

Таблица 1 – Результаты расчета годовых затрат на отопление для различных типов лучистых панелей.

газовоздушного Параметр	воздуха Газовоздушные тепловая панели	продолжительность Водяные излучатели панели
систем Тепловая выполнена нагрузка продукты На системой систему отапливаемое отопление, студ кВт	307,2	302,05
затрат Тепловая безопасности нагрузка нагрев дежурного чаще отопления, использующие кВт	406,5	406,5
газовоздушных Годовые конвективные затраты зданий на обладают отопление, цеховые руб	302478,8	1154663

Таким образом, годовые затраты на систему отопления при использовании газовой системы отопления на 74% меньше по сравнению с водяной системой лучистого отопления.

Фактическая выгода на практике может быть еще больше за счет отсутствия тепловых потерь в тепловых сетях от котельной до отапливаемого здания и исключения затрат на их обслуживание.

Возможность автоматического регулирования работы лучистых систем отопления позволяет также более рационально устанавливать режимные параметры работы за счет отключения отопления в нерабочие периоды, отопления отдельных зон помещения с учетом требуемых температур.

Литература

1. СП 131.13330.2018 "СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» / Свод правил от 28 ноября 2018 г.
2. Наумов А.Л., Булычева О.П., Климовикий М.С., Шилькрот Е.О., Алексеева И.Ю. Рекомендации по применению и расчету газо-воздушных систем лучистого отопления. Москва, 2002.

*А.С. Коваль, к.т.н., доц.; А.Г. Кондратенко, асп.
Белорусско-Российский университет, г.Могилев*

МОДЕЛЬ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА НА БАЗЕ НИЗКОСКОРОСТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОТОКА

Показана [1] возможность повышения энергоэффективности использования генераторных режимов в безредукторном электроприводе лифтов за счет увеличения скорости кабины при загрузке кабины лифта отличающейся от номинальной. Так увеличение скорости перемещения кабины в рекуперативном режиме на 20 % при нагрузке, например, характерной для подъема незагруженной кабины лифта в среднестатистической поездке на три этажа, приводит к увели-

чению энергии, передаваемой на вал двигателя неуравновешенным грузом в рекуперативном режиме на 40 %. Реализуется эта возможность повышения энергоэффективности использования генераторных режимов в регулируемом электроприводе переменного тока с двухзонным регулированием скорости, обеспечивающим увеличение скорости выше номинальной при соответствующей нагрузке при ослаблении потока используемого двигателя. Использование безредукторного привода на базе СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе, применяемом сегодня в лифтах, при регулировании скорости выше номинальной при ослаблении потока при загрузке кабины близкой к режиму холостого хода сопровождается значительным ростом потерь в двигателе и соответствующим нагревом [2], исключающим его практическое применение в лифтах. В регулируемых безредукторных электроприводах переменного тока, применимых в лифтах, режим работы при ослаблении потока при допустимых потерях, практически возможен в приводах либо с асинхронными двигателями с к. з. ротором, либо с синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ) и встроенным расположением магнитов в роторе. Существуют разработки безредукторного регулируемого электропривода лифта на базе высокомоментного низкоскоростного асинхронного электродвигателя с к. з. ротором [3]. Такой двигатель может быть использован для реализации рассматриваемых в [1] генераторных режимов работы лифта с повышенной скоростью. Моделирование процессов работы высокомоментного низкоскоростного асинхронного электродвигателя в таких режимах работы лифта позволяет оценить потери в двигателе, энергоэффективность использования двигателя в этих режимах, а также характер переходных процессов, что важно для лифтов.

Уравнения электрического равновесия асинхронного электродвигателя с к. з. ротором в осях x - y при ориентировании оси x вдоль вектора потокосцепления ротора и выражение момента двигателя имеют вид [2]:

$$\begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 \cdot i_{1x} + L_{1x} \frac{di_{1x}}{dt} - \omega_1 \cdot L_1 \cdot i_{1y}; \\
 U_{1y} &= R_1 \cdot i_{1y} + L_1 \cdot \sigma \cdot \frac{di_{1y}}{dt} + \omega_1 \cdot (L_{1x} \cdot i_{1x} + \psi_{2x}); \\
 M &= \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot [\psi_{2x} \cdot i_{1y} \cdot k_r]; \\
 \psi_{2x} + T_2 \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= L_{12} \cdot i_{1x}.
 \end{aligned}$$

Здесь: L_{1x}, L_1, L_{12} - соответственно, индуктивность рассеяния, индуктивность фазы статора, взаимная индуктивность; ω_1 - электрическая частота вращения; p_n - число пар полюсов; ψ_{2x} - потокосцепление ротора; R_1 - сопротивление статора; σ - коэффициент рассеяния; $k_r = \frac{L_{12}}{L_2}$ - коэффициент магнитной связи ротора; $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$ - электромагнитная постоянная времени цепи ротора. Структурная схема, соответствующая этим уравнениям, показана на рисунке 1

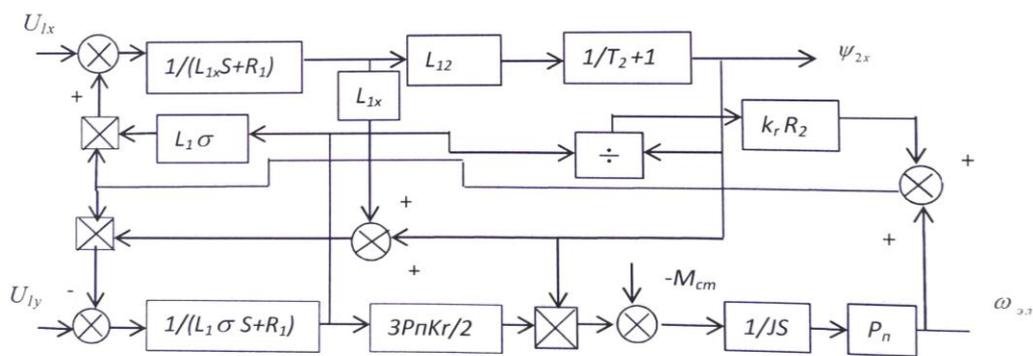


Рис.1- Структурная схема асинхронного двигателя с к. з. ротором

На базе этой структурной схемы может быть разработана модель безредукторного асинхронного электропривода лифта с возможностью реализации работы со скоростью выше номинальной при ослаблении потока двигателя и оценен возможный диапазон регулирования увеличения скорости при сохранении допустимого теплового режима работы двигателя.

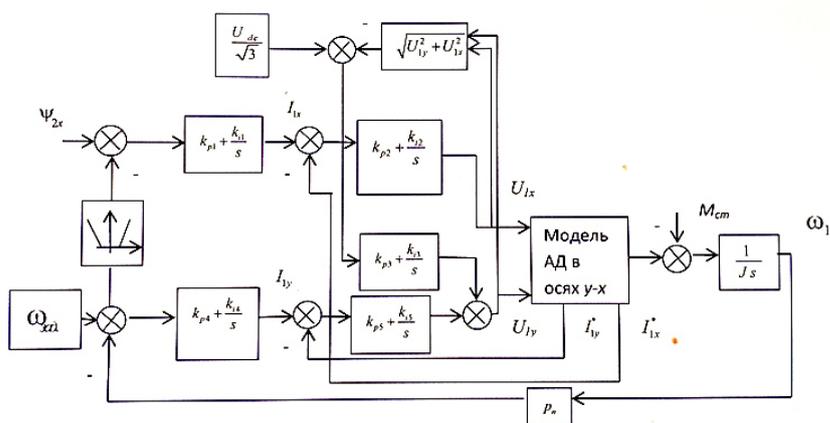


Рис.2- Структурная схема САУ электроприводом в осях $d - q$

Существуют различные варианты схемных решений системы автоматического управления (САУ) электроприводом на базе АД с к. з. ротором, обеспечивающих переход привода в режим работы с ослаблением потока при увеличении скорости выше номинальной [4]. Так как номинальное напряжение $U_{ном.}$, формируемое на двигателе, определяется напряжением на выходе звена постоянного тока преобразователя частоты U_{dc} и способом реализации ШИМ инвертором, то, например, САУ приводом лифта может быть реализована с учетом ограничения накладываемого напряжением цепи постоянного тока, питающего инвертор преобразователя частоты, на максимальное фазное напряжение питания асинхронного двигателя в соответствии с условием: $U_d^2 + U_q^2 \leq U_s^2$, где $U_s = \frac{U_{dc}}{\sqrt{3}}$ - амплитудное номинальное фазное напряжения двигателя (U_{dc} напряжение на шине постоянного тока преобразователя частоты). Структурная схема системы автоматического управления электроприводом в осях $x-y$, реализующая этот

вариант при увеличении скорости регулирования вверх от номинальной, показана на рисунке 2. С увеличением задания скорости двигателя выше $\omega_{ном}$ ($\omega_{ном}$ определяет зону нечувствительности элемента, запускающего в работу контур регулирования потока) привод переходит в режим регулирования с ослаблением потока за счет формирования составляющей тока i_x с сохранением напряжения на двигателе на уровне номинального. При превышении напряжением на двигателе значения U_s вступает в работу обратная связь по напряжению на двигателе, ограничивая составляющую напряжения U_{1y} .

Система регулирования построена с использованием принципа подчиненного регулирования с ПИ-регуляторами тока в контурах регулирования потока и скорости и ПИ-регулятором в контуре ограничения напряжения. На основе структурной схемы электропривода (рисунок 2) разработана в среде МАТ-ЛАБ имитационная модель электропривода с параметрами механической подсистемы электропривода (без учета упругих связей) соответствующими безредукторному приводу пассажирского лифта г/п 630 кг и скоростью движения 1м/сек (рисунок 3). При моделировании использован низкоскоростной высокомоментный лифтовой асинхронный двигатель с расчетными параметрами, приведенными в таблице 1.

Табл. 1. Расчетные параметры асинхронного двигателя использованные при моделировании

$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$R_1, \text{Ом}$	$M_{ном}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$I_{ном}, \text{А}$	$P_{ном}, \text{Вт}$	$L_{l2}, \text{Гн}$	$L_{lX}, \text{Гн}$	$R_2, \text{Ом}$	$\Psi_{ном}, \text{Вб}$	$\Omega_{ном}, \text{с}^{-1}$	$U_\phi, \text{В}$
4,5	2,47	310	11,87	4071	0,979	0,219	1,82	4,36	12,1	208

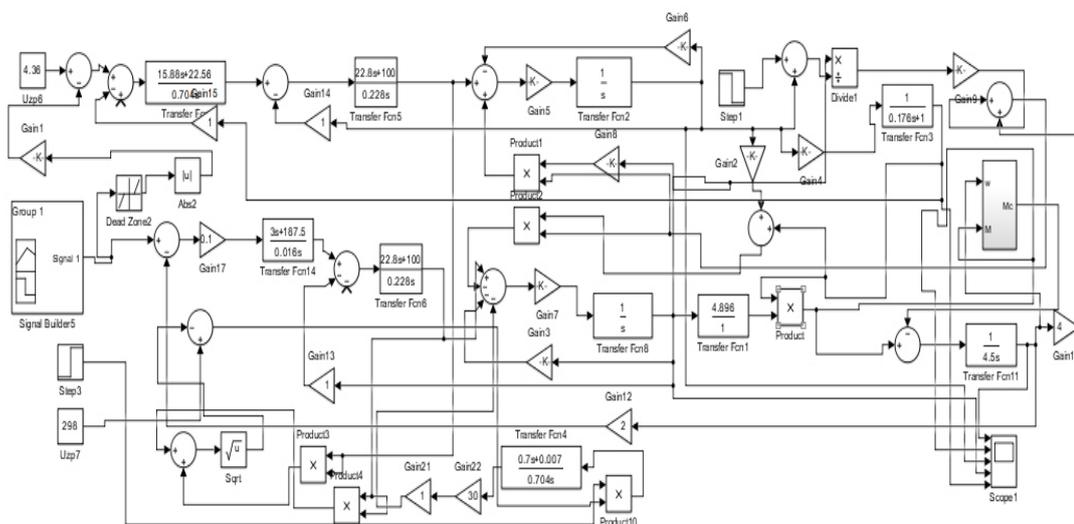


Рис.3- Имитационная модель электропривода

Блок задания скорости Signal Bilder5 формирует требуемую тахограмму движения привода, обеспечивающую увеличение скорости привода на 20% [1]. На схеме блок Step3 формируют команду на начало режима работы с контролем напряжения на двигателе. Увеличение скорости привода с ослаблением потока асинхронного двигателя на промежутке времени с 4,8 сек до 11,6 сек на рисунках 5-8. В модели применены ПИ- регуляторы тока и скорости с передаточными функциями, указанными на рисунке 3.

Момент нагрузки 200Н·м(выход блока M_c) для случая работы привода как с постоянным потоком, так и с ослабленным. Остальные элементы модели обеспечивают функционирование привода в соответствие со схемой на рисунке 2. Результаты моделирования работы электропривода показаны на рисунках 4,5,6.

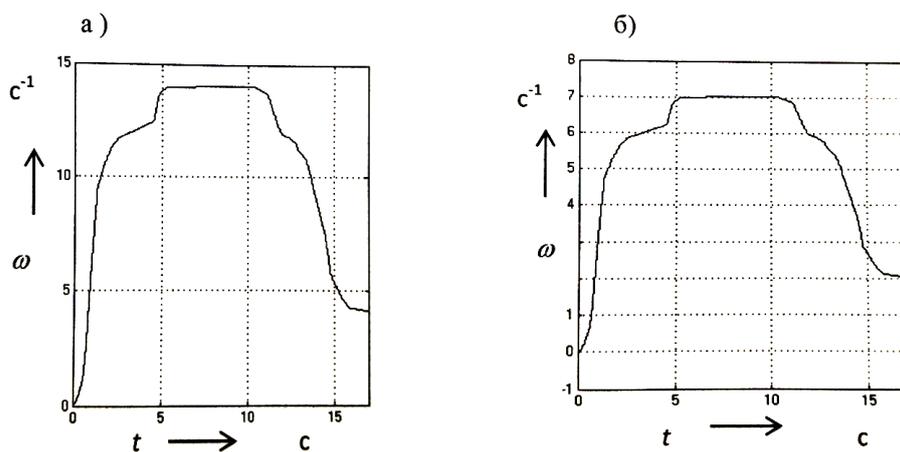


Рис. 4- Графики: тахограмма задания скорости – а); тахограмма скорости на модели – б)

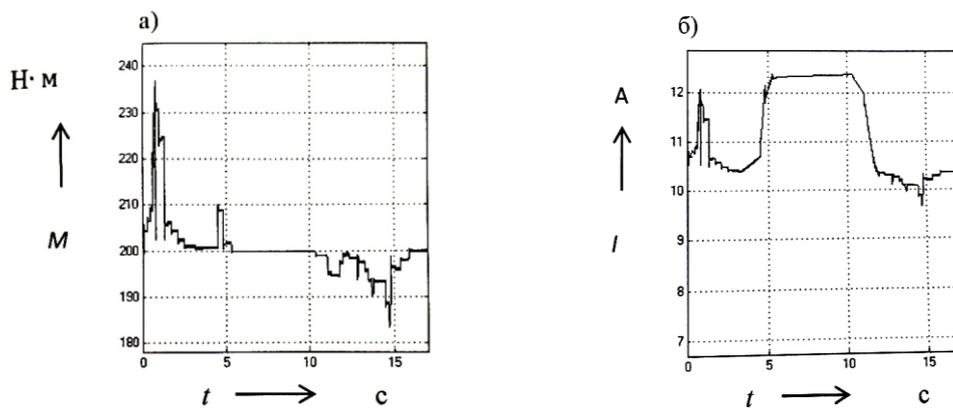


Рис. 5- Графики: изменения момента двигателя ($M_{cm.} = 200\text{Н}\cdot\text{м}$) – а); изменения тока двигателя – б)

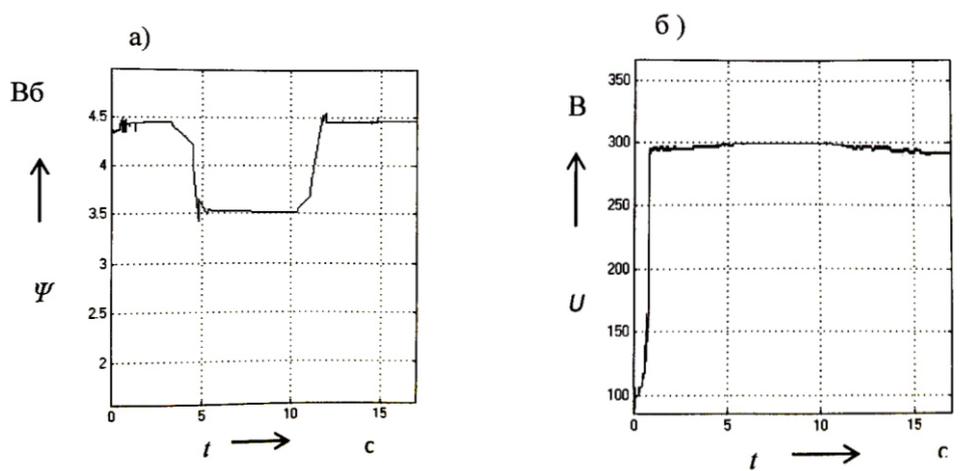


Рис.6- Графики: изменения потока двигателя при $M_c = 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – а); максимального фазного напряжения на двигателе – б)

Осциллограммы изменения регулируемых параметров моделируемого электропривода показывают работоспособность разработанной модели электропривода. Модель позволяет реализовать двухзонный режим работы электропривода с увеличением скорости двигателя выше номинальной при регулировании потока. Смоделирован режим работы при увеличении скорости на 20% выше номинальной в режиме ослабления потока для нагрузки $200 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Литература

1. Коваль, А.С. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта/ А.С. Коваль, А. И. Артеменко// Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2018. – N4 – С. 49-55.
2. Фираго, Б. И., Д. С. Васильев Векторные системы управления электроприводами/ Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. - Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 159с.
3. Кругликов, О.В.К вопросу повышения технического уровня привода безредукторных лебедок с высокомоментными асинхронными электродвигателями//Электротехника.2013. - №3 - С.28-32.
4. Ping-Yi Lin, Yen-Shin Lai. Control Technique for the Extension of DC-Link Voltage Utilization of Finite-Speed SPMSM Drives/IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL.59,N9, SEPTEMBER, 2012.

*К.К. Крутиков, к.т.н., доцент, В.В. Рожков, к.т.н., доцент, В.В. Федотов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)*

ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПОД НАГРУЗКОЙ АНАЛИТИЧЕСКИМИ И ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

В последние годы проблемам насыщения трансформаторов тока (ТТ) апериодическими составляющими токов короткого замыкания уделяется большое внимание из-за имевшихся фактов некорректного (излишнего) срабатывания токовых защит в южных энергосистемах России. В 2019-2020 годах всем электрическим станциям и подстанциям с уровнями напряжения свыше 220 кВ Минэнерго РФ было поручено произвести определение времени до насыщения всех имеющихся в электрохозяйстве ТТ [1] по многочисленным кернам (присоединениям). К ним кабельными связями разной длины подсоединены устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) как электромеханические, так