

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE CONTROL OF SERVICEABILITY OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF UNDERGROUND MINING MACHINES

G.I. Babokin, D.M. Shprekher

Classification of parameters of control of capacity of the electromechanics systems (EMS) is worked out. Criteria are offered estimations of dynamic quality of parameters, qualificatory their belonging to one or another group of signs. The parameters of control of capacity of basic elements are set EMS underground mountain machines in accordance with the offered classification.

Key words: electromechanics system, control of capacity, criterion of dynamic quality.

Babokin Gennady Ivanovich, doctor of technical science, professor, manager of department, gibabokin@yandex.ru, Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev,

Shprekher Dmitry Markovich, candidate of technical science, docent, shprekherd@yandex.ru, Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev

УДК 62-523.2

ПРЯМОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МЕХАНИЗМЕ ПОДЪЕМА КОЗЛОВОГО КРАНА

М.А. Шурлепов

Рассмотрено преимущество применения электропривода с системой прямого управления моментом в качестве составляющей механизма подъема козлового крана. В качестве лабораторной установки использована математическая модель электропривода, реализованная в пакете Simulink программы Matlab. Приведены результаты моделирования данной системы под изменяемой по времени и величине нагрузкой, соответствующей полному циклу работы козлового крана, а также с учетом ограничения угловой скорости на валу ротора двигателя согласно режимам работы.

Ключевые слова: козловой кран, механизм подъема, прямое управление моментом, электропривод, моделирование, нагрузка.

Электропривод с системой DTC (DirectTorqueControl) отработывает стопроцентный скачок задания момента за 1 – 2 мс, обеспечивает регулирование момента при низких частотах вращения, включая и нулевую, а также обеспечивает точность поддержания скорости на уровне 10% скольжения асинхронного двигателя без использования датчика скорости и 0,01% с использованием датчика скорости[2].

Характерными признаками системы DTC являются:

наличие в системе релейных гистерезисных регуляторов магнитного потока статора и электромагнитного момента двигателя;

наличие в системе электронной модели двигателя для вычисления ненаблюдаемых координат (потокосцепления статора двигателя, электромагнитного момента двигателя, а также частоты вращения ротора двигателя для бездатчиковых систем;

наличие табличного (матричного) вычислителя оптимального вектора напряжения преобразователя частоты;

наличие идентификатора фазового сектора, в котором в текущий момент времени находится вектор потокосцепления статора;

отсутствие в системе преобразователей координат;

отсутствие в явно выраженной форме регуляторов составляющих тока статора двигателя;

отсутствие широтно-импульсной модуляции выходного напряжения преобразователя частоты [5].

Описание рабочей модели. Рабочая модель электропривода подъёма козлового крана с прямым управлением моментом представлена на рис. 1.

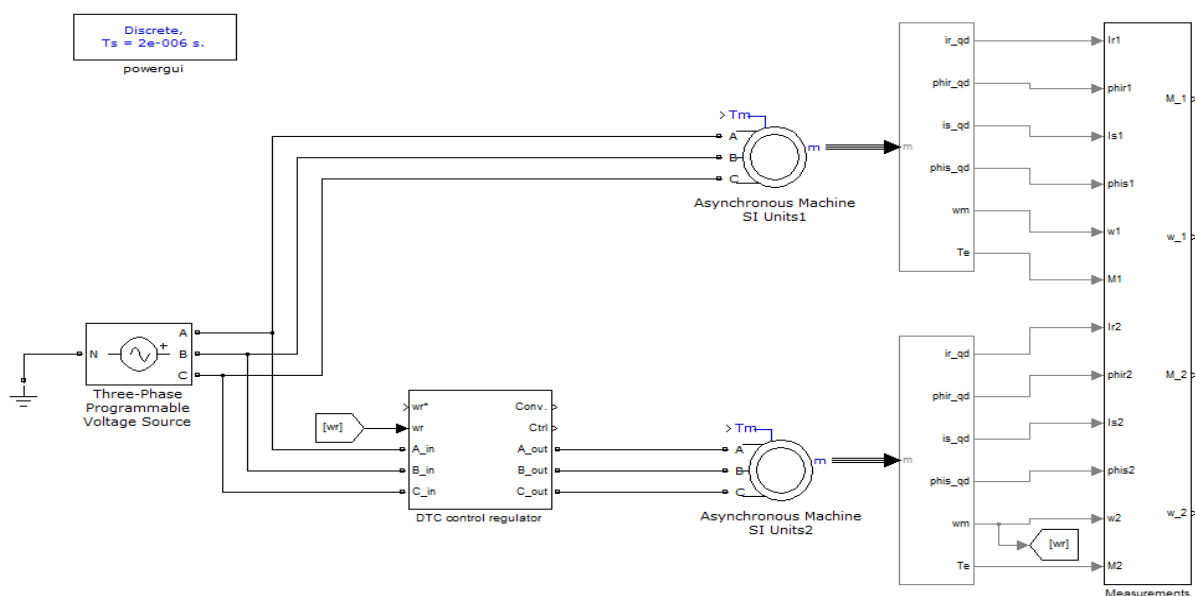


Рис. 1. Рабочая модель электропривода с DTC и при прямом пуске двигателя

Она состоит из источника трехфазного переменного тока, модели двигателя МТКН 512–8, собственно самой системы управления (DTC) и подсистем, созданных для снятия выходных параметров. Стоит отметить что к источнику питания подключен не один, а два одинаковых двигателя. Первый подключен напрямую к источнику, а второй через систему управления. Это сделано для наглядности при снятии и сравнении показаний ха-

рактических характеристик в процессе моделирования. Все характеристики выведены в таблицы окна workspace программы Matlab.

Принцип работы и описание блока DTC. Наибольший интерес в модели представляет собой блок DTCcontrolregulator. Как и любая другая модель системы прямого управления моментом, он включает в себя диодный выпрямитель (Three-phasedioderectifier) для работы инвертора (Three-phaseinverter), который в свою очередь и генерирует трех фазное напряжение питания асинхронного двигателя по управляющему сигналу. Самыми важными блоками системы являются блок управления скоростью (Speed-Controller) и блок задания управляющего для инвертора сигнала (DTC). Также в модели присутствует блок измерения напряжения и токов на обмотках статора двигателя. Он необходим для математического расчета действующих величин момента и угловой скорости вращения ротора двигателя. Соответственно можно сказать что отсутствие необходимости наличия механических измерителей этих параметров на валу реального двигателя является одним из важных преимуществ данной системы управления по сравнению с другими, так как повышает простоту и надежность механизма.

Схема блока прямого управления моментом представлена на рис. 2.

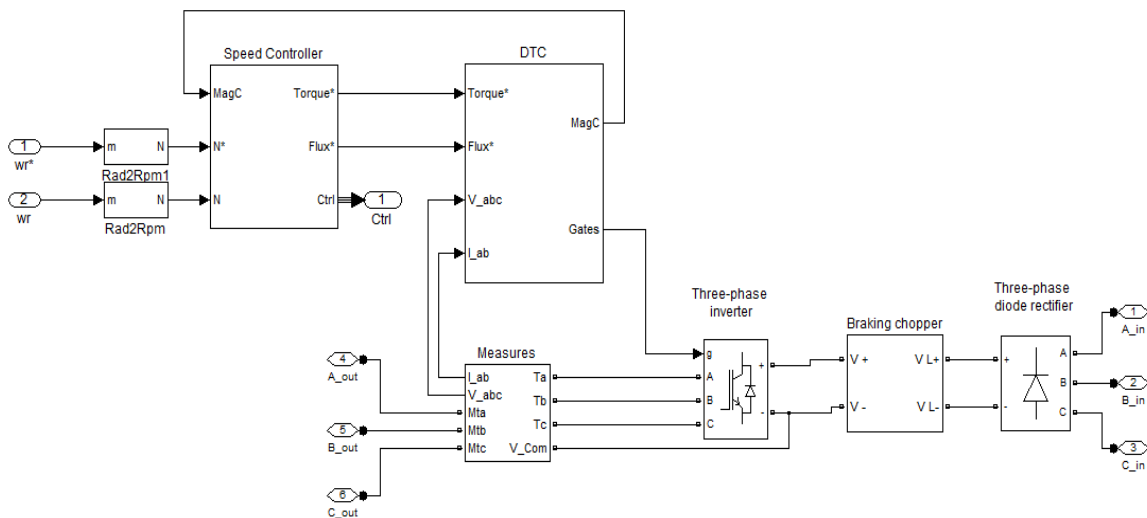


Рис. 2. Схема блока прямого управления моментом

В основу работы системы DTC положено уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$M = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} |\psi_1 \times \psi_2| = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} \psi_1 \psi_2 \sin \theta$$

где θ – пространственный угол между векторами потокоцеплений статора ψ_1 и ротора ψ_2 . Если модули векторов $|\psi_1| = \psi_{1m}$ и $|\psi_2| = \psi_{2m}$ поддерживать постоянными, то величиной момента можно управлять, изменяя угол θ .

Алгоритм работы системы DTC строится следующим образом.

Вначале по действующим значениям напряжения и тока в обмотках статора двигателя определяются вектор потокосцепления статора ψ_1 и электромагнитный момент АД М. Затем модуль вектора и момент сравниваются с заданными значениями, при помощи расчета желаемых значений момента и потокосцепления ротора двигателя на основе сравнения и интегрирования действующего и желаемого значений угловой скорости ротора, после чего с помощью компараторов, называемых релейными регуляторами, формируются логические сигналы ошибки $d\psi$ и dm .

На основании этих сигналов и зная положение вектора потокосцепления на плоскости базовых векторов можно выбрать такую комбинацию состояний ключей инвертора, при которой будет сформирован базовый вектор напряжения минимизирующий отклонение от заданных значений. Таким образом, в результате работы системы модуль потокосцепления статора и электромагнитный момент АД будут постоянно находиться в зоне допустимого отклонения от заданного значения, определяемого величиной гистерезиса соответствующего регулятора. Выбор базового вектора минимизирующего ошибку регулируемых величин в зависимости от сектора, в котором в данный момент находится вектор ψ_1 , производят с помощью переключающей таблицы. Переключающая таблица состоит из оцифрованных сигналов рассогласования по потоку (1;0) и моменту (1;0;-1) и информации, в каком секторе системы координат, связанной со статором, находится вектор потока статора асинхронного двигателя. С помощью переключающей таблицы выбирается оптимальный выходной вектор напряжения, который нужно подать на статорные обмотки асинхронного двигателя, чтобы обеспечить минимальное отклонение регулируемых величин от заданных значений [3].

Выбор оптимального вектора напряжения производится из восьми возможных базовых векторов напряжения. Основной задачей, от решения которой зависит работоспособность системы прямого управления моментом, является идентификация потокосцепления статора, т.к. эта величина используется во всех последующих вычислениях. Она определяется интегрированием, а эта операция в принципе приводит к накоплению ошибки. В данном случае источником появления ошибки является неточность определения активного сопротивления статора r_1 и его изменение под влиянием нагрева в процессе работы АД.

Метод не избавлен от серьезного недостатка: при малых нагрузках возникают пульсации момента и колебания скорости ротора.

Запуск электропривода с прямым управлением моментом под нагрузкой. Работа электропривода с прямым управлением моментом будет осуществляться под нагрузкой, которую составит сигнал, заданный на основе реально существующей нагрузочной диаграммы для выбранного в ходе исследования двигателя и реализованный блоком SignalBuilder пакета Simulink. Сигнал, который будет подаваться в качестве нагрузки представ-

лен на рис. 3.

Кроме этого входной сигнал желаемой скорости, который подается на блок управления ДТС будет не постоянным, а изменяющимся во времени. Это сделано чтобы смоделировать процессы подъема и опускания крюковой подвески с грузом и без него. Так как скорость вращения барабана реально существующего механизма подъема крана не должна превышать $w=4$ рад/с и приняв передаточное число редуктора между барабаном и ротором двигателя $i_{ред}=10$, то максимальная скорость вращения ротора двигателя должна быть:

Также во время моделирования стоит учесть время разгона и торможения двигателя.

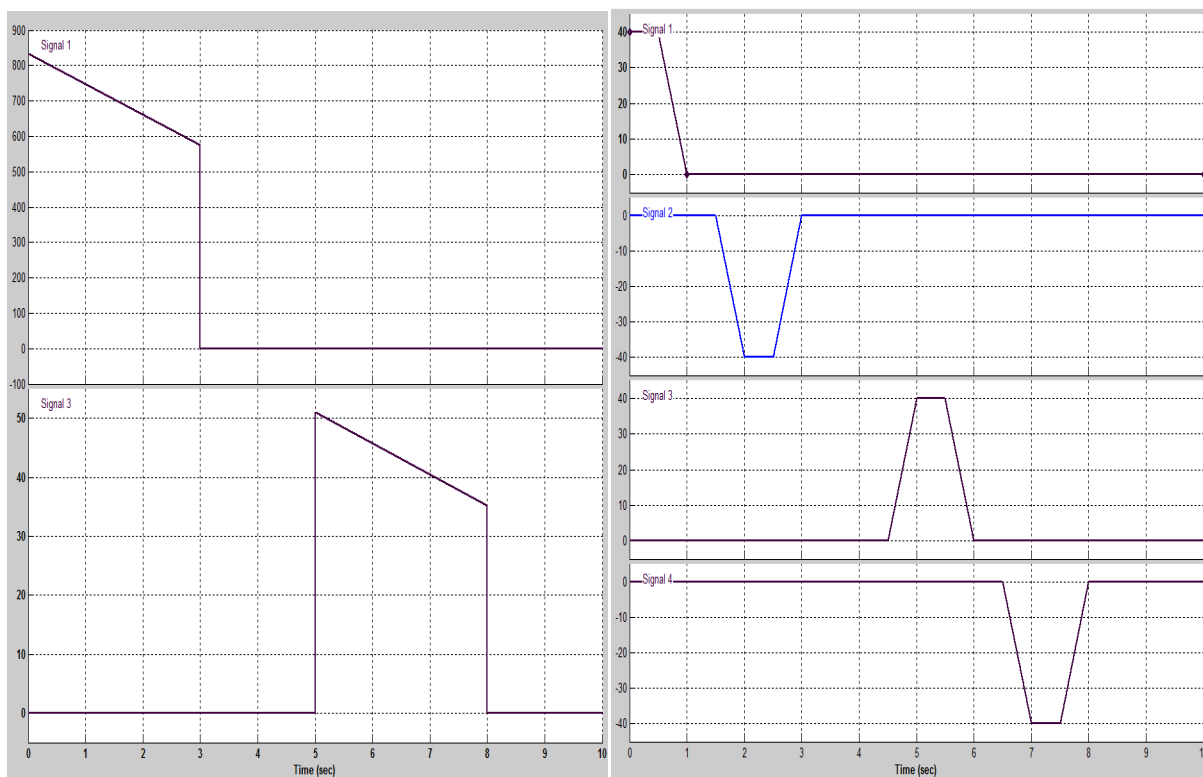


Рис. 3. Диаграммы задающихся сигналов нагрузки и скорости

Стоит так же отметить, что при моделировании осознанно не использовалась, реально существующая тахограмма, так как это привело бы к чрезмерно долгому времени моделирования процессов. В свою очередь это приведет к появлению погрешностей измерения, так как промежутки времени, рассчитанные на затухание колебаний системы значительно больше тех, что будут использованы при моделировании.

Процессы, происходящие в системе во время моделирования по времени приведены в таблице.

Процессы, происходящие в системе при моделировании

Промежуток времени, с	Процесс
0-0,5	Пуск двигателя с максимальной нагрузкой и набор максимальной скорости (начало подъёма крюковой подвески с грузом)
0,5-1	Торможение ротора двигателя под нагрузкой (замедление подъёма крюковой подвески с грузом)
1-1,5	Полная остановка ротора двигателя под нагрузкой (удержание крюковой подвески с грузом на высоте)
1,5-2	Разгон ротора двигателя до максимальной скорости обратного направления под нагрузкой (начало опускания крюковой подвески с грузом)
2-2,5	Процесс равномерного вращения ротора двигателя под нагрузкой (равномерное опускание крюковой подвески с грузом)
2,5-3	Торможение ротора двигателя под нагрузкой (замедление опускания крюковой подвески с грузом)
3-4,5	Полная остановка двигателя
4,5-5	Разгон ротора двигателя до максимальной скорости без нагрузки (начало подъёма крюковой подвески без груза)
5-5,5	Процесс равномерного вращения ротора двигателя без нагрузки (равномерный подъём крюковой подвески)
5,5-6	Торможение ротора двигателя без нагрузки (завершение подъёма крюковой подвески)
6-6,5	Полная остановка ротора двигателя (удержание крюковой подвески на высоте)
6,5-7	Разгон ротора двигателя до максимальной скорости обратного направления (начало опускания крюковой подвески)
7-7,5	Процесс равномерного вращения ротора двигателя без нагрузки (равномерное опускание крюковой подвески)
7,5-8	Торможение ротора двигателя без нагрузки (завершение опускания крюковой подвески без груза)
8-9	Полная остановка двигателя

Результаты моделирования электропривода с прямым управлением моментом под нагрузкой. В процессе моделирования были получены диаграммы момента и угловой скорости вращения ротора двигателя, которые представлены на рис.4.

Если анализировать диаграмму момента ротора двигателя после моделирования, нетрудно обратить внимание, что максимальный момент при пуске двигателя не превышает номинальный, который по паспортным данным составляет $1400 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что в свою очередь говорит о износоустойчивости системы и наличии запаса мощности.

На диаграмме скорости заметны отклонения от начально задаваемого сигнала. Особенно четко это видно в промежутки времени 0-1 и 3,5-5 секунд. Данные скачки обусловлены резким изменением величины нагрузки за довольно короткий промежуток времени. Если изменить нагрузоч-

ную диаграмму и тахограмму механизма в сторону увеличения промежуточных времени, т.е. увеличить время моделирования с 9 секунд до 200 и более, то эти скачки будут практически незаметны на общей диаграмме скорости и не окажут существенного влияния на устойчивость системы.

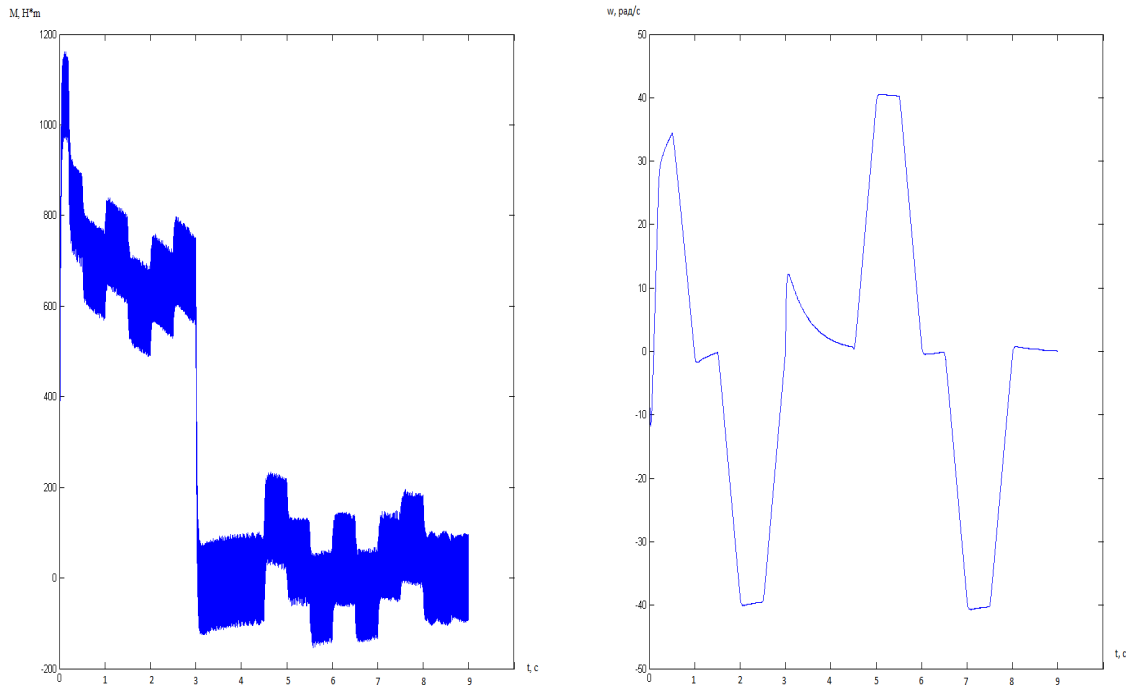


Рис. 4. Диаграммы момента и угловой скорости ротора двигателя при моделировании под нагрузкой

Благодаря высоким динамическим свойствам в сочетании с относительной простотой алгоритма, что в свою очередь ведет как к аппаратному быстрдействию, так и к упрощению обслуживания системы извне, электропривод переменного тока с прямым управлением моментом становится одной из перспективных систем управления при создании электроприводов машин, механизмов и технологических комплексов в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: учебное пособие для вузов. 3-е изд. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 512с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. Ленингр. Отд-ние, 1982. 392с.
3. Карасев А.В., Смирнов В.М. Математическая модель управления моментом асинхронного привода: научная статья. Саранск.: ГОУВПО

«МГУ им. Н.П. Огарева, 2008. 6с.

4. Ключев В.И., Теория электропривода: учебник для вузов. 2-е изд. Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704с.

5. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. Х.: Основа, 2004. 210 с.

6. Рудаков В.В., Козярук А.Е. Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока: учебное пособие. СПб.: СПбГГИ им. Г.В. Плеханова, 2007. 74с.

7. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 94с.

Шурлепов Михаил Андреевич, студент, muxa1508@inbox.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

DIRECT TORQUE CONTROL ACTUATOR INTO THE LIFTING MECHANISM OF GANTRY CRANE

M.A. Shurlepov

Consider the advantages of the use of electric drive with direct torque control system as part of the lifting mechanism of gantry crane. As a laboratory setup used a mathematical model of the drive, implemented in Simulink software package Matlab. Simulation results for the system at a variable load and the amount of time corresponding to a full cycle of the gantry crane, and in consideration of the angular speed of the rotor shaft according to the operation modes of the engine.

Key words: gantry crane, lifting mechanism, direct torque control, electric drive, modeling, load.

Shurlepov Mikhail Andreevich, student, muxa1508@inbox.ru, Russia, Tula, Tula State University