

нитных процессов требует решения дифференциальных систем уравнений, что позволит также рассчитывать и переходные процессы, определять гармонические искажения, идентифицировать неизвестные параметры.

При составлении исходной системы уравнений удобно применить теорию графов и матриц. При этом полученную систему уравнений можно записать в матричной форме

$$\begin{pmatrix} M \\ NL \end{pmatrix} \frac{d\vec{i}}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{d\vec{j}}{dt} \\ N(\vec{e} - R\vec{i}) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где M – первая матрица соединений; N – вторая матрица соединений; L – матрица коэффициентов само- и взаимной индуктивности; R – матрица активных сопротивлений; \vec{i} – вектор неизвестных токов; \vec{e} – вектор источников напряжения; \vec{j} – вектор источников тока.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений необходимо окончательно систему уравнений записать в форме Коши

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \begin{pmatrix} M \\ NL \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \frac{d\vec{j}}{dt} \\ N(\vec{e} - R\vec{i}) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Далее при заданных начальных условиях производится расчет искомых значений функций токов численным методом.

В докладе рассматриваются вопросы моделирования совместной работы систем тягового, внешнего и нетягового электроснабжения железных дорог переменного тока, идентификация параметров тяговой сети и трансформатора подстанции, а также полученные при моделировании коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности и искажения синусоидальности напряжения с измеренными во время эксперимента на объекте показателями качества электроэнергии.

Список литературы

- 1 **Закарюкин, В. П.** Мультифункциональный подход к моделированию электроэнергетических систем / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков // Системный анализ и прикладная информатика. – 2013. – № 4 (40). – С. 100–107.
- 2 **Закарюкин, В. П.** Качество электроэнергии в линиях электропередачи «два провода – рельс» / В. П. Закарюкин // Электрификация транспорта. – 2014. – № 7. – С. 84–91.
- 3 **Закарюкин, В. П.** Параметрическая идентификация силовых трансформаторов / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, М. С. Шульгин // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 12 (59). – С. 219–227.
- 4 Энергетика тяговых сетей: монография / В. Г. Сиченко, В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, О. І. Саблін ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Сиченка ; М-во освіти і науки України, ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017. – 210 с.

УДК 621.331

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАКОПИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Д. А. БОСЫЙ, О. И. САБЛИН

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Наличие в режимах электропотребления электрического транспорта периодических колебаний, которые вызваны инерционностью его работы, обуславливает необходимость исследований о применении накопителей энергии, которые позволяют демпфировать колебания тяговой нагрузки, повышать эффективность использования энергии рекуперации, снижать потери электроэнергии и установленную мощность систем тягового электроснабжения. Временное сохранение энергии в

Для использования электровоза БКГ1 в режиме двойной тяги должна быть включена блокировка тормозной магистрали. Блокировка обеспечивается пневматическим клапаном, расположенным в блоке электропневматических приборов дистанционного крана машиниста (модуль *BP-Compact*), при отсутствии давления в его управляющей камере. Давление в управляющей камере может отсутствовать в двух случаях: при подаче напряжения на выключающий электропневматический вентиль, предназначенный для управления пневматическим клапаном блокировки тормозной магистрали, или при отсутствии давления на выходе реле давления в модуле *BP-Compact*.

По предварительной информации, представленной заводом-изготовителем, блокировка тормозной магистрали должна включаться путем подачи напряжения на электропневматический вентиль, предназначенный для управления пневматическим клапаном блокировки при постановке рукоятки контроллера крана машиниста в положение перекрыши без питания. Однако, как выяснилось при эксплуатации электровозов серии БКГ1, этого не происходит. Перекрыша без питания обеспечивается включением блокировки питательной магистрали. К тому же электронный блок управления тормозом *BCU* управляет снижением давления в уравнительном трубопроводе в соответствии со снижением давления в тормозной магистрали. Возможность управления блокировкой тормозной магистрали, несмотря на ее наличие, в программном обеспечении не заложена, что не позволяет использовать режим двойной тяги при совместной работе с другим локомотивом.

Для исследования взаимодействия тормозных систем электровозов ВЛ80С, БКГ1 и состава вагонов при выводе грузового поезда с перегона на станции Барановичи-Центральные проведены стационарные испытания. Для этого был сформирован грузовой поезд длиной 268 осей и массой 1553 т. В голову поезда прицепляли электровоз ВЛ80С, а за ним находился электровоз БКГ1. Электровоз БКГ1 переводили в режим двойной тяги.

На первом этапе испытаний рукоятку контроллера крана машиниста устанавливали в III положение и включали КЛУБ-У. Целью этого этапа являлась проверка возможности включения тяги при данном состоянии электровоза БКГ1 и возможности согласованных действий по управлению тормозами с двух локомотивов по поездной радиосвязи. Так как при торможении с головного электровоза на втором происходит такое же снижение давления в тормозной магистрали, согласование действий локомотивных бригад требуется только при проведении отпуска. При испытаниях выполняли экстренные, полные служебные и ступенчатые торможения.

Отпуск тормозов после экстренного торможения производили повышением давления в уравнительном резервуаре до 0,6 МПа после согласования по поездной радиосвязи одновременным переводом рукояток крана машиниста электровоза ВЛ80С и контроллера крана машиниста электровоза БКГ1 в I положение. Затем рукоятки устанавливали во II положение.

Не всегда удавалось обеспечить по поездной радиосвязи строго согласованные действия локомотивных бригад, что установлено по данным записей кассет регистрации КЛУБ-У. Однако даже при четком взаимодействии локомотивных бригад не удается достичь полной синхронизации отпуска из-за различия характеристик тормозного оборудования электровозов (различная проходимость крана машиниста и модуля *BP-Compact*, различный темп повышения давления уравнительном резервуаре (уравнительном трубопроводе) и в тормозной магистрали на разных локомотивах, различный темп медленной разрядки, различное давление в главных резервуарах локомотивов и т. д.). В результате на одном из этапов процесса зарядки тормозов происходит выпуск воздуха через кран машиниста одного из локомотивов, что может в некоторых случаях приводить к повторному срабатыванию тормозов в составе.

После полного служебного и ступенчатого торможений синхронизацию отпуска обеспечить проще вследствие необходимости повышения давления в уравнительных резервуарах и тормозной магистрали на меньшую величину, что вызывает меньше рассогласований. Однако полной синхронизации достичь не удается.

На втором этапе испытаний исследовалась возможность включения блокировки тормозной магистрали путем проведения ее полной разрядки и возможность включения тяги на электровозе БКГ1 в этом состоянии.

Теоретические основы этого предположения следующие. Если давление в тормозной магистрали снизить до атмосферного постановкой рукоятки контроллера крана машиниста в V или VI положение, то в управляющей камере пневматического клапана также будет отсутствовать избыточное давление, что приведет к его закрытию, то есть к включению блокировки тормозной магистрали. Затем рукоятку контроллера крана машиниста необходимо установить в III, IV, VA или V положе-

ние. При повышении давления в тормозной магистрали от внешнего источника сжатый воздух не сможет через реле давления модуля *BP-Compact* уходить в атмосферу.

Перед началом испытаний с целью проверки величины включающего давления в управляющей камере пневматического клапана блокировки на одиночном электровозе БКГ1 была выполнена разрядка тормозной магистрали V положением рукоятки контроллера крана машиниста. При давлении 0,05 МПа пневматический клапан закрывался и разрядка тормозной магистрали прекращалась, несмотря на то, что давление в уравнительном трубопроводе было снижено до атмосферного.

При испытаниях в сформированном опытном поезде рукоятку крана машиниста на электровозе ВЛ80С устанавливали в III положение. Электровоз БКГ1 находился в режиме двойной тяги. Затем производили полную разрядку тормозной магистрали всего поезда постановкой рукоятки контроллера крана машиниста на электровозе БКГ1 в VI положение. Таким образом обеспечивалось включение блокировки тормозной магистрали на электровозе БКГ1, после чего рукоятку контроллера крана машиниста переводили в III положение. На электровозе ВЛ80С кран машиниста устанавливался в положение зарядки и отпуска, с дальнейшим переводом в поездное положение после зарядки тормозной сети. После этих действий режим тяги на электровозе БКГ1 включался.

Все дальнейшие действия по управлению отпуском и последующими торможениями производились с электровоза ВЛ80С. Давление в уравнительном трубопроводе электровоза БКГ1 оставалось равным атмосферному.

Следует отметить, что при использовании указанного варианта взаимодействия локомотивов при выводе поезда с перегона или оказания помощи на станции рукоятку контроллера крана машиниста на электровозе БКГ1 после полной разрядки магистрали целесообразно устанавливать в положение служебного торможения (V положение). Это обеспечит надежность постоянного сообщения уравнительного трубопровода с атмосферой. Если после включения блокировки тормозной магистрали рукоятка контроллера крана машиниста будет переведена в I или II положения даже в течение короткого времени (достаточного для повышения давления в тормозной магистрали до 0,05 МПа), процедуру включения блокировки тормозной магистрали следует повторить.

Рассмотренный вариант взаимодействия тормозных систем электровозов в нынешней ситуации является наиболее рациональным, но не лучшим, так как требует подготовительных операций по полной разрядке тормозной магистрали. Руководству Белорусской железной дороги рекомендовано обратиться к изготовителю электровозов (или разработчику тормозной системы и системы управления тормозами) с требованием обеспечить программное включение блокировки тормозной магистрали посредством подачи напряжения на электропневматический вентиль. Это включение может быть предусмотрено либо при III положении рукоятки контроллера крана машиниста, либо при включении режима двойной тяги, либо при ручном включении специального тумблера или кнопки «Блокировка тормозной магистрали».

УДК 629.4

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ЛОКОМОТИВОВ

В. А. ГАТЧЕНКО

Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина

Вопросы модернизации подвижного состава становятся все более актуальными с каждым годом как в Украине, так и в других странах мира. Старение подвижного состава, большое количество отказов и неплановых ремонтов локомотивов, большая энергоемкость тяги поездов, низкий коэффициент использования локомотивов – эти и ряд других причин будут способствовать росту количества модернизаций. Проанализировав уже существующие модернизации, можно сделать вывод, что в основном проводится глубокая модернизация тягового подвижного состава. Так, для электроподвижного состава – это замена кабин, рам тележек с комплектом букс, механического оборудования, пультов управления, пневматического оборудования; для дизельного тягового подвижного состава – замена дизелей, гидропередат, систем управления. Также выполняют модернизацию отдельных узлов и систем локомотивов: упрочнение гребней колесных пар плазменным методом,