

УДК 629.4.016.15

Ю. В. ПРИЛЕПСКИЙ, канд. техн. наук, доц. ДонИЖТ, Донецк
И. В. ГРИЦУК, канд. техн. наук, доц. ДонИЖТ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕКУПЕРАЦИИ В ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Представлены результаты исследования процессов в преобразователе системы рекуперации электрической энергии с использованием физической модели рекуперативной системы транспортного средства с электрической передачей. Исследовалась устойчивость генераторного блока к изменению напряжения питания и влияние искрения в контактах и соединениях на работоспособность силового блока системы.

Ключевые слова: транспортное средство, передача электрическая, система рекуперации, физическая модель, процессы переходные.

Введение. Расход топливно-энергетических ресурсов – один из основных эксплуатационных показателей транспортного средства. Рекуперация энергии (отбор и накопление энергии на тормозных режимах и использование ее на тяговых) является эффективным способом экономии топлива на транспорте. В настоящее время коллективом ДонИЖТ проводятся работы по изучению процессов рекуперации энергии на колесных транспортных средствах с электрической передачей (тягой). С целью минимизации затрат при проведении исследований, создана физическая модель электрической передачи с системой рекуперации электрической энергии [1]. На данной модели исследовали изменения параметров системы в зависимости от выбранных режимов работы.

Постановка задачи. Стабильность работы устройств во многом определяются их восприимчивостью к возмущающим факторам. В данном случае, генераторный блок определяет величину тока преобразователя напряжения, в связи с чем, стабильность его работы является основой качественной работы системы рекуперации электрической энергии. В этой связи, в рамках данной работы исследовали влияние изменения напряжения питания на стабильность рабочей частоты генераторного блока. Кроме того, наличие в схеме индуктивностей предопределяет возможность появления скачкообразных изменений напряжения в случае работы контактных прерывателей или наличия в силовой цепи некачественного контакта (окисленность, засоренность или слабая затяжка). При этом, изменения напряжения могут достичь предельной величины для электронных компонентов схемы, что вызовет их выход из строя. Поэтому, в рамках данной работы изучали влияние искрового контакта в цепи питания силового блока на работоспособность отдельных элементов и устройства в целом.

Описание физической модели. Исследования проводили на физической модели рекуперативной системы, блок-схема которой представлена на рис. 1.

Физическая модель состоит из механической и электрической частей. Механическая часть представлена моделью тягового двигателя транспортного средства Д2 и двигателя-имитатора внешней нагрузки Д1, соединенных клиноременной передачей с передаточным отношением $i = 1$ и регулируемым натяжением ремня для изучения влияния боксования на процессы в системе рекуперации. Электрическая (электронная) часть представлена блоками управления, накопителем электрической энергии C_n конденсаторного типа и преобразователем напряжения, состоящим из

© Ю. В. Прилепский, И. В. Грицук, 2013

генераторного и силового блока. Выбор конденсаторов в качестве накопителей электрической энергии обусловлен их низким внутренним сопротивлением по сравнению с аккумуляторами, постоянством внутреннего сопротивления при изменении уровня заряженности, длительным гарантированным сроком службы (до 15 лет) [2]. В физической модели в качестве накопителей использовали батарею из 10 последовательно соединенных конденсаторов ЭК405 с характеристиками, представленными в таблице.

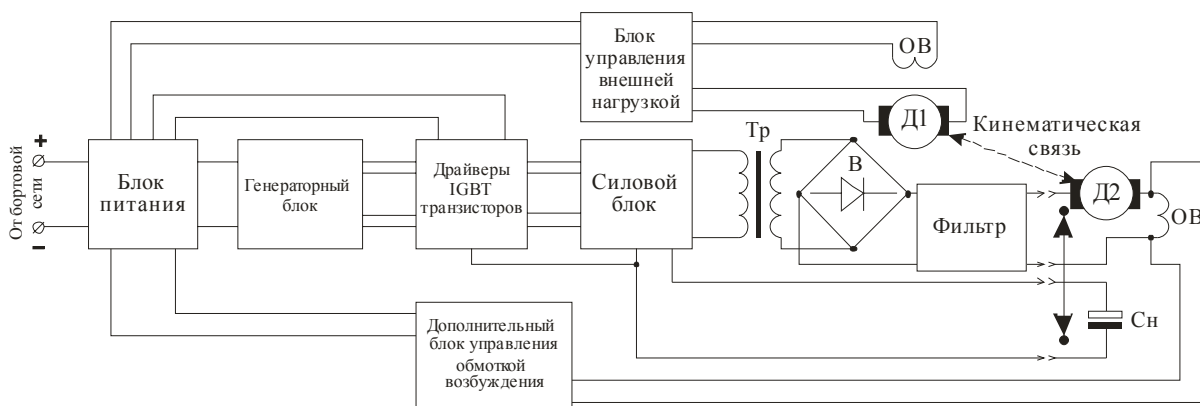


Рисунок 1 – Блок-схема физической модели рекуперативной системы транспортного средства с электрической передачей

Таблица – Основные характеристики конденсаторов ЭК405

Параметры	Значение параметров для	
	ЭК405	10ЭК405*
Рабочее напряжение, В	1,45	14,5
Максимальное рабочее напряжение, В	1,5	15
Минимальное напряжение при отсутствии тока при хранении, В	0,3	3
Емкость электрическая, Ф	12000	1200
Внутреннее сопротивление, мОм	при: +20 ⁰ С	0,5
	- 30 ⁰ С	0,9
Полная запасаемая энергия, кДж	12,6	126
Максимальная мощность, кВт	1,0	10
Масса, кг	0,9	9
Габаритные размеры, мм	31,5 x 83,5 x 209	
Рабочая температура, ⁰ С	- 50/+ 60	

*¹) конструктивное выполнение из 10 элементов

Принципиальная схема генераторного блока приведена на рис. 2.

Основу генераторного блока составляет двухтактный ШИМ-контроллер, выполненный на микросхеме DA1, частота которого определяется параметрами времязадающей цепочки R1, C4. Переменным резистором R10 или сигналами в цепи обратной связи регулируется скважность импульсов от 0 до 0,89, за счет чего осуществляется регулирование электрических параметров в силовом блоке системы.

Оптрон VA1 и VA2 в цепи формирования сигналов для драйверов IGBT транзисторов силового блока и оптоны VA3 в цепи обратной связи служат для гальванической развязки сети управления и сети силового блока системы рекуперации.

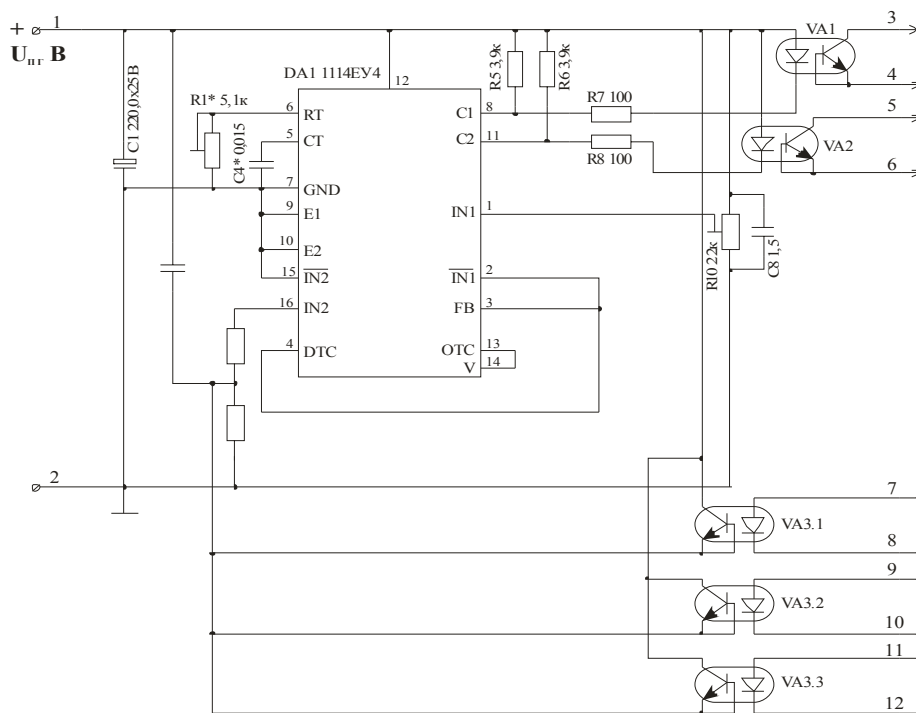


Рисунок 2 – Принципиальная схема генераторного блока

В данной физической модели рекуперативной системы опробованы 4 схемы силового блока. В упрощенном варианте их принципиальные схемы представлены на рис. 3.

На основе испытаний силовых блоков, выбор остановили на варианте мостовой схемы с последовательным колебательным контуром, поскольку форма импульсов во вторичной обмотке трансформатора Tr наилучшим образом соответствовала синусоидальной (см. рис. 4). Этот фактор определил также минимизацию потерь электрической энергии в преобразователе. Именно данную схему использовали в дальнейших исследованиях.

Результаты исследований. Главными требованиями к генераторной части рекуперативной системы является стабильность частоты импульсов, генерируемых ею, и стабильность напряжения этих импульсов. Напряжение питания $U_{п}$ меняли от 30 В до 3,6 В с шагом примерно 5 В, 1В и 0,1 В. Частоту колебаний установили на уровне 1166 Гц.

Результаты испытаний приведены на рис.5. Как следует из приведенных данных, влияние напряжения питания генератора на частоту импульсов практически отсутствует в достаточно широком диапазоне (7 ... 30 В), а разница в значениях частоты находится в пределах погрешности измерения. В то же время, снижение напряжения от 7 В вызывает повышение частоты генерации. При достижении напряжения питания 3,8 В, генерация исчезает.

Для амплитудного значения напряжения импульсов, со снижением напряжения питания, наблюдается пропорциональное снижение этого параметра. При срыве генерации напряжение равно напряжению питания. Таким образом, исходя из приведенных результатов, напряжение питания генераторной части необходимо стабилизировать для постоянства амплитудного значения импульсов на выходе контроллера. Наиболее целесообразным является напряжение питания $U_{п} = 15$ В от стабилизированного источника электропитания.

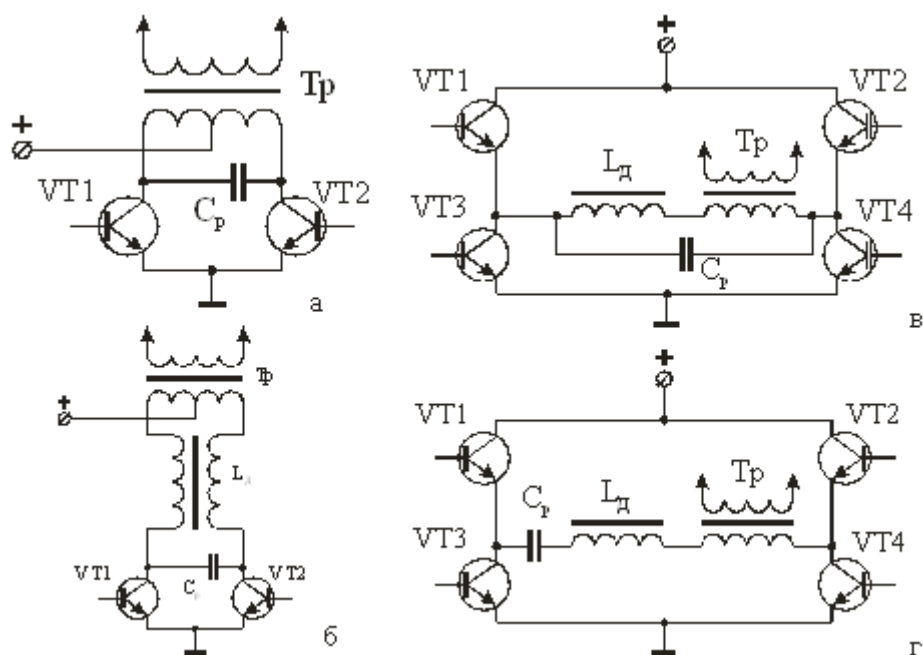
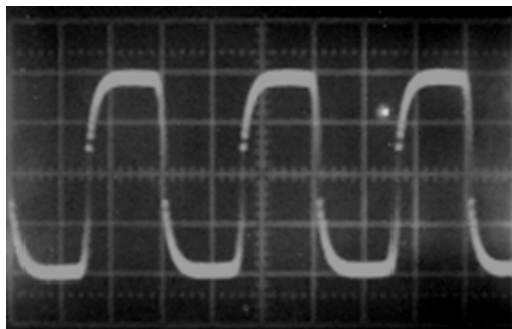


Рисунок 3 – Принципиальні схеми силового блоку преобразователя напряжения системы рекуперации: а – двухплечевая без дополнительной индуктивности; б – двухплечевая с дополнительной индуктивностью $L_{д}$; в) - мостовая с дополнительной индуктивностью $L_{д}$ и параллельным колебательным контуром; г) - мостовая с дополнительной индуктивностью $L_{д}$ и последовательным колебательным контуром



Параметры снятия осциллограммы: частота развертки - 20 кГц (длительность 5 мкс/дел); чувствительность канала вертикального отклонения - 50 В/дел
Рисунок 4 – Осциллограмма формы сигнала в выходной обмотке трансформатора силового блока

При определении влияния искрового контакта на параметры рекуперативной системы в силовую сеть включали имитатор искрового контакта, представляющий из себя пластину с токопроводящими и изолирующими промежутками. При проведении по нему контактным проводом генерируется пакет искровых разрядов. Амплитуду напряжения в цепи коллектор – эмиттер IGBT транзисторов оценивали с помощью максиметра детекторного типа. Результаты исследований представлены на рис. 6.

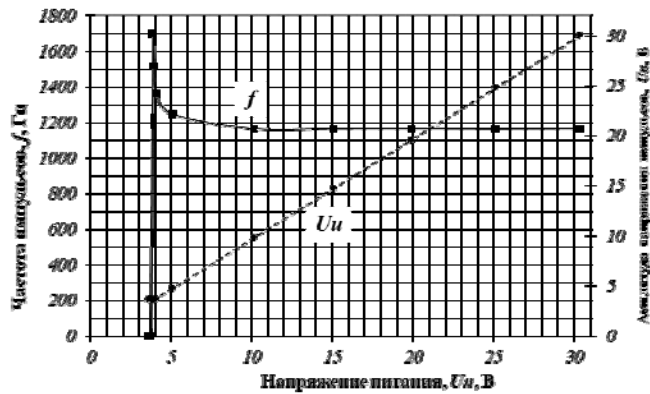


Рисунок 5 – Влияние изменения напряжения питания генераторного блока на его характеристики

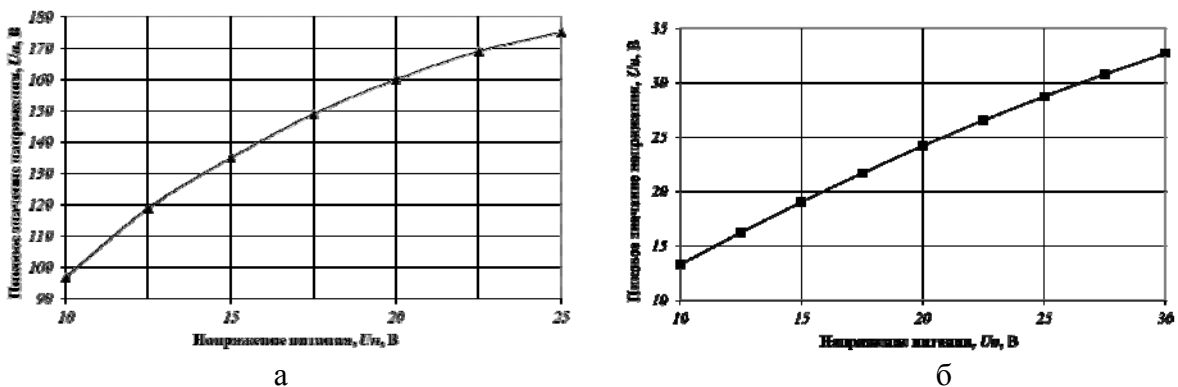


Рисунок 6 – Изменение пикового значения напряжения цепи коллектор – эмиттер IGBT транзисторов от величины напряжения питания при действии искрового контакта: а – без сглаживающей цепочки; б – при наличии сглаживающей цепочки

Как следует из приведенных на рис. 6, а) результатов, всплески напряжений в цепи коллектор – эмиттер IGBT транзисторов при воздействии искрового контакта довольно значительны и во много раз превышают значения напряжения питания. Это может привести к выходу из строя дорогостоящих транзисторов. Для устранения показанного явления предложена дополнительная сглаживающая цепочка (см. рис. 7), позволившая значительно снизить пиковые напряжения при наличии искрового контакта (см. рис. 6, б).

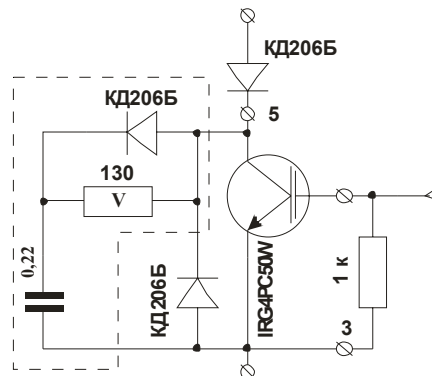


Рисунок 7 – Включение IGBT транзисторов со сглаживающей цепочкой (показана пунктиром)

Выводы. 1. Проверка влияния внешних факторов на работоспособность генераторного блока системы рекуперации показала, что в интервале напряжений питания 7 ... 30 В частота импульсов и их скважность остаются постоянными. Амплитудное значение напряжения импульсов возрастает прямо пропорционально росту напряжения питания генераторного блока.

2. Для стабилизации напряжения импульсов генераторного блока, его питания должно осуществляться от стабилизированного источника напряжения. Оптимальное значение стабилизированного напряжения должно быть на уровне 15 В.

3. Для предотвращения формирования значительных импульсов напряжения в силовой сети при закрытии IGBT транзисторов и наличии искрового контакта в силовой сети, в схеме должна быть цепь сглаживания фронта роста напряжения между коллектором и эмиттером. Это позволяет предотвратить выход из строя этих дорогих транзисторов.

Список литературы: 1. Черняк Ю. В. Фізична модель рекуперативної системи маневрового тепловозу / Ю. В. Черняк, Ю. В. Прилепський, І. В. Грицук. – Донецьк: ДонІЗТ. 2010. – 196 с.: [іл. 131, табл. 38]. ISBN 978-966-8707-28-5. **2.** Варакин А. И. Применение электрохимических конденсаторов в составе гибридных силовых установок маневровых и магистральных тепловозов / А. И. Варакин, И. Н. Варакин, В. В. Менухов // НТТ, 2007, № 2.

Надійшла до редколегії 12.05.2013

УДК 629.4.016.15

Использование физической модели для исследования процессов рекуперации в транспортных средствах с электрической передачей / Ю. В. Прилепский, И. В. Грицук, // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 134–139. – Бібліогр.: 2 назв.

Представлені результати дослідження процесів в перетворювачі системи рекуперації електричної енергії з використанням фізичної моделі рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею. Досліджувалася стійкість генераторного блоку до зміни напруги живлення і вплив іскріння в контактах і з'єднаннях на працездатність силового блоку системи.

Ключові слова: транспортний засіб, передача електрична, система рекуперації, фізична модель, процеси перехідні.

The results of investigations of the inverter power recovery system using a physical model of a regenerative vehicle with electric transmission. We investigated the stability of the generator unit to a change in the supply voltage and the effect of sparking the contacts and connections on the performance of the power unit of the system.

Keywords: vehicle, electric transmission, system recovery, the physical model, the processes of transition.