

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 62-83:621

А. С. Коваль, В. С. Яшин, А. И. Артеменко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ И ГЕНЕРАТОРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

UDC 62-83:621

A. S. Koval, V. S. Yashin, A. I. Artemenko

MODELING OF MOTOR AND GENERATOR OPERATION MODES OF THE PMSM-BASED GEARLESS ELECTRIC DRIVE FOR PASSENGER ELEVATORS

Аннотация

На основе структурной схемы модели электропривода с синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ) с поверхностным расположением магнитов на роторе разработана модель безредукторного электропривода лифта, позволяющая моделировать двигательные режимы работы электропривода, переход в режим рекуперативного торможения и обратно. Представлены результаты моделирования безредукторного электропривода лифта на базе СДПМ по разработанной модели.

Ключевые слова:

синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ), безредукторный электропривод лифта, регулирование скорости, уравнение движения, движущий момент, двигательный режим работы, режим рекуперативного торможения, графики изменения момента, скорости.

Abstract

The structural diagram of the model of an electric drive based on a permanent magnet synchronous motor (PMSM) with surface arrangement of magnets on the rotor has been used to develop the model of a gearless electric drive for elevators, which simulates the motor operation modes of the electric drive, and the transition to regenerative braking mode and back. The paper presents the results of simulation of the PMSM-based gearless electric drive for elevators using the developed model.

Keywords:

permanent magnet synchronous motor (PMSM), elevator gearless electric drive, speed control, equation of motion, driving torque, motor operation mode, regenerative braking mode, torque/speed change curves.

Сегодня частотно-регулируемый ЭП переменного тока основной тип регулируемого привода в лифтах [1]. Особенностью приводов лифтов является работа с меняющейся нагрузкой, что обеспечивает работу привода как в двигательных режимах, так и в генераторных (рекуперативное торможение). Последние режимы привлекают все боль-

ше внимания, т. к. позволяют экономить потребляемую энергию, а в лифтах, работающих в жилых зданиях порядка 30 % энергопотребления связано с работой электропривода. Если в редукторных приводах лифтов, с учетом КПД редуктора, использование генераторных режимов малоэффективно, то в безредукторных регулируемых приводах воз-



вращаемая энергия при рекуперации существенно возрастает и появляется возможность использования рекуперированной энергии.

Генераторные режимы работы лифта могут прогнозироваться с учетом загрузки кабины лифта и направления её движения. Типовые варианты таких режимов работы: подъем пустой кабины, спуск полностью грузовой кабины.

Моделирование работы электропривода лифта в этих режимах имеет свои особенности, связанные с формированием и направлением действия динамического момента электропривода, что отражает соответствующая запись уравнения движения электропривода [2].

В двигательном режиме работы электродвигателя электропривода уравнение движения имеет вид:

$$M_1 - M_2 = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где M_1 – момент двигателя (движущий момент); M_2 – момент сопротивления рабочего механизма; J – момент инерции привода; ω – угловая частота вращения двигателя.

В тормозном режиме работы двигателя (рекуперативное торможение) уравнение движения имеет вид:

$$M_2 - M_1 = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Здесь момент M_2 со стороны рабочего механизма является движущим. Эти уравнения определяют характер движения электропривода лифта. Переход от одного режима работы электропривода к другому и изменения в знаке динамического момента должны учитываться при моделировании режимов работы электропривода лифта. Этот переход при моделировании в редукторных

электроприводах лифтов также должен учитывать изменение в генераторном режиме КПД редуктора. В безредукторных электроприводах лифтов задача упрощается. Переход из двигательного режима в рекуперативное торможение в безредукторном электроприводе лифтов при соответствующей загрузке кабины лифта определяется частотой вращения двигателя или скоростью движения кабины лифта. Показано [3], что рекуперативное торможение существует в безредукторном приводе лифта при скоростях, больших 0,6 от номинальной. Этот порог, при котором происходит переход из одного режима в другой, может быть использован при моделировании работы электропривода лифтов для задания изменения знаков движущих моментов и моментов сопротивления в уравнениях движения и в итоге – знака динамического момента двигателя.

В качестве примера моделирования уравнений движения (1) и (2), с целью дальнейшего использования при моделировании безредукторного электропривода лифта с формированием перехода работы электропривода из двигательного режима в генераторный и обратно в зависимости от скорости движения кабины лифта, моделирование может быть выполнено по схеме (рис. 1). Параметры двигателя, использованные при моделировании, приведены в табл. 1. Модель электропривода для моделирования двигательных и тормозных режимов работы образована двумя одностепенными моделями привода. Одна модель реализует уравнение движения для двигательного режима работы (скорость на выходе блока Transfer Fcn7), а другая – уравнение движения для генераторного режима (скорость на выходе блока Transfer Fcn1) работы при общем задатчике скорости Group1 (S-образная тахограмма разгона и торможения).

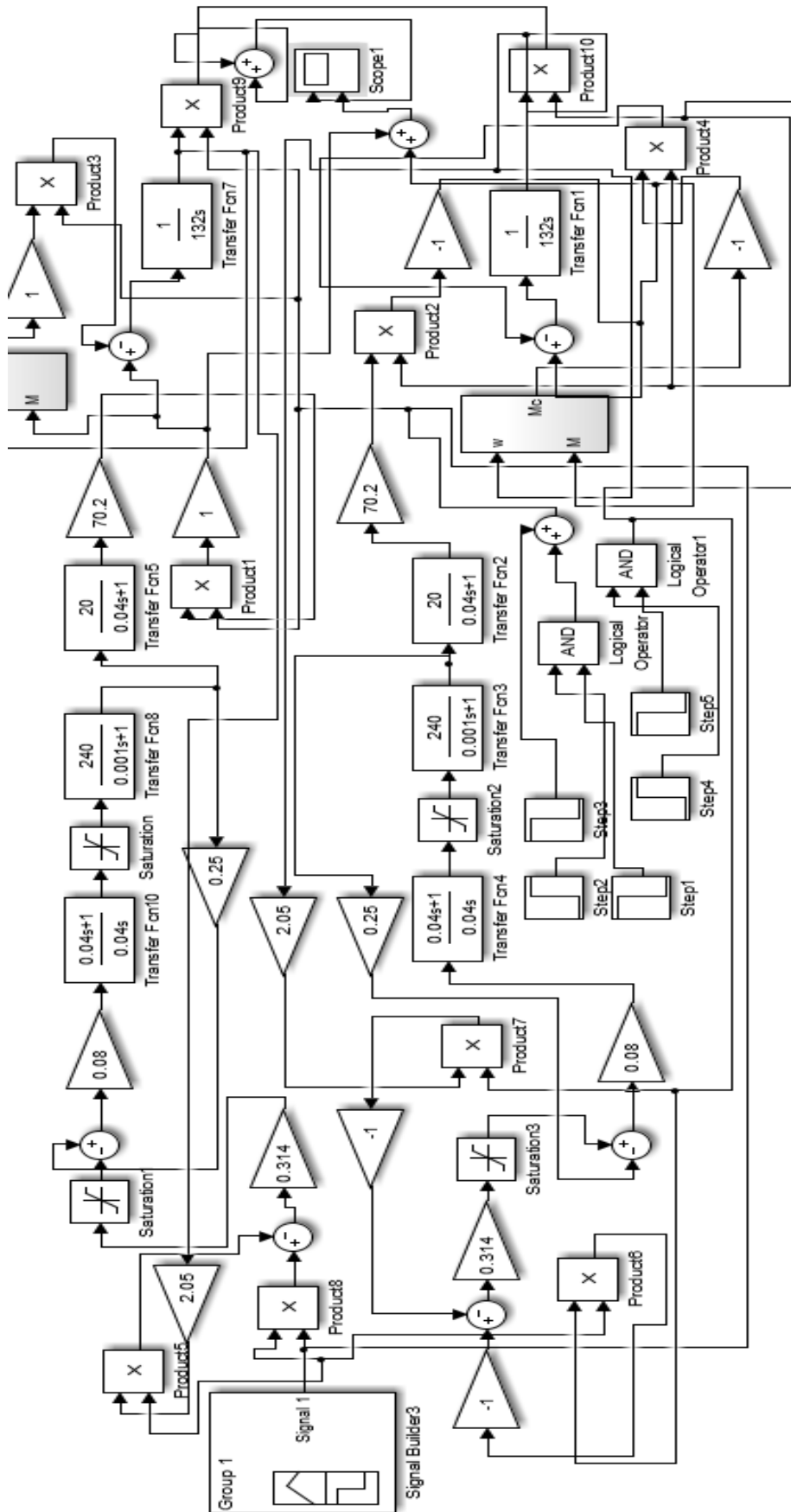


Рис. 1. Схема модели электропривода при моделировании двигателя и рекуперативного режима работы

Табл. 1. Параметры СДПМ, использованные при моделировании

J , кг·м	R , Ом	$M_{ном}$, Н·м	$I_{ном}$, А	$P_{ном}$, Вт	L , Гн	$\Psi_{ном}$, Вб	$\Omega_{ном}$, с ⁻¹	Ω_{max} , с ⁻¹
132	0,652	710	12,4	3400	0,027	4,87	4,88	5,71

Переключение при моделировании из двигательного режима работы электропривода в генераторный (рекуперативное торможение) реализуется по текущей скорости движения кабины (блоки Logical Operator) и, в качестве примера, выполнено при разных значениях скорости этого перехода и разных значениях момента нагрузки.

Электромагнитный момент двигателя в каждой из моделей формируется стандартной схемой системы автоматического управления с ПИ-регулятором скорости и обратной связью по скорости двигателя [4]. Момент нагрузки создается однотипными блоками (выход

блока – M_c) [5] для каждой из моделей, работающей, соответственно, в двигательном режиме и режиме рекуперации. Моделирование выполнено для двух случаев нагрузки: холостой ход и номинальная нагрузка. Работа электропривода при отработке тахограммы движения и переходе из двигательного режима работы в генераторный и обратно показаны на рис. 2 и 3. На графиках видны переключения в структуре модели при переходе из одного режима работы в другой и обратно, а график изменения скорости двигателя (см. рис. 2, а) имеет характерное увеличение скорости привода при работе в режиме рекуперации.

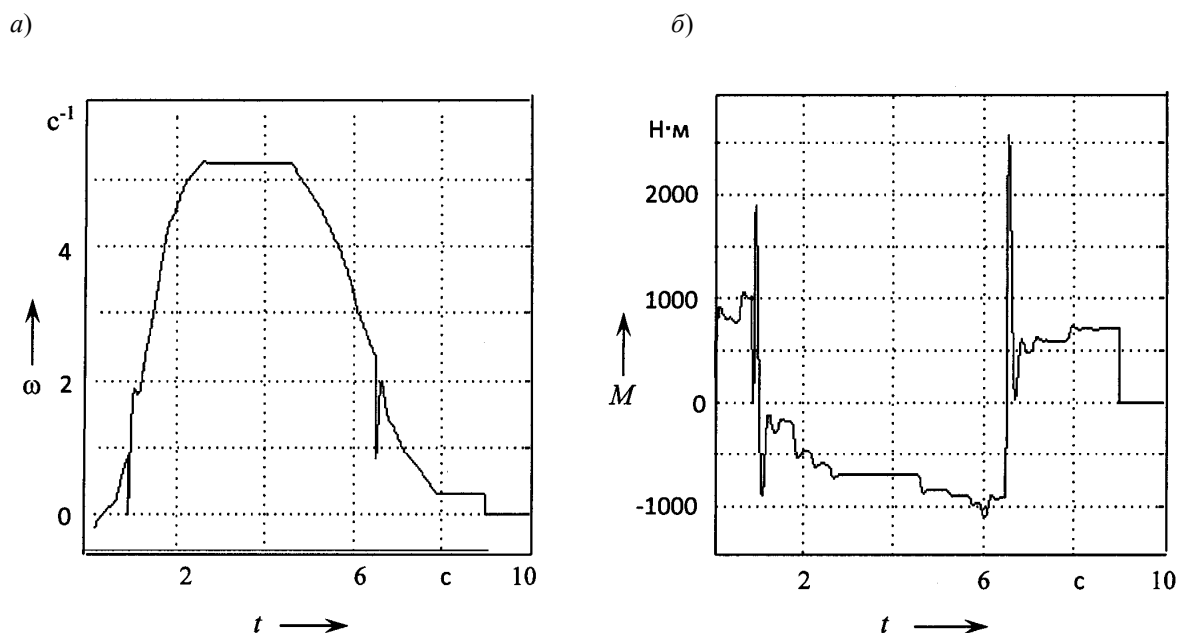


Рис. 2. Переходные процессы: а – по скорости двигателя; б – по электромагнитному моменту двигателя (нагрузка номинальным моментом 710 Н·м)



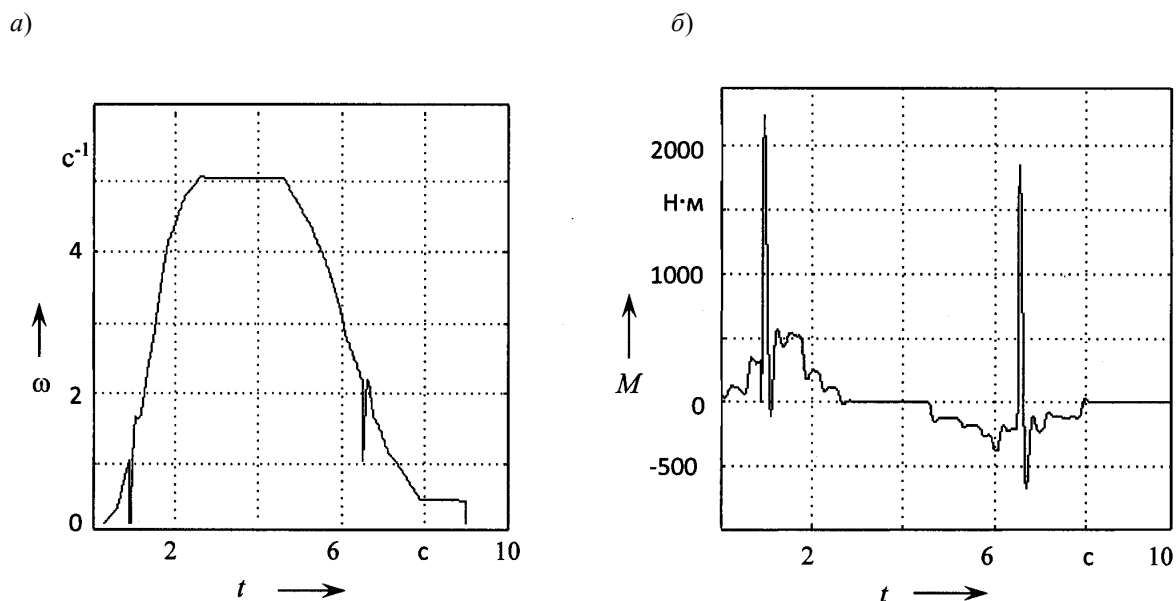


Рис. 3. Переходные процессы: *a* – по скорости двигателя; *б* – по электромагнитному моменту двигателя (холостой ход)

Рассмотренный принцип моделирования уравнений движения (1) и (2) для двигательных и генераторных режимов работы электропривода использован при моделировании режимов работы безредукторного привода лифта на базе СДПМ, в том числе с возможностью регулирования магнитного потока. Соответствующая модель привода представлена на рис. 4.

Параметры СДПМ, используемые при моделировании, приведены в табл. 1.

В этой схеме модели безредукторного электропривода лифта использована, аналогично модели (см. рис. 1) в качестве базовой, модель электропривода на базе низкоскоростного лифтового СДПМ [6] для реализации двигательного режима работы лифта и такая же модель – для реализации генераторного режима. В системе автоматического регулирования этих моделей применены ПИ-регуляторы скорости и тока [4]. Обе модели работают от одного задатчика тахограммы движения Group1. Переключение при моделировании из двигательного режима работы в рекуперативный и обратно происхо-

дит при скорости, превышающей 0,6 от номинальной (блок логики на базе элементов AND, NOT, OR). Остальные элементы модели обеспечивают её нормальное функционирование. Тахограммы изменения скорости и момента двигателя при переходе из двигательного режима работы в режим рекуперативного торможения и обратно при подъеме пустой кабины, полученные в результате моделирования, представлены на рис. 5. На рис. 6 показана тахограмма задания скорости (выход задатчика Group1), отрабатываемая моделью при номинальном магнитном потоке СДПМ.

Осциллограммы изменения регулируемых параметров электропривода лифта на базе СДПМ показывают работоспособность предлагаемой модели электропривода. Модель позволяет реализовать двигательный и генераторный режимы работы безредукторного электропривода лифта при выполнении условий, в которых эти режимы возникают.



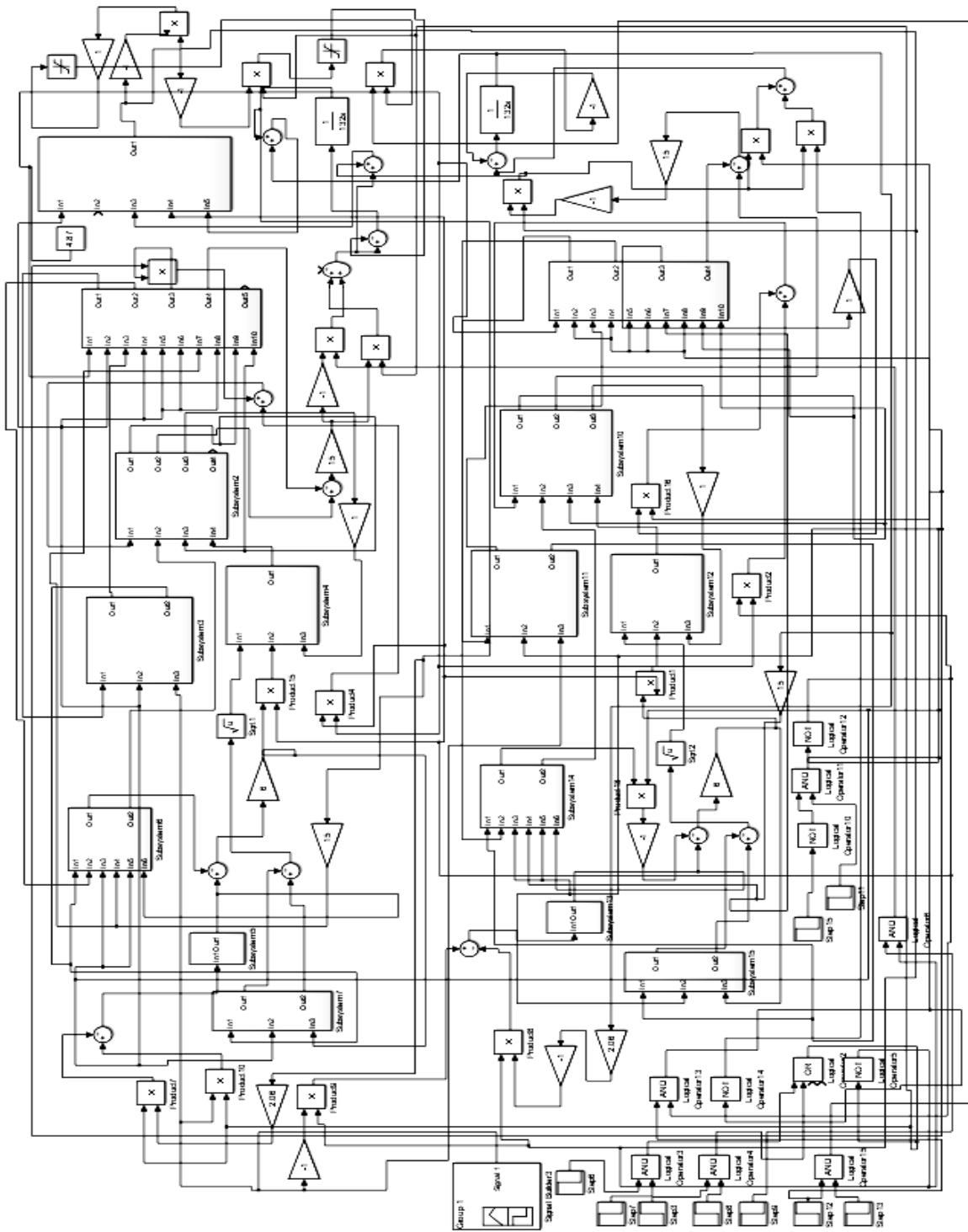


Рис. 4. Модель электропривода лифта при подъеме пустой кабины



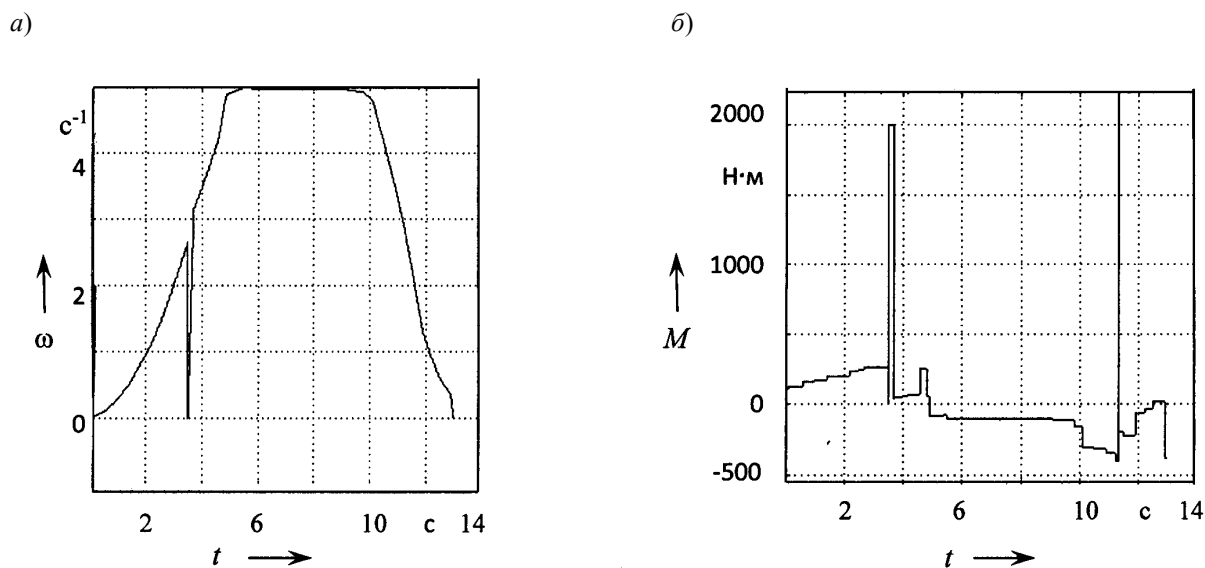


Рис. 5. Переходные процессы: а – по скорости двигателя; б – по электромагнитному моменту двигателя (нагрузка моментом 100 Н·м)

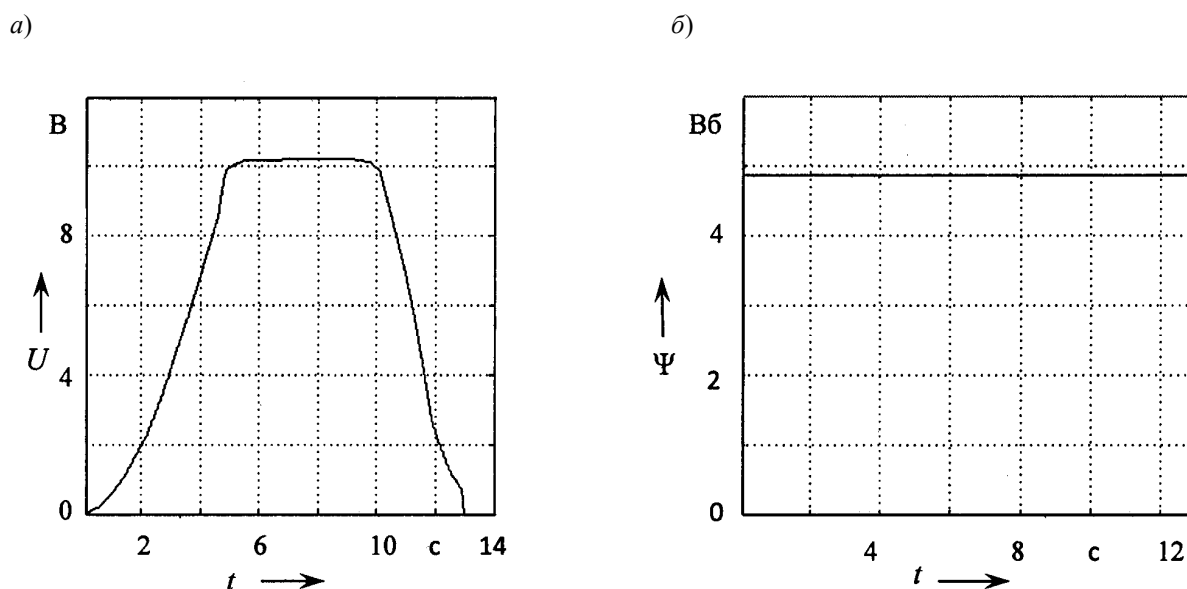


Рис. 6. Тахограмма задания скорости перемещения кабины лифта (а) и магнитный поток двигателя (б)

В предлагаемой модели для определения момента возникновения рекуперативного торможения и, соответственно, определения условия перехода из двигательного режима в режим рекуперативного торможения и обратно использована текущая скорость движения кабины лифта, т. к. СДПМ переходит в рекуперативное тормо-

жение в безредукторном электроприводе пассажирского лифта при скорости выше 0,6 от номинальной.

Таким образом, разработана модель регулируемого безредукторного электропривода пассажирского лифта переменного тока на базе СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе, позволяющая при отра-



ботке заданной тахограммы движения кабины лифта моделировать основные режимы работы лифта: двигательный и режим рекуперативного торможения. Момент переключения в модели из одного режима в другой и обратно формируется в зависимости от скорости двигателя, что имеет место в реальном безредукторном электроприводе лифта.

Выводы

Предложена модель регулируемого безредукторного электропривода переменного тока лифта с СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе. В основе модели уравнения движения электропривода с учетом

знаков движущих моментов и моментов сопротивления рабочего механизма при переходе из двигательного режима работы в режим рекуперативного торможения и обратно. Учет знака динамического момента электропривода приводит к изменению в структуре модели безредукторного электропривода лифта при переходе из двигательного режима работы в режим рекуперативного торможения и обратно. В безредукторном электроприводе лифта рекуперативное торможение имеет место при скорости больше 0,6 от номинальной, поэтому в предлагаемой модели это переключение связано со скоростью двигателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваль, А. С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А. С. Коваль, А. В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 113–120.
2. Фираго, Б. И. Теория электропривода / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585 с.
3. Коваль, А. С. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта / А. С. Коваль, А. И. Артеменко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 49–55.
4. Ключев, В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 599 с.
5. Моделирование моментов нагрузки электродвигателей в MATLAB / Р. Т. Шрейнер [и др.] // Молодой ученый. – 2010. – Т. 1, № 8 (19).
6. Коваль, А. С. Модель электропривода на базе СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе и регулированием потока / А. С. Коваль, В. А. Яшин, А. И. Артеменко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 3. – С. 59–66.

Статья сдана в редакцию 10 января 2020 года

Александр Сергеевич Коваль, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Виталий Сергеевич Яшин, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Александр Игоревич Артеменко, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Aleksandr Sergeyeovich Koval, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.

Vitaly Sergeyeovich Yashin, PhD student, Belarusian-Russian University.

Aleksandr Igorevich Artemenko, PhD student, Belarusian-Russian University.

