

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Введение.** В настоящее время в сети городского и пригородного пассажирского электрического транспорта для питания тягового привода и иных потребителей энергии на подвижном составе используется система электроснабжения с питанием от контактной сети постоянного тока.

На магистральных железных дорогах общего пользования и путях промышленного транспорта, работающих на постоянном токе, тяговые станции преобразуют трехфазный переменный ток в постоянный ток напряжением 275 В, 440 В, 1650 В и 3300 В. Тяговые подстанции (ТП) системы постоянного тока получают переменный ток высокого напряжения из общей энергетической сети и с помощью трансформаторов и выпрямителей преобразуют его в постоянный ток пониженного напряжения [1].

В связи с внедрением на электротранспорте систем с рекуперацией энергии используют реверсивные выпрямители или устройства гашения избыточной (когда на линии нет потребителей) энергии рекуперации. В устройствах поглощения энергии рекуперации подключение резисторов гашения осуществляется с помощью быстродействующих выключателей. Введение бесконтактных полупроводниковых выключателей позволяет повысить надежность поглощающих устройств и снизить затраты на ремонт и обслуживание [2].

В связи с необходимостью модернизации ТП постоянного тока актуальной задачей является исследование электромагнитных процессов на подстанциях с применением бесконтактной аппаратуры, имеющей высокое быстродействие, при различных режимах их работы.

**Постановка задач исследования.** Целью статьи является разработка модели 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.

**Материалы исследования.** Для проведения исследований электромагнитных процессов в схеме ТП была разработана имитационная модель, показанная на рис. 1. Исследование проводилось с помощью программного пакета Matlab 2006 при применении библиотеки SimPowerSystem[3].

При моделировании использовались данные типовой тяговой подстанции мощностью 3 МВт, в схеме которой контактная аппаратура резисторов поглощения избыточной энергии рекуперации была заменена на бесконтактную. Принимаем, что на линии находится электропоезд ЭР-2Т[4], который перешел в режим рекуперативного торможения.

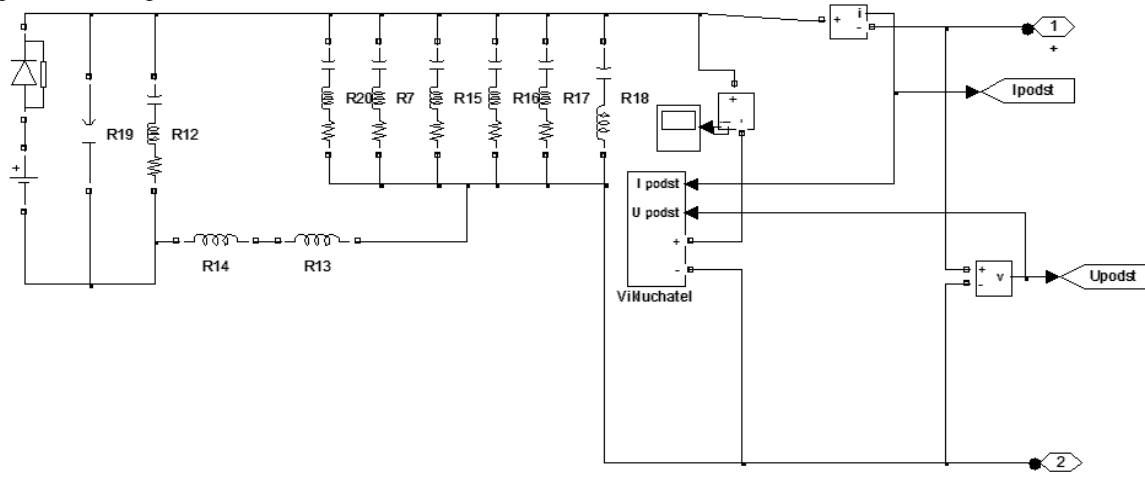


Рис. 1. Имитационная модель схемы ТП постоянного тока

Исходя из принятых начальных условий, на разработанной модели было проведено исследование указанного выше режима работы ТП, а именно рассмотрено перенапряжение, которое возникает при рекуперации энергии электроподвижным составом без потребления рекуперированной энергии на линии (рис.2.) Как видно из графика, 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.

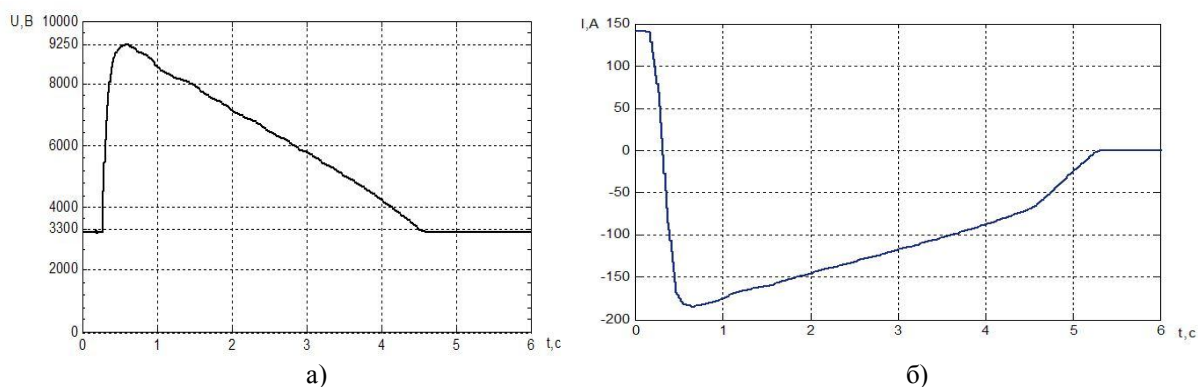


Рис.2 Характер электромагнитных процессов на фидере ТП при избытке энергии рекуперации  
 а) напряжение  
 б) ток

На рис.3 показаны результаты моделирования работы подстанции с рекуперирующим составом на линии при отсутствии потребителей рекуперированной энергии и наличии устройств поглощения избыточной энергии.

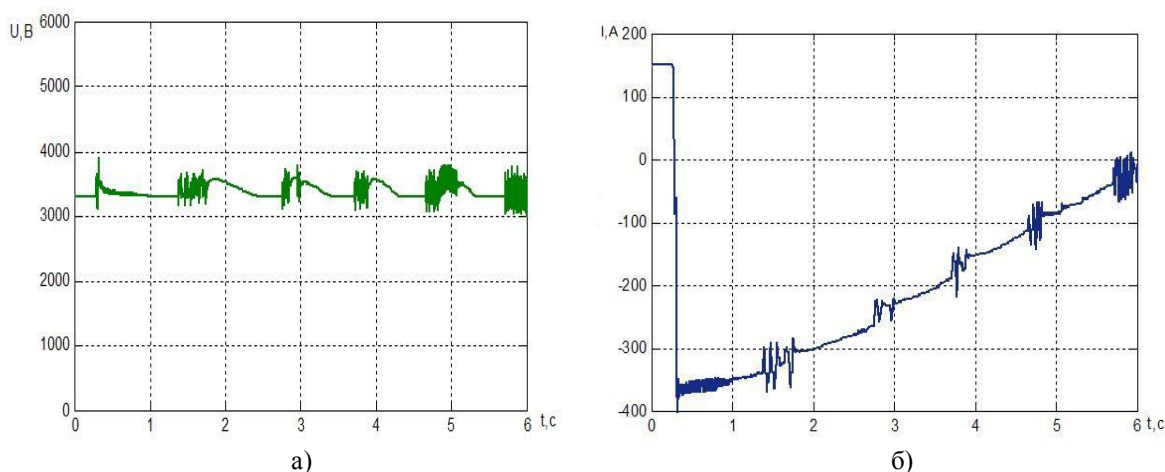


Рис.3. Характер электромагнитных процессов на фидере ТП при включении гасящих резисторов  
 а) напряжение  
 б) ток

Для поддержания допустимого уровня напряжения, равного 4 кВ, на фидере ТП при моделировании была применена система управления включением-выключением гасящих резисторов. Алгоритм данной 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). Однако, с уменьшением тока рекуперации при отключении системой управления последующего гасящего резистора происходят некоторые пульсации напряжения (тока) 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.

**Выводы.** Разработана имитационная модель ТП постоянного тока (с применением бесконтактных выключателей вместо контактных), предназначенная для исследования электромагнитных процессов в тяговой сети. Проведенное моделирование позволило оценить характер электромагнитных процессов, происходящих на ТП при работе поглощающего устройства с бесконтактными выключателями, и провести оптимизацию процессов.

#### Литература.

1. Ю. М. Бей, Р. Р. Мамошин, В. Н. Пупынин, М. Г. Шалимов. Тяговые подстанции: Учебник для вузов ж. д. транспорта. – М.: Транспорт, 1986. – 320 с., ил.
2. Развитие системы тягового электроснабжения постоянного тока // Железные дороги мира. – 1999. – № 5.
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. – СПб.: Учитель и ученик, Корона-принт, 2001. – 319 с., ил.
4. Андриенко П.Д., Каплиенко А.О., Шило С.И. Исследование динамики серийного электродвигателя с различными импульсными схемами регулирования // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – № 1. – С. 1 - 5.

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