УДК 629.424.1:621.319.4

ПРИЛЕПСКИЙ Ю.В.,к.т.н., доцент (ДонІЗТ);
ЧЕРНЯК Ю.В.,к.т.н., доцент (ГосЭТУТ);
ГРИЦУК И.В.,к..т.н., доцент (ДонІЗТ);
ЮРЬЕВ В.С., студент (ДонІЗТ).

Усовершенствование электрической части физической модели рекуперативной системы маневрового тепловоза

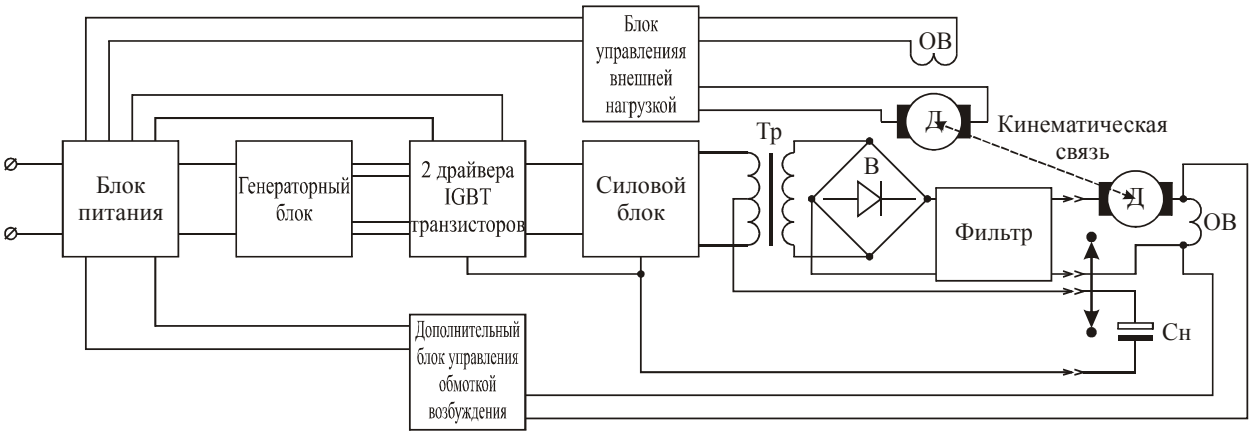
Введение

В настоящее время коллективом кафедры «Подвижной состав железных дорог» проводятся работы по созданию системы рекуперации электрической энергии для маневрового тепловоза ЧМЭ3Т.

В рамках хоздоговорной научно-исследовательской работы была создана физическая модель системы рекуперации с использованием преобразования электрической энергии и накопителями энергии конденсаторного типа /1, 2/.

Механическая часть модели включает два двигателя постоянного тока, связанных между собой клиноременной передачей с передаточным отношением i =1. Один из двигателей (с последовательным возбуждением) – модель тягового двигателя локомотива, а второй (с параллельным возбуждением) – имитатор внешней нагрузки.

Электрическая часть физической модели (рисунок 1) представляет из себя регулируемый по мощности преобразователь тока, на вход и выход которого включаются накопитель и модель тягового двигателя с возможностью реверсного их переключения (для имитации тяговых и тормозных режимов).



Тр – импульсный силовой трансформатор;
В – выпрямитель;
Д – двигатель постоянного тока;
ОВ – обмотка возбуждения;
Сн – электрический накопитель конденсаторного типа.

Рисунок 1.– Блок-схема электрической части физической модели рекуперативной системы

Основу преобразователя составляют: генераторный блок, блок управления силовыми ключами и непосредственно силовой блок, на выходе которого включен импульсный силовой трансформатор.

Генераторный блок, собранный на ШИМ контроллере (ШИМ – широтно-импульсная модуляция), формирует П-образные импульсы заданной частоты, изменяя скважность которых можно в широких пределах регулировать суммарный ток нагрузки. Скважность импульсов в данной схеме регулируется от 0 до 0,89. Блок драйверов формирует сигналы управления силовыми IGBT транзисторами (Integrated Gate Beepolar Tranzistor – интегрированный полевой и биполярный транзистор), которые работают в ключевом режиме.

Постановка задачи

Физическая модель позволила провести ряд опытов и в общих чертах определить схему будущей реальной системы рекуперации, подобрать элементную базу.

Вместе с тем, одним из требований к электроэнергетическим установкам, работающим на повышенных частотах, является стабильность рабочей частоты с возможностью ее отклонения от нормированных частот в пределах $\pm$ 10%. Это довольно жесткое требование с учетом того, что электрические параметры при колебаниях нагрузки изменяются в довольно широких пределах. В частности, это относится к индуктивности силового импульсного трансформатора преобразователя, что не может не сказаться на значении резонансной частоты.

Цель исследований

Разработка методики настройки преобразователя рекуперативной системы на оптимальный частотный режим; исследование изменения резонансной частоты от тока нагрузки; совершенствование электрической схемы физической модели рекуперативной системы маневрового тепловоза.

Основная часть

Разработана методика настройки физической модели на оптимальную частоту, при которой в силовом импульсном трансформаторе будут наблюдаться минимальные потери.

Сущность метода заключается в том, что в безрезонансном режиме, с отключенной емкостью Ср (рисунок 2), без внешней нагрузки (в холостом режиме) изменяется частота генераторного блока. При этом регистрируются напряжение на коллекторах силовых IGBT транзисторов и ток питания силовой части преобразователя. На рисунке 3 представлена зависимость данных параметров от частоты.

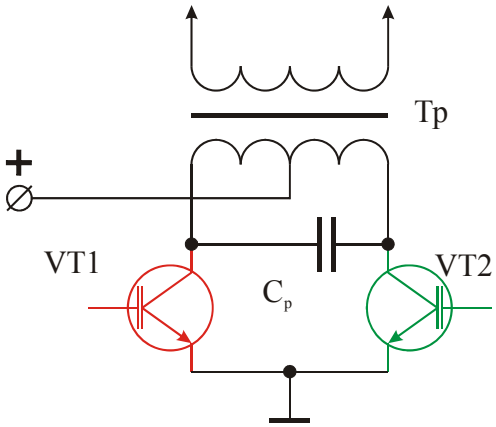


Рисунок 2. - Принципиальная схема выходной части силового блока с импульсным трансформатором

Оптимальной частотой для случая использования импульсного трансформатора с магнитопроводом из электротехнической стали следует считать частоту 2,3кГц, так как при этой частоте наблюдается максимальное напряжение на коллекторах IGBT транзисторов при минимальном токе холостого хода. При снижении частоты наблюдается увеличение тока холостого хода из-за снижения индуктивно-

го сопротивления первичной обмотки, а с увеличением частоты повышаются потери на паразитные токи Фуко в листах электротехнической стали.

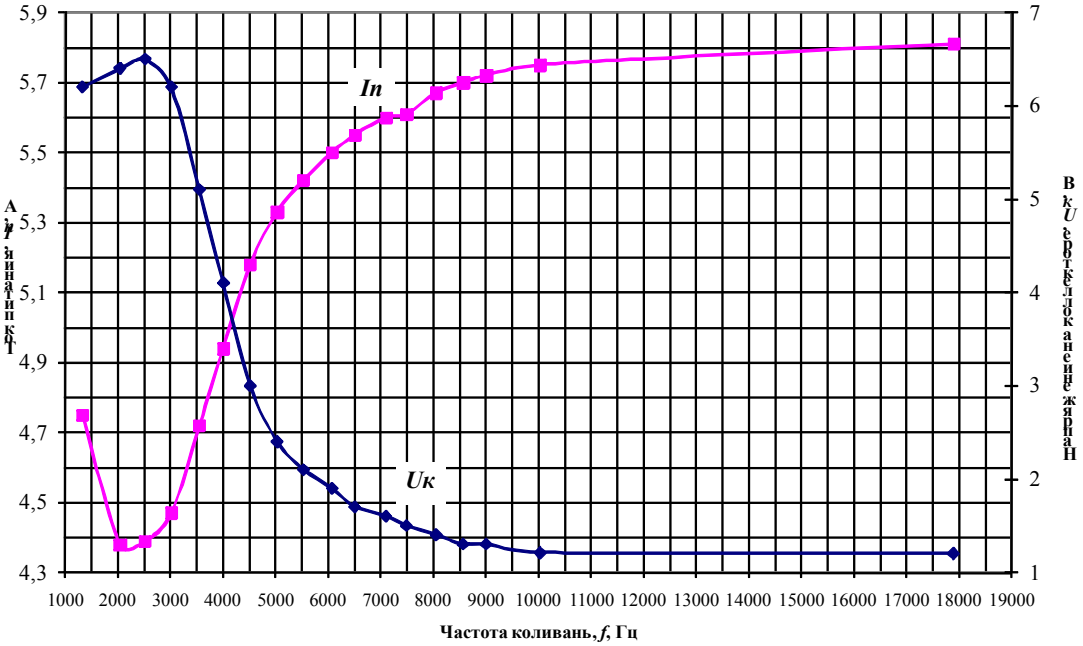


Рисунок 3. – Влияние рабочей частоты на параметры импульсного преобразователя

Однако, для эффективной работы преобразователя, необходим резонансный режим, когда частота генератора совпадает с собственной частотой колебаний выходного контура (рисунок 2), состоящий из резонансного конденсатора Ср и импульсного трансформатора Тр с нагрузкой.

Этого можно добиться, включив в схему положительную обратную связь для реализации автогенераторного режима. Однако, изменение величины нагрузки вызывает изменение индуктивности трансформатора, а, следовательно, изменяется и резонансная частота (рисунок 4).

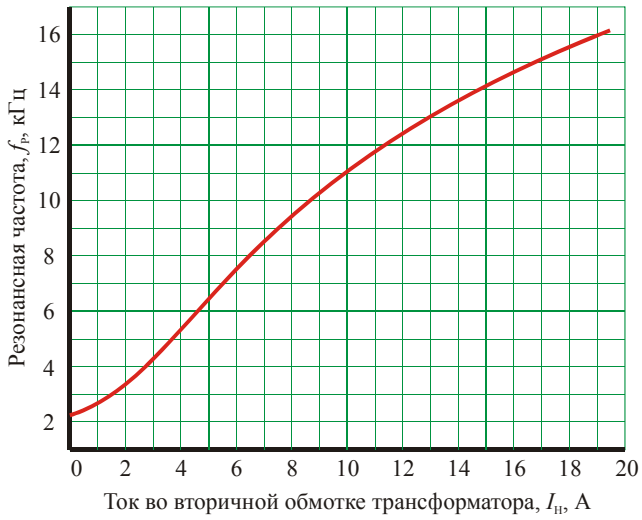


Рисунок 4. – Влияние тока во вторичной обмотке импульсного трансформатора на величину резонансной частоты преобразователя

Как следует из приведенной графической зависимости, при изменении тока выходной обмотки импульсного трансформатора (рисунок 2) от 0 до 20 А, резонансная частота возросла в 8 раз, что явно выходит за пределы ± 10 %.

В связи с этим, в настоящее время предложены и находится в стадии монтажа схемы стабилизации резонансной частоты преобразователя.

На рисунке 5 приведена схема с параллельным колебательным контуром, где в коллекторные цепи IGBT транзисторов включена дополнительная резонансная индуктивность, причем величина ее индуктивности примерно в 10 раз выше, чем индуктивность импульсного трансформатора.

Это позволяет стабилизировать собственную частоту выходного каскада и согласовать ее с частотой генераторного блока. К дополнительным достоинствам данной схемы следует отнести облегчение запирания коллекторной цепи IGBT транзисторов и возможность повысить их рабочую частоту. Однако, представленная схема дает возможность работать только с параллельным колебательным контуром, где реализуется резонанс по напряжению.

В настоящее время для физической модели разработана мостовая схема силового блока, в которой резонансный контур включен в потребляющую диагональ моста, образованного четырьмя коммутирующими транзисторами, которые включаются попарно.

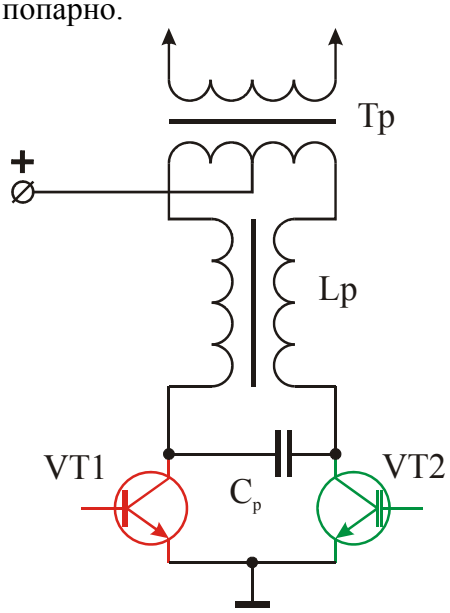
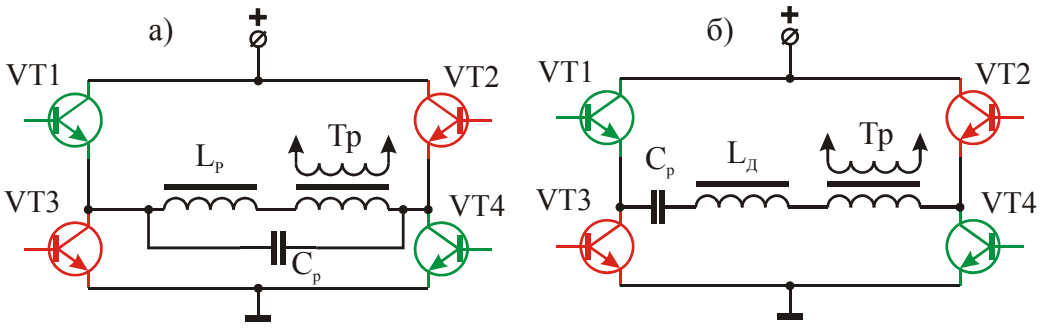


Рисунок 5. – Принципиальная схема выходной части силового блока с импульсным трансформатором и дополнительной индуктивностью

При этом, схема может работать как с параллельным колебательным контуром, так и с последовательным (рисунок 6).

Такая схема включения должна обеспечить стабильность резонансной частоты преобразователя и не допустить ее изменения за разрешенные пределы.



а) – с параллельным колебательным контуром;
б) – с последовательным колебательным контуром

Рисунок 6. – Мостовая схема выходного каскада силового блока преобразователя физической модели рекуперативной системы

Предложенные схемы позволяют стабилизировать резонансную частоту преобразователя на уровне + 4 % от нормированной величины, что вполне приемлемо с точки зрения соответствия к требованиям частотной стабильности энергетических установок.

Выводы

Разработана методика настраивания электрической части физической модели рекуперативной системы на оптимальный режим работы по минимизации потерь в безрезонансном режиме, что дает возможность обеспечить высокий КПД преобразования.

Показано, что при формировании колебательного контура из импульсного трансформатора и резонансной емкости, величина тока во вторичной обмотке импульсного трансформатора существенно влияет на индуктивность трансформатора и изменяет резонансную частоту в широких пределах. Это недопустимо с точки зрения требований к стабильности частоты энергетических установок.

Предложены схемы стабилизации резонансной частоты колебательного контура за счет введения в схему дополнительной индуктивности, включенной последовательно с первичной обмоткой импульсного трансформатора.

Список литературы

1. Черняк Ю.В., Прилепський Ю.В., Грицук І.В. Фізична модель рекуперативної системи маневрового тепловозу / Донецьк, ДонІЗТ, 2010, 196с. ISBN 978-966-8707-28-5.

2. Варакин А.И., Варакин И.Н., Менухов В.В. Применение электрохимических конденсаторов в составе гибридных силовых установок маневровых и магистральных тепловозов // НТТ, 2007, № 2.

Аннотации:

В статье рассмотрены возможные пути повышения стабильности резонансной частоты работы преобразователя физической модели рекуперативной системы маневрового тепловоза с электрической передачей.

У статті розглянуті можливі шляхи підвищення стабільності резонансної частоти роботи перетворювача фізичної моделі рекуперативної системи маневрового тепловоза з електричною передачею.

In article possible ways of increase of stability of resonant frequency of work of the converter of physical model of recuperative system of a shunting diesel locomotive with electric transfer are considered.