

П. Д. АНДРИЕНКО (ОАО НИИ «Преобразователь»), А. О. КАПЛИЕНКО (Запорожский национальный технический университет)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Розроблена модель ТП постійного струму, з подальшим проведенням на цій моделі дослідження електромагнітних процесів на підстанції в режимі рекуперації з пристроями поглинання енергії, для включення яких використовуються безконтактні вимикачі. Моделювання дозволило оцінити характер електромагнітних процесів, які відбуваються на ТП при роботі поглинаючого пристрою з безконтактними вимикачами, і провести оптимізацію процесів.

Разработана модель ТП постоянного тока, с последующим проведением на этой модели исследования электромагнитных процессов на подстанции в режиме рекуперации с устройствами поглощения энергии, для включения которых используются бесконтактные выключатели. Моделирование позволило оценить характер электромагнитных процессов, происходящих на ТП при работе поглощающего устройства с бесконтактными выключателями, и провести оптимизацию процессов.

The model of direct current traction substation, with the subsequent carrying out on this model the research of electromagnetic processes on the substation in a mode of recuperation with energy absorption devices for inclusion of which contactless switches are used is developed. The modeling has allowed to estimate character of electromagnetic processes occurring on the traction substation at work of the absorbing device with contactless switches and to optimize the processes.

Введение

В настоящее время сети городского и пригородного пассажирского электрического транспорта для питания тягового привода и иных потребителей энергии на подвижном составе используют системы электроснабжения от тяговых подстанций (ТП) постоянного тока 3300 В.

В связи с развитием железнодорожного электротранспорта, в настоящее время, все актуальнее становится задача экономии электроэнергии, что стало возможным благодаря такому процессу, как рекуперация. Рекуперация в системе электроснабжения постоянного тока осуществляется, когда кинетическая энергия подвижного состава в процессе торможения преобразуется в электрическую и с помощью специального инвертора передается непосредственно в питающую сеть. Этот экологически чистый процесс экономит энергию, которая в противном случае в обычных режимах торможения теряется. Но при рекуперации может возникнуть избыток электрической энергии, которую некому потребить. Этот избыток энергии возникает, когда на участке железной дороги находится рекуперирующий ЭПС, но нет потребляющего ЭПС или потребляющий ЭПС не может использовать всю энергию рекупера-

ции. В таком случае избыток электрической энергии поглощается на ТП специальными гасящими устройствами, включение которых осуществляют быстродействующей коммутационной аппаратурой.

Однако выключатели постоянного тока за последнее время мало изменились, и используемые сейчас для их включения контактные выключатели имеют ряд недостатков: ограниченный ресурс переключений; низкую частоту коммутаций; искрообразование, которое вызывает сильные высокочастотные электромагнитные помехи; требуют проведения регламентных работ и регулярной замены в течение срока службы.

Нововведением последних лет являются бесконтактные полупроводниковые выключатели, которые позволили бы не только повысить надежность подстанционной аппаратуры, но и снизить затраты на ремонт и обслуживание контактных выключателей.

На сегодняшний день существует острая необходимость в модернизации ТП постоянного тока. Поэтому актуальной задачей является исследование электромагнитных процессов на подстанциях при различных режимах их работы. Решение этой задачи может быть осуществлено с помощью разработанной авторами модели ТП.

Постановка задач исследования

Целью статьи является разработка модели ТП постоянного тока, с использованием бесконтактных выключателей для устройств гашения избыточной энергии для проведения на этой модели исследования электромагнитных процессов на подстанции в режиме рекуперации без потребления рекуперированной энергии на линии.

Материалы исследования

Авторами была рассмотрена схема ТП постоянного тока (рис. 1), где контактные выключатели

постоянного тока, которые используются для включения гасящих резисторов при избытке энергии рекуперации, были заменены на бесконтактные.

При моделировании использовались данные типовой тяговой подстанции мощностью 3 МВт [1], в схеме которой контактная аппаратура резисторов поглощения избыточной энергии рекуперации, была заменена на бесконтактную. Принимаем, что на линии находится электропоезд ЭР-2Т [2], который перешел в режим рекуперативного торможения.

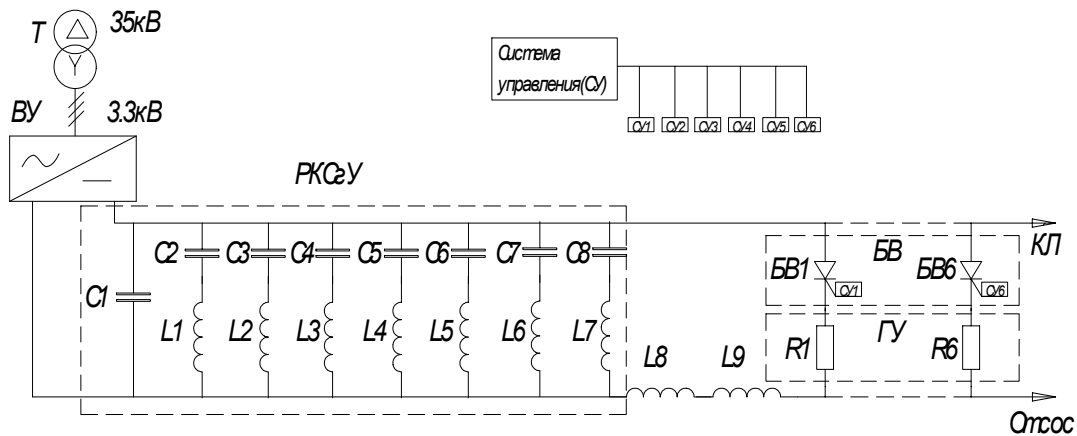


Рис. 1. Схема ТП постоянного тока с бесконтактными выключателями для устройств поглощения избыточной энергии рекуперации

Обозначение элементов схемы:

Т – понижающий трансформатор напряжения;

ВУ – выпрямительное устройство;

РКСГУ – резонансные контуры сглаживающего устройства;

L8, L9 – реакторы для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения;

БВ – бесконтактные выключатели;

ГУ – гасящее устройство.

Для проведения исследований электромагнитических процессов в предложенной авторами схеме была разработана имитационная модель, показанная на рис. 2. Исследование проводилось с помощью программного пакета Matlab 2006 при применении библиотеки SimPowerSystem [3-4].

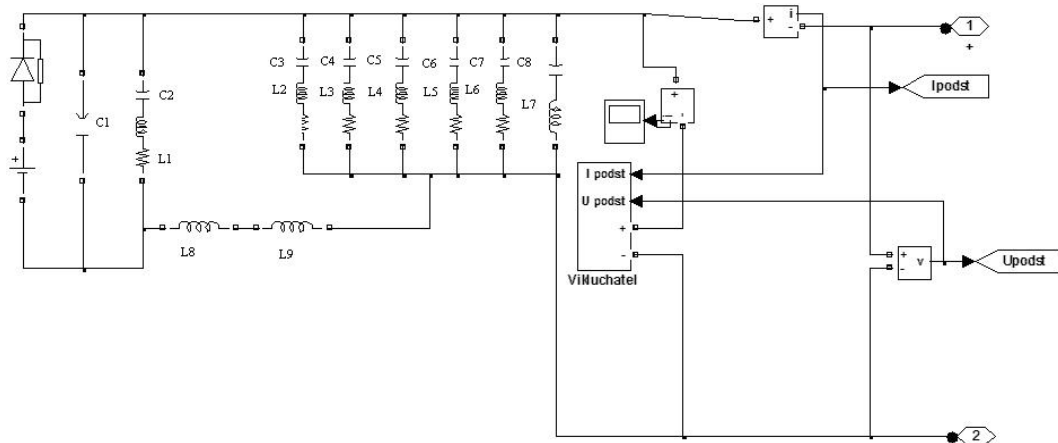


Рис. 2. Модель усовершенствованной схемы ТП постоянного тока

Vykluchatel – блок, содержащий 6 секций выключателей и систему управления их включением.

В данной модели блок с названием Vikluchatel представляет собой имитационную мо-

дель шести секций бесконтактных выключателей (S1-S6) с системой управления включением-выключением гасящих резисторов (Sistema Upravlenia), представленную на рис. 3.

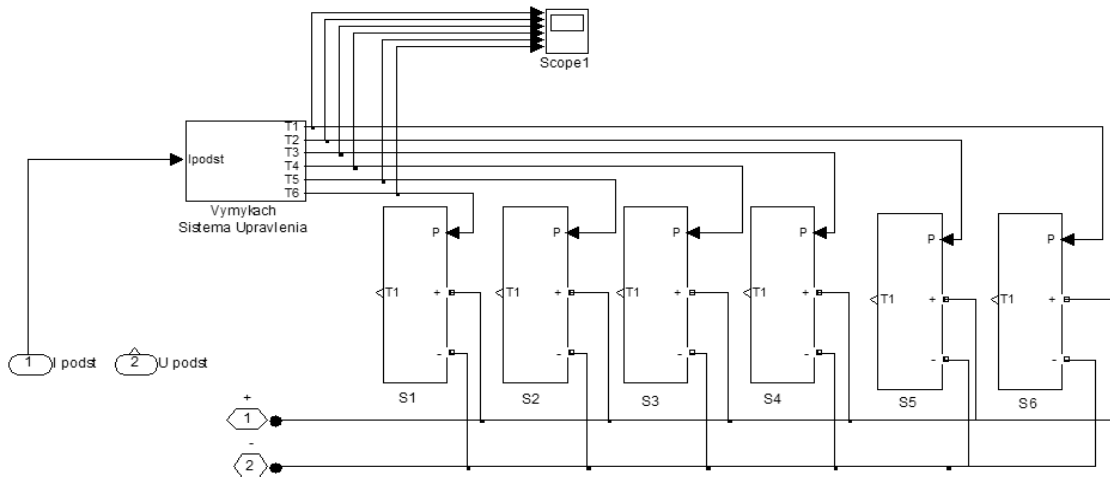
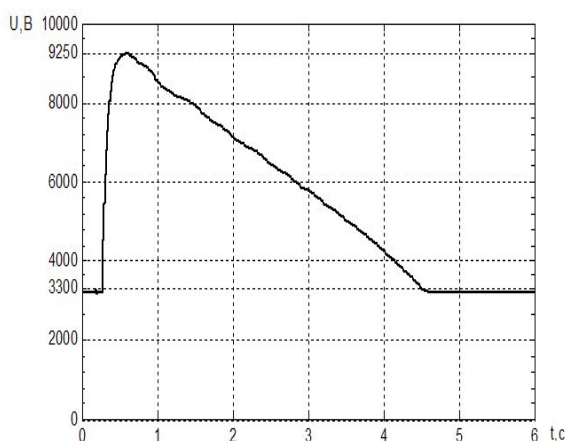


Рис. 3. Имитационная модель секций бесконтактных выключателей с системой управления

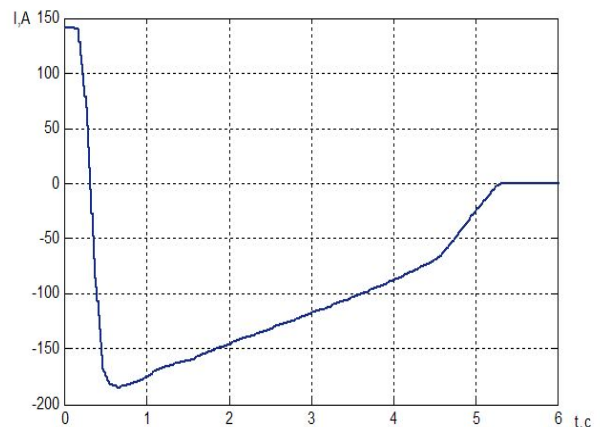
Система управления применяется при моделировании и обеспечивает ограничение максимально допустимого уровня напряжения, равного 4 кВ, на фидере ТП. Алгоритм системы управления состоит в том, что при увеличении (уменьшении) тока рекуперации от электроподвижного состава, происходит подключение (отключение) ступени гасящего устройства (в данном исследовании применено 6 ступеней) при достижении порогового значения напряжения.

На разработанной модели было проведено исследование аварийного режима работы ТП, а именно – рассмотрено перенапряжение, которое происходит при рекуперации энергии элект-

роподвижным составом без потребления рекуперированной энергии на линии рис. 4. Этот аварийный режим возникает, когда на участке тяговой сети нет ЭПС, который может использовать энергию рекуперации или в том случае, когда энергия рекуперации настолько велика, что ЭПС не может потребить ее полностью. Из графика видно, что даже при токе рекуперации около 200 А (что составляет 12 % от возможного тока рекуперации электропоезда), напряжение на фидере подстанции поднимается до 9 кВ, что недопустимо и является аварийным режимом. Для предотвращения подобных аварийных режимов на ТП и применяются гасящие резисторы.



а)



б)

Рис. 4. Характер электромагнитных процессов на фидере ТП при избытке энергии рекуперации: а) – напряжение; б) – ток

Авторами было проведено моделирование схемы ТП с применением быстродействующего бесконтактного выключателя. Результаты моделирования работы подстанции с рекуперир-

рующим составом на линии при отсутствии потребителей рекуперированной энергии и наличии устройств поглощения избыточной энергии приведены на рис. 5.

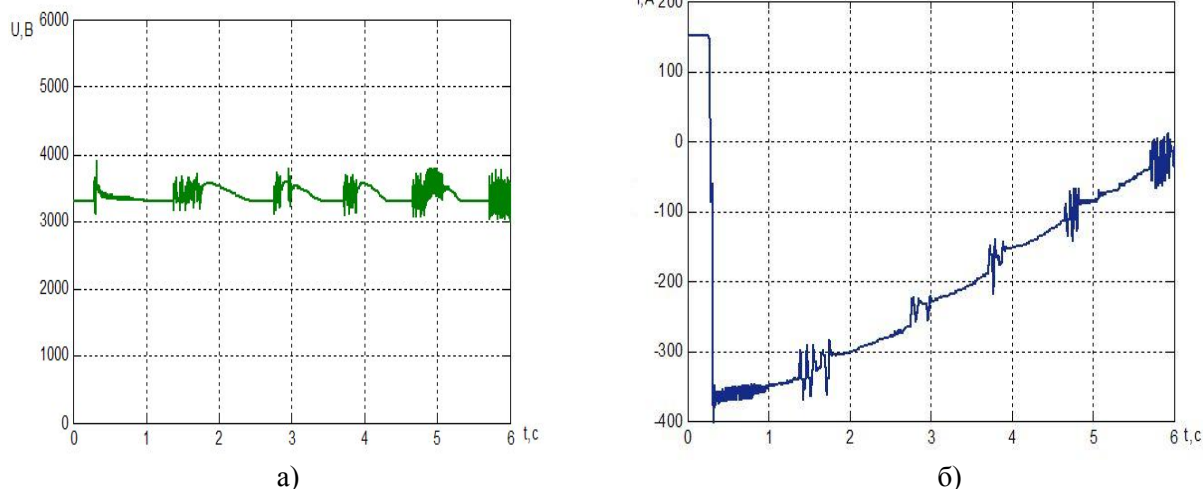


Рис. 5. Характер электромагнитных процессов на фидере ТП при включении гасящих резисторов: а) – напряжение; б) – ток

Как видно из графика, максимальное напряжение на фидере подстанции поддерживается системой управления бесконтактных выключателей гасящего устройства в допустимых пределах, не превышая 4 кВ. По мере уменьшения тока рекуперации и, соответственно, скорости ЭПС системой управления отключаются гасящие резисторы, что позволяет удерживать напряжение на фидере подстанции в заданных пределах. Из графиков на рис. 5 видно, что в процессе работы гасящего устройства с бесконтактными выключателями, возникают пульсации. Данные пульсации возникают в моменты отключения-включения системой управления последующего гасящего резистора. Пульсации происходят с частотой до 3 кГц и амплитудой напряжения до 600 В, а тока – до 50 А. Поэтому, в дальнейшем задачей авторов будет доработка алгоритмов работы системы управления, а также оптимизация каждой секции гасящего устройства для обеспечения наименьшего уровня пульсаций при работе бесконтактного выключателя. Отметим, что пульсации напряжения и тока, происходящие в моменты работы поглощающих устройств, за счет повышенной частоты модуляции, существенно ниже, чем при использовании контактной аппаратуры.

Выводы

Разработана имитационная модель ТП постоянного тока (с применением бесконтактных

выключателей вместо контактных), предназначенная для исследования электромеханических процессов в тяговой сети. Также был разработан алгоритм работы для управляющего модуля срабатывания выключателей гасящих резисторов. Проведенное моделирование позволило увидеть характер электромагнитных процессов происходящих при включении гасящих резисторов в системе ТП-ЭПС, в режиме рекуперации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бей Ю. М. Тяговые подстанции: Учеб. для вузов ж. д. транспорта / Ю. М. Бей, Р. Р. Мамошин, В. Н. Пупынин, М. Г. Шалимов. – М.: Транспорт, 1986. – 320 с.
2. Андриенко П.Д. Исследование динамики серийного электродвигателя с различными импульсными схемами регулирования. Электротехника та електроенергетика / П. Д. Андриенко, А. О. Каплиенко, С. І. Шило, І. Ю. Немудрий. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007, № 1/2007.
3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Учитель и ученик, Корона-принт, 2002. – 304 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. – СПб.: Учитель и ученик, Корона-принт, 2001. – 319 с.

Поступила в редколлегию 11.02.2008.