

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что с точки зрения стоимости предпочтительной является армопенобетонная изоляция, так как её стоимость ниже по сравнению с ППУ на 9,88% и на 9,15% с ППМ, при этом разница тепловых потерь составляет 4,03% и 2,19% соответственно. Однако практика эксплуатации трубопроводов в армопенобетонной изоляции в г. Санкт-Петербург показала, что данный вид тепловой изоляции с течением времени плохо обеспечивает гидроизоляцию трубы. При активном воздействии внешней коррозии дефекты на теплопроводах в АПБ-изоляции возникают в течение первых 10 лет эксплуатации [1]. Поэтому в качестве теплоизоляционного материала рекомендуется использовать пенополимерминерал или пенополиуретан.

#### Литература

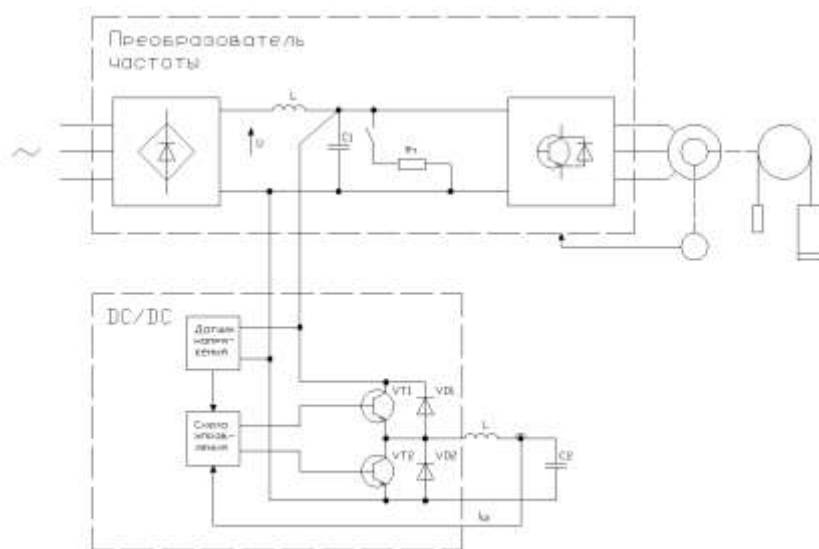
1. РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург. Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге.
2. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 9-е изд., стереот. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.
4. Шойхет Б.М. Проектирование тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей. / Б.М. Шойхет // Энергосбережение. – 2015. – №1. – С. 50-55.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ СУПЕР- КОНДЕНСАТОРА И ДВУХУРОВНЕГО ПОВЫШАЮ- ЩЕ-ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ DC/DC ДЛЯ ЭЛЕКТРО- ПРИВОДА ЛИФТА**

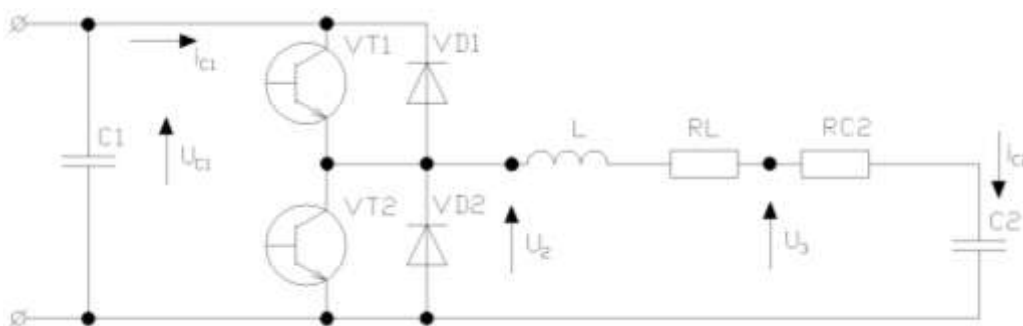
Частотно-регулируемые электропривода переменного тока применяются сегодня в различных технических и технологических приложениях. Их эффективность применения обусловлена надежностью электродвигателей переменного тока и высокими статическими и динамическими характеристиками реализуемых электроприводов. Энергоэффективность частотно-регулируемых электроприводов для ряда механизмов дополнительно может быть увеличена использованием рекуператоров энергии в сеть или накопителей энергии в режимах, где возможны рекуперативные режимы работы электродвигателей и где в настоящее время массово используется балластный резистор для рассеивания энергии торможения [1]. Использованию накопителей энергии (емкостных на суперконденсаторах или аккумуляторных батарей) сегодня уделяется большое внимание. Одними из механизмов, где актуально использование рекуперированной энергии, являются подъемно-транспортные механизмы в том числе и лифты.

Блок-схема регулируемого электропривода лифта, например с емкостным накопителем энергии (суперконденсатор) и преобразователем DC/DC представлена на рисунке 1.



**Рис.1. Блок-схема электропривода лифта с преобразователем DC/DC и емкостным накопителем**

Расчетная схема без учета потерь в преобразователе (коэффициент передачи  $k$ ) DC/DC для анализа процессов при заряде – разряде конденсатора накопителя показана на рисунке 2.



**Рис.2. Расчетная схема силовой части DC/DC преобразователя и емкостного накопителя**

Здесь:  $R_L, L$  - активное сопротивление и индуктивность дросселя;  $R_{C2}, C_2$  - внутреннее сопротивление и емкость суперконденсатора (линейная модель суперконденсатора [2]);  $C_1$  - емкость фильтра шины постоянного тока преобразователя частоты.

Уравнения электрического равновесия для схемы (рисунок 2) имеют вид:

$$\begin{aligned}
 U_2 - U_3 &= i_{c2} \cdot R_L + L \frac{di_{c2}}{dt} \\
 U_3 &= i_{c2} \cdot R_{c2} + U_{c2} \\
 U_{c2} &= \frac{1}{C_2} \cdot \int i_{c2} \cdot dt \\
 U_{c1} &= \frac{1}{C_1} \cdot \int i_{c1} \cdot dt \\
 U_{c2} &= k \cdot U_{c1}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

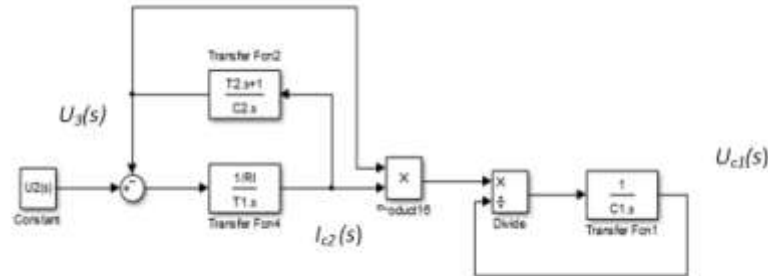
Из уравнений (1) с использованием преобразования по Лапласу можно получить следующие уравнения:

$$U_2(s) - U_3(s) = i_{c2}(s) \cdot (R_L + L)s$$

$$U_3(s) = i_{c2}(s) \cdot \left( R_{c2} + \frac{1}{C_2 \cdot s} \right) \quad (2)$$

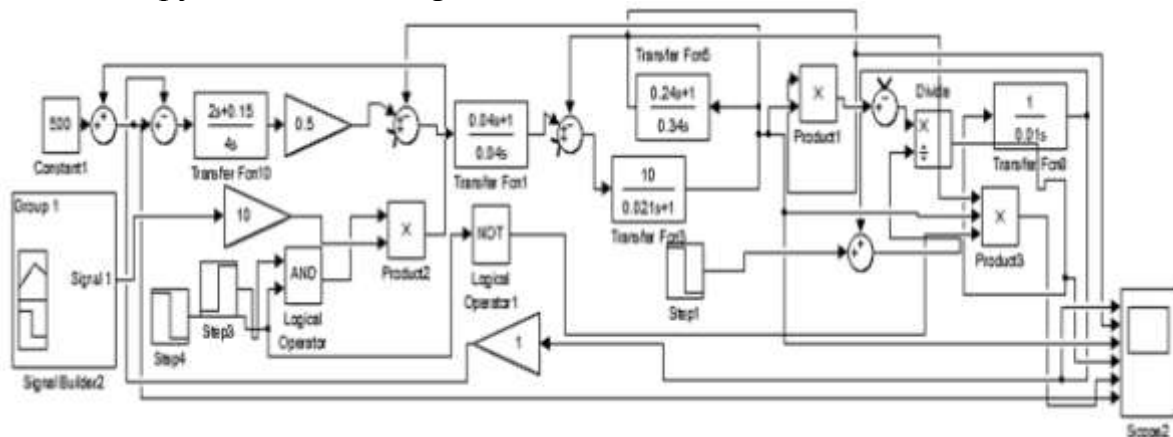
$$U_{c1}(s) = i_{c1}(s) \cdot \frac{1}{C_1 \cdot s}$$

С учетом уравнений (2) структурная схема регулирования напряжения на шине постоянного тока имеет вид (рисунок 3) .



**Рис.3. Структурная схема DC/DC преобразователя при регулировании напряжения на шине постоянного тока преобразователя частоты**

Здесь:  $U_{c1}(s)$  - напряжение на конденсаторе фильтра шины постоянного тока,  $U_3(s)$  - напряжение на суперконденсаторе,  $I_{c2}(s)$  - ток заряда- разряда суперконденсатора,  $U_2(s)$  - напряжение на выходе преобразователя,  $T_2 = R_{c2} \cdot C_2$  и  $T_1 = R_L \cdot L$  соответствующие постоянные времени. Для структурной схемы (рисунок 3) разработана модель в среде МАТЛАБ (рисунок 4). Основные регулируемые параметры схемы (рисунок 3):  $I_{c2}(s)$  - ток конденсатора  $C_2$  и  $U_{c1}(s)$  - напряжение на шине. Эти параметры регулируются в рамках стандартной схемы регулирования напряжения на шине (конденсаторе  $C_1$ ) с использованием последовательно включенных соответствующих регуляторов тока Transfer Fcn1 (внутренний контур) и напряжения на шине Transfer Fcn10 (рисунок 4). Возрастание напряжения на шине постоянного тока при генераторных режимах работы моделируется блоком Signal Bulder2.



**Рис.4. Модель DC/DC преобразователя при регулировании напряжения на шине постоянного тока преобразователя частоты**

Время существования генераторного режима задается в этой схеме блоками Step3, Step4. Напряжение на шине определяется блоком Constant1

Параметры схемы используемые при моделировании в таблице 1.

$R_{c2}, \text{Ом}$	$C_2, \text{Ф}$	$L, \text{мГн}$	$R_L, \text{Ом}$	$C_1, \text{Ф}$	$U_{\text{шины}}, \text{В}$
0,7	0,34	0,21	0,1	0,01	500

Динамические характеристики процессов заряда и разряда конденсатора  $C_1$  в схеме определяются настройкой регуляторов в системе регулирования напряжения на шине постоянного тока. Для ПИ-регуляторов, используемых в схеме (рисунок 4), результаты моделирования показаны на рисунках 4 и 5.

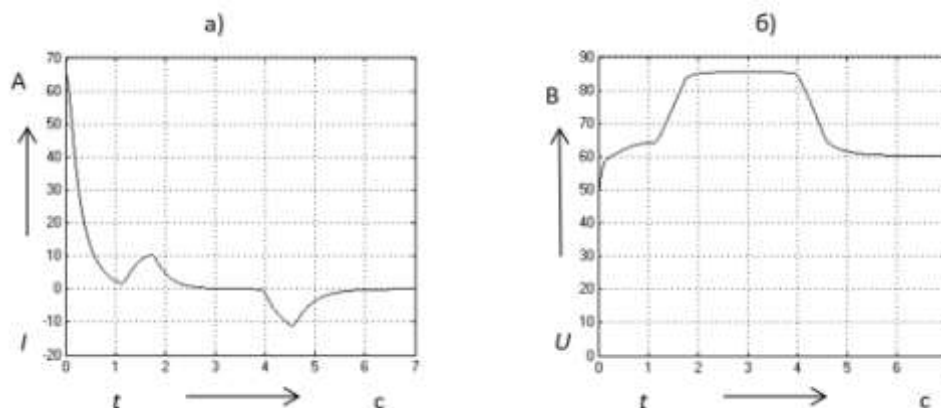


Рис.4. Ток заряда-разряда конденсатора  $C_2$  - (а) и напряжение на нём – б)

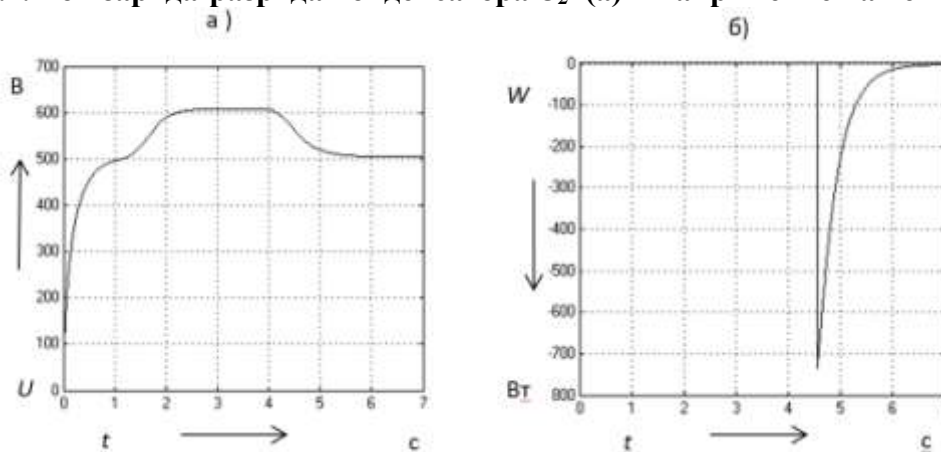


Рис.5. Напряжение на конденсаторе  $C_1$  – а) и мощность отдаваемая конденсатором  $C_2$  при разряде – б)

Для емкостного накопителя на основе востребованной двухуровневой схемы понижающе - повышающего ( buck-boost ) преобразователя постоянного напряжения DC/DC получена структурная схема и предложена модель в среде МАТЛАБ системы регулирования напряжения на шине постоянного тока. Эта модель позволяет моделировать процессы заряда-разряда суперконденсатора накопителя. Рассматриваемая схема емкостного накопителя может быть использована для повышения энергоэффективности частотно-регулируемых безредукторных электроприводов лифтов, и предложенная модель позволяет оценивать эффективность её использования в таких приводах.

#### Литература

1. Коваль, А.С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2009. – №4 – С.113-120.
2. P.J.Grobovic, P.Delarue, P.Le Moigne, P.Bartholomeus. The ultracapacitor-based controlled electric drives with braking and ride-through capability: overview and analysis, IEEE Trans. on Ind.Electron.,vol.58,no.3, pp.925-936, March 2011

*А.А. Косачёва, маг; рук. Д.И. Баловнев, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Абсолютное энергообеспечение без перебоев принимает особую роль в условиях энергетической нестабильности. На сегодняшний день более половины российской территории, в первую очередь удаленные районы Дальнего Востока, Крайнего Севера и Восточной Сибири, где живет около двадцати процентов населения страны, не имеет централизованного электроснабжения. Кроме этого, остается неэлектрифицированной значительная доля садоводческих участков, фермерских хозяйств, леспромхозов, а также местных производств в Европейской части страны. Пополнить отсутствие централизованного энергоснабжения могут автономные электрические установки небольшой мощности, в том числе в отдаленных или экономически неразвитых районах, использующие как традиционные источники энергии, так и нетрадиционными, восстанавливающие источники.

Стоит заметить, что сегодня автономное электроснабжение пользуется высоким спросом при решении сложностей с электроснабжением отдельных потребителей и становится гораздо востребованнее.

Автономные электростанции, основанные на базе дизель-генераторных установках, все чаще применяются как основные источники питания для объектов стационарного типа, которые удалены от централизованных систем энергоснабжения, а также для повышения качества питания потребителей. Традиционно дизельные электрические станции применялись как аварийные и дополнительные устройства, и из-за этого требования к качеству вырабатываемого напряжения, надежности, экономичности были в значительной степени ниже, чем указано по ГОСТу от электрогенерирующих источников, работающих на сети общего назначения.

Производство этого поколения электротехнических устройств по выработке электроэнергии вызвала решения научно-технических проблем: повышение устойчивости частоты и напряжения, сокращение расхода топлива, повышение динамических характеристик, снижение уровня шума, что и определило важность данной работы.

Цель данной статьи: спроектировать синхронный генератор, изучить проблемы качества электроэнергии и найти их оптимальное решение.

В качестве объекта исследования был выбран явнополусный синхронный генератор малой мощности.