

УДК 621.31

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КЛЕТЕВОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ РУДНИКА ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Петрова М.Н., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном, Мирный, e-mail: sunlu@mail.ru

Данная научная статья посвящена вопросам выбора оптимальной системы электропривода клетевой подъемной установки подземного рудника по добыче алмазосодержащих пород путем математического моделирования режимов работы двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в пакете программ MatLab. Приводится описание пакета программ MatLab, в котором производится моделирование режимов работы двигателя. Описаны компоненты пакета программ позволяющие моделировать сложные электро-механические системы, одними из которых являются приложения Simulink и SimPowerSystem. Выбран тип и марка двигателя постоянного тока по справочной литературе. Рассчитаны параметры двигателя, необходимые для моделирования. Для расчетов параметров двигателя использовалась методика профессора Черных И.В. Произведено моделирование двигателя постоянного тока с системой управления «Управляемый выпрямитель – Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением». Получены результаты в виде графиков зависимостей исследуемых величин от времени моделирования. Сделаны выводы и заключения по результатам расчета и моделирования, произведено сравнение с существующими данными.

Ключевые слова: MatLab, Simulink, SimPowerSystem, моделирование, режимы работы, электропривод, двигатель постоянного тока, система управления, скорость вращения, электромагнитный момент, ток

SELECTING THE OPTIMAL ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF A MILL UP LIFTING INSTALLATION BY MODELING

Petrova M.N., Kugusheva N.N., Khoubieva V.M.

Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Mirny, e-mail: sunlu@mail.ru

This scientific article is devoted to the selection of an optimal electric drive system for a cage lifting installation of an underground mine for the extraction of diamond-bearing rocks by mathematical modeling of the operating conditions of a DC motor with independent excitation in the MatLab software package. A description of the MatLab software package is presented, in which the simulation of the engine operation modes is performed. The components of the software package are described that allow you to model complex electromechanical systems, one of which are Simulink and SimPowerSystem applications. The type and brand of DC motor is selected according to the reference literature. The engine parameters necessary for modeling are calculated. For calculating engine parameters, the technique of Professor Chernykh IV was used. The DC motor was modeled with the control system "Controlled rectifier - DC motor with independent excitation". The results are obtained in the form of graphs of the dependencies of the investigated quantities on the simulation time. Conclusions and conclusions on the results of calculation and modeling are made, compared with existing data.

Keywords: MatLab, Simulink, SimPowerSystem, simulation, operating modes, electric drive, DC motor, control system, rotation speed, electromagnetic moment, current

MATLAB – одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций. Возможности MATLAB весьма обширны, а по скорости выполнения задач система нередко превосходит своих конкурентов. Она применима для расчетов практически в любой области науки и техники. Например, очень широко используется при математическом моделировании механических устройств и систем, в частности в динамике, гидродинамике, аэродинамике, акустике, энергетике и т.д. Этому способствует не только расширенный набор матричных и иных операций и функций, но и наличие

пакета расширения Simulink, специально предназначенного для решения задач блочного моделирования динамических систем и устройств, а также десятков других пакетов расширений [1-4].

Simulink поступает к пользователям с более 100 встроенными блоками, в состав которых входят наиболее необходимые функции моделирования. Блоки сгруппированы в библиотеки в соответствии с их назначением: источники сигнала, приемники, дискретные, непрерывные, нелинейные, математика, функции и таблицы, сигналы и системы. В дополнение к обширному набору встроенных блоков Simulink имеет расширяемую библиотеку блоков благодаря функции создания пользовательских блоков и библиотек [5-7].

SimPowerSystems – пакет моделирования мощных энергетических (в основном электротехнических) систем, таких как линии передачи, силовые ключи, регуляторы напряжения и тока, устройства управления электродвигателями различного типа и нагревательными системами. Этот пакет обеспечивает моделирование широкого спектра энергетических систем и устройств - начиная с анализа простейших электрических цепей и кончая моделированием сложных преобразовательных устройств и даже целых электрических систем. Результаты моделирования отображаются разнообразными виртуальными измерительными приборами, такими как графопостроители, осциллографы и др. О моделировании различных электромеханических систем и систем электропитания в приложении SimPowerSystems подробно рассказано в [8-18].

Целью моделирования является построение характеристик зависимости момента и угловой скорости вращения электродвигателя от времени при пуске, а также определение перерегулирования, разрегулирования и времени переходного процесса. Перед началом моделирования приведем справочные данные выбранного двигателя клетевой подъемной установки П2Ш-800-253-7КУХЛ4.

Таблица 1
Справочные данные двигателя

Наименование параметра	Значение
Мощность P_H	2800 кВт
Напряжение якоря $U_{Я}$	570 В
Ток якоря $I_{Я}$	5355 А
Напряжение обмотки возбуждения $U_{ОВ}$	220 В
Ток обмотки возбуждения $I_{ОВ}$	178 А
Номинальный момент M_H	515 кН*м
Номинальная скорость вращения n_H	53,5 об/мин
Число пар полюсов 2_p	16
Отношение максимального тока к номинальному $I_{МАХ}/I_H$	2,25

Для моделирования двигателя произведем расчет недостающих обмоточных данных по методике профессора И.В. Черных. Подробный вывод формул и расчеты силовой части ДПТ представлены в [19-20].

1. Сопротивление обмотки якоря:

$$R_{Я} = \frac{U_{Я}}{I_{Я}} = \frac{570}{5355} = 0,106 \text{ Ом}$$

2. Сопротивление обмотки возбуждения:

$$R_{ОВ} = \frac{U_{ОВ}}{I_{ОВ}} = \frac{220}{178} = 1,236 \text{ Ом}$$

3. Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_H = \frac{2\pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 53,5}{60} = 5,6 \text{ рад/с}$$

4. Номинальный момент:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{2800 \cdot 10^3}{5,6} = 500 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

5. Индуктивность обмотки якоря:

$$L_{Я} = 2,5 \cdot \frac{U_{Я}}{I_{Я} \cdot n_H \cdot 2p} = 2,5 \cdot \frac{570}{5355 \cdot 53,5 \cdot 16} = 0,00031 \text{ Гн}$$

6. Индуктивность обмотки возбуждения:

$$L_{ОВ} = 5 \cdot \frac{L_{Я} \cdot R_{ОВ}}{R_{Я}} = 5 \cdot \frac{0,00031 \cdot 1,236}{0,106} = 0,018 \text{ Гн}$$

7. Взаимоиндукция цепи намагничивания:

$$L_M = \frac{M_H}{I_{Я} \cdot I_{ОВ}} = \frac{500000}{5355 \cdot 178} = 0,525 \text{ Гн}$$

8. Момент инерции двигателя:

$$J = 5 \cdot \frac{L_{Я} \cdot P_H^2}{R_{Я}^2 \cdot \omega_H^2 \cdot I_{Я}^2} = 5 \cdot \frac{0,00031 \cdot (2800 \cdot 10^3)^2}{0,106^2 \cdot 5,6^2 \cdot 5355^2} = 1203 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

В работе описывается модель (электро-механическая система) двигателя постоянного тока с системой управления «Управляемый выпрямитель – Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» (УВ – ДПТ НВ). Реализация разработанной математической модели осуществлялась с помощью пакета программ MatLab (приложение SimPowerSystems), а точнее модель собирается по блокам из библиотеки программы.

Модель состоит из источника питания переменного напряжения, блока управления скоростью, блока системы УВ-ДПТНВ, измерителя параметров двигателя и осциллографа для графического отображения результатов моделирования.



Рис. 1. Структура модели УВ-ДПТНВ

Для моделирования работы двигателя необходимо внести рассчитанные параме-

тры двигателя в соответствующие графы окна блока системы УВ-ДПТНВ. Вносим параметры сопротивления и индуктивностей обмоток якоря и возбуждения, а также индуктивность цепи намагничивания и момент инерции.

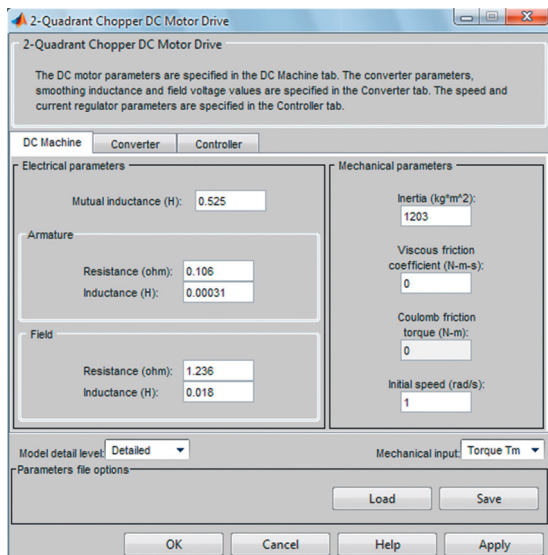


Рис. 2. Окно задания параметров двигателя

Далее рассмотрим структуру самой модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при питании от двух управляемых выпрямителей. Модель можно условно разделить на три части: часть управления, силовая часть и сам двигатель постоянного тока. Часть управления состоит из контроллера скорости, контроллера тока и регулятора. Силовая часть состоит блока управления выпрямителями, двух управляемых выпрямителей и сумматора потоков на базе катушек. Двигатель постоянного тока имеет независимое питание обмотки возбуждения от источника постоянного напряжения 220 В. Блок задания скорости двигателя представлен через функцию времени, что позволяет осуществить вариации значения скорости в любых пределах. Далее переходим к получению результатов моделирования. В окне задания параметров блока двигателя вводим полученные значения сопротивлений и индуктивностей обмоток якоря и возбуждения, а также индуктивность цепи намагничивания и момент инерции. Далее вводим параметры в остальные блоки модели.

Исследованию подлежат три основных режима работы двигателя: пуск, работа на номинальной скорости, торможение. Также рассмотрим дополнительный режим понижения скорости двигателя для получения

пятиступенчатой диаграммы подъемных установок.

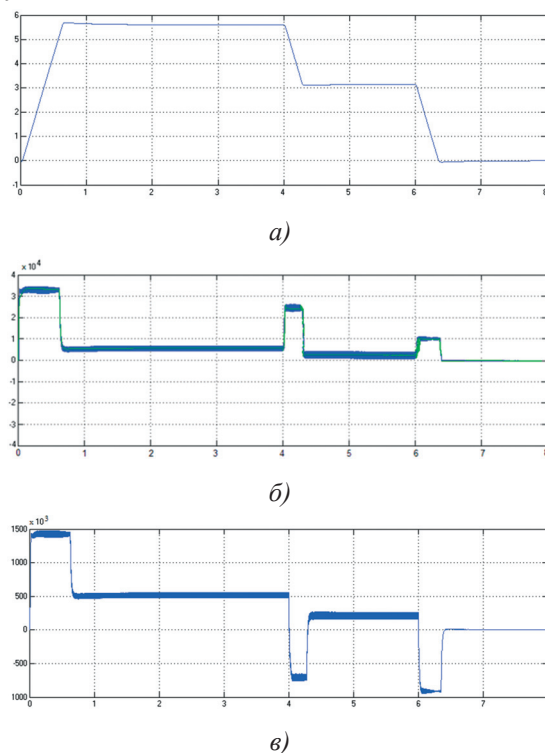


Рис. 3. Результаты моделирования ДПТ НВ с управляемыми выпрямителями: а) частота вращения; б) ток якоря; в) электромагнитный момент

Первый график показывает нам параметры частоты вращения двигателя (в рад/с) в зависимости от времени моделирования. Из графика видно, что время пуска двигателя составляет 0,7 секунды, затем скорость двигателя выходит на свое номинальное значение 5,6 рад/с. После 4 секунд работы происходит понижение скорости и двигатель работает некоторое время на пониженной скорости, что соответствует участку входа подъемной установки в направляющие перед торможением. И в конце моделирования на участке 6 секунд происходит торможение двигателя, которое длится 0,5 секунды, что приводит к остановке двигателя.

На втором графике мы видим, что при пуске двигателя ток достигает значения 32 кА, что намного превышает расчетное максимальное значение равное 13,4 кА и граничит с током короткого замыкания. Номинальное значение тока при наборе скорости своей номинальной частоты составляет 5,4 кА, что удовлетворяет требованиям. При выходе скорости в пониженный режим величина тока тоже понижается и составляет 2,8 кА.

Третий график отображает зависимость электромагнитного момента двигателя от

времени моделирования. При пуске пусковой момент составляет 1380 кН*м, что значительно меньше, чем при реостатном пуске и превышает номинальный момент всего в 2,8 раза и является допустимым. Рабочее значение момента составляет 500 кН*м, что совпадает с расчетным значением.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что система управляемый выпрямитель – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (УВ – ДПТ НВ) более предпочтительна для подъемной установки [21-23]. Погрешность рассчитанных и справочных данных от промоделированных значений по всем параметрам не превышает 5% и чаще вообще отсутствует, что говорит о качестве собранной модели и верно рассчитанных параметрах.

Список литературы

1. Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н. Применение программ математического моделирования при изучении дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов у технических специальностей // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 840.
2. Петрова М.Н., Семёнов А.С. Математическое моделирование переходных процессов в электромеханических системах // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 312-314.
3. Семёнов А.С. Преподавание учебных дисциплин у специальностей «Электроснабжение» и «Электромеханика» с использованием программы MATLAB // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 232-236.
4. Семенов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Матул Г.А. Внедрение пакета программ MATLAB в учебную и научную работу студентов технических специальностей // Естественные и технические науки. 2014. № 3 (71). С. 165-171.
5. Семенов А.С. Основы моделирования электротехнических и электромеханических систем / методические указания. – М.: «Перо», 2016 – 48 с.
6. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода / методические указания. – М., 2012. – 60 с.
7. Семёнов А.С. Программа MATLAB / методические указания. – М., 2012. – 40 с.
8. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. Анализ энергоэффективности системы электропривода центробежного насоса при помощи моделирования в программе MATLAB // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 341-342.
9. Семёнов А.С. Исследование режимов работы однофазного трансформатора путем математического моделирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5-3. С. 391-395.
10. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя в пакете программ MATLAB // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2014. Т. 11. № 1. С. 51-59.
11. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя при прямом пуске и с преобразованием частоты в пакете программ MATLAB // Естественные и технические науки. 2013. № 4 (66). С. 296-298.
12. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГРАТ-4000 // Наука в центральной России. 2012. № 2S. С. 23-27.
13. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы системы электроснабжения насосной станции // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 314-319.
14. Семёнов А.С. Разработка системы электроснабжения добычного участка подземного рудника // Мир современной науки. 2013. № 1 (16). С. 12-15.
15. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы частотно-регулируемого электропривода вентиляторной установки главного проветривания применительно к подземному руднику по добыче алмазосодержащих пород // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-5. С. 1066-1070.
16. Семёнов А.С., Рушкин Е.И. Моделирование электродвигателя привода рабочего органа комбайна АМ-105 / сборник докладов // Наука и инновационные разработки – Северу. 2014. С. 195-199.
17. Семёнов А.С., Хазиев Р.Р. Выбор электродвигателя проходческого комбайна путём математического моделирования // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 5-5. С. 694-698.
18. Шипулин В.С., Семёнов А.С. Моделирование режимов работы системы электроснабжения добычного участка подземного рудника // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 344-347.
19. Семёнов А.С. Моделирование реостатного пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-2. С. 29-34.
20. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Петрова М.Н. Математическое моделирование режимов работы двигателя постоянного тока в среде MATLAB // Фундаментальные исследования. 2015. № 10-3. С. 523-528.
21. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Кугушева Н.Н. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий / монография. – М.: «Перо», 2015. – 100 с.
22. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования / монография. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. – 102 с.
23. Хубиева В.М., Петрова М.Н., Семёнов А.С. Проектирование электропривода подборщика путем моделирования / методические указания. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2015 – 96с.