТ Р 52719-2007 ток нулевого вывода обмотки НН ограничен 25% от номинального фазного тока.

Таким образом, в настоящее время государственными стандартами для распределительных силовых трансформаторов по-прежнему в качестве основной предписывается схема соединения обмоток Y/Y_n-0 . При этом проблемы большого сопротивления нулевой последовательности и повышенных нагрузочных потерь при несимметричной нагрузке остаются нерешёнными.

С целью исследования вопросов, связанных с работой трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y_n , питающих несимметричную нагрузку, был выполнен анализ работы трансформатора ТМГ-10/0,4 кВ мощностью 100 кВА производства ОАО «Алт-транс», установленном в комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Для регистрации электрических параметров работы трансформатора использовался измеритель

Тарасенко А.А.

Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов 547

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними 551

СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника

Стищенко К.П., Кипервассер М.В.

Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта 555

Федоров В.В.

Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике 559

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» 564

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. 571

Мезенцева А.В.

Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Линейные модели систем в пространстве состояний 578

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции 586

Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмагбеков А.К.

Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой 599

Бабушкин С.В., Кубарев В.А.

Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» 605

Колчагов П.О., Борицинский М.Ю.

Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608

Рогожников И.П.

Технология подготовки печатных плат к производству..... 612

Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.

Физическая модель ШПУ с микропроцессорной системой управления	616
СПИСОК АВТОРОВ.....	620
СОДЕРЖАНИЕ	623

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**
(с международным участием)

15-16 декабря 2022 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж ____ экз. Заказ ____.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Издательский центр СибГИУ