

ставлена в виде источника ЭДС, внутреннее сопротивление которого определяется в зависимости от напряжения короткого замыкания, а также расчетного напряжения холостого хода преобразователей тяговой подстанции. Подвижной состав представлен в виде источника тока как в режиме тяги, так и в режиме рекуперации.

Блок формирования математической модели НЭЭ. Аккумулирующая установка при формировании мгновенной схемы замещается конденсатором определенной емкости, рассчитанной исходя из количества и параметров ЭПС.

Блок расчета токораспределения в системе тягового электроснабжения. Расчет токов и напряжений в элементах СТЭ и НЭЭ производится по схеме замещения одним из существующих методов анализа электрических цепей. В цепях постоянного тока (СТЭ метрополитена и городского электрического транспорта) наиболее удобным способом расчёта для определения токов и напряжений во всех элементах схем замещения является метод контурных токов.

В настоящий момент нами ведется разработка компьютерной программы для реализации описанной структуры имитационной модели совместной работы СТЭ и подвижного состава с НЭЭ. В дальнейшем разработанная имитационная модель может быть рекомендована для определения токовых нагрузок, подбора оборудования и расчета экономии электроэнергии за счет применения в тяговых сетях НЭЭ.

Список литературы

- 1 **Шевлюгин, М. В.** Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.09.03 / М. В. Шевлюгин. – М., 2013. – 48 с.
- 2 **Заруцкая, Т. А.** Исследование эффективности применения сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии на тяговой подстанции постоянного тока : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Т. А. Заруцкая. – Ростов н/Д, 2004. – 21 с.
- 3 **Омельяненко, В. И.** Математическая модель режимов обмена энергией между накопителем и тяговым приводом пригородного электроподвижного состава / В. И. Омельяненко, Л. В. Оверьянова // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Транспорт-немашинобудування. – 2013. – № 31 (1004). – С. 101–104.
- 4 Стационарная система аккумуляции энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе емкостных накопителей энергии / Ю. А. Бродский [и др.]. // Электротехника. – 2008. – № 7. – С. 38–41.
- 5 **Черемисин, В. Т.** Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / В. Т. Черемисин, В. Л. Незевак, А. П. Шатохин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 10. – С. 54–64.

УДК 625.42

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

О. С. АНАНЬЕВА, В. Н. ПОДОЛЬСКАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Применение матричных методов расчета определяется прежде всего необходимостью совместного рассмотрения сетей тягового электроснабжения и электрического подвижного состава, что связано с решением задачи большой размерности. В результате полученные данные более точны и могут использоваться для проектирования новых и модернизации существующих железнодорожных участков и линий метрополитенов.

Электрический подвижной состав расходует на нужды тяги до 80 % электроэнергии от общего количества необходимой для предприятия. Одной из главных задач всех транспортных предприятий на сегодняшний день является экономия электроэнергии. Поэтому выбор рациональных схем и режимов работы тягового электроснабжения по-прежнему остается актуальной задачей.

Наиболее удобным способом формализации и расчетов электрических цепей является, как известно, использование матричных методов анализа. Эти методы широко известны и применяются для формализации электрических схем тягового электроснабжения (СТЭ) железных дорог, метрополитенов и городского электрического транспорта, а также для расчета токов и напряжений в их элементах. В основе разработанного расчета лежит обобщенный алгоритм Гаусса. При этом алго-

ритме используются матрицы, разбитые на прямоугольные части – «клетки» или «блоки». Действия над блочными матрицами производятся по тем же формальным правилам, как и в случае, когда вместо блоков имеем числовые элементы.

Исходными данными для предложенного метода являются принципиальная схема электроснабжения участка, результаты тяговых расчетов и сведения о размерах движения.

При совместной работе системы тягового электроснабжения и электрического подвижного состава применяются классические подходы расчета подобных систем. Расчет цепи предполагается вести модифицированным методом контурных токов в матричной форме. Значения контурных токов при использовании метода расчета определяются по выражению

$$I_k = (B \times R \times B^T)^{-1} B \times E,$$

где I_k – матрица-столбец контурных токов; B – матрица инцидентий второго рода; R – матрица сопротивлений ветвей; E – матрица ЭДС.

Токи в ветвях любой рассматриваемой схемы расчета определяются из выражения

$$I_b = B (B \times R \times B^T)^{-1} B \times E.$$

Особенностью рассматриваемых расчетов является тот факт, что сопротивления ветвей, имитирующих электрический подвижной состав (ЭПС), бесконечно велики, а токи их известны и не зависят от других параметров схемы. Поэтому нагрузки ЭПС моделируются идеальными источниками тока. При составлении дерева схемы хордами его принимаются все ветви, представленные источниками тока. Нумерация ветвей должна быть выбрана такой, чтобы основные матрицы были разбиты на отдельные самостоятельные блоки как в матрице соединений B , так и в матрице сопротивлений R . Пример такого дерева схемы приведен на рисунке 1.

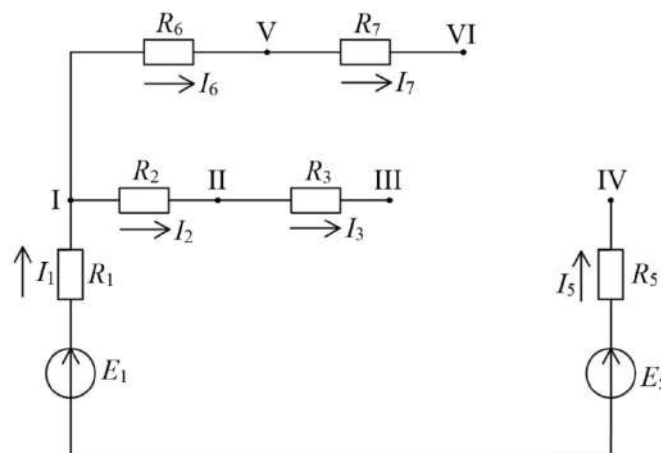


Рисунок 1 – Дерево схемы

Матрицами, характеризующими численные значения параметров цепи, являются: матрица сопротивлений схемы R , матрица ЭДС E , а также матрица токов J (токов ЭПС).

Сопротивления источников тока ветвей приняты равными бесконечности. Исходя из этого сопротивления ЭПС в матрице R заменены токами J . Однако в этом случае матрица ветвей не может быть названа как прежде (матрицей сопротивлений ветвей схемы), т. к. в ее состав кроме сопротивлений, входят также токи источников тока J (токи ЭПС). Для проведения дальнейших расчетов матрица R разбивается на 4 блока, в состав которых совместно не входят ветви, характеризующиеся значениями сопротивлений, и ветви источников токов, при этом 2 блока из 4 оказываются пустыми (нулевыми). Матрица соединений в соответствии с принятым порядком нумерации ветвей инцидентий также разбивается на блоки.

Эта методика позволяет значительно упростить расчеты электрических цепей СТЭ за счет применения модифицированного метода контурных токов, при котором рассматриваемая электрическая цепь описывается и рассчитывается в матричной форме, а также позволяет автоматизировать составление, формализацию и расчет мгновенных схем электрических цепей, даже с большим числом элементов, что имеет особое значение при расчете мгновенных схем питания тяговых сетей. При этом составление мгновенных схем для участков СТЭ рассматриваемым способом алгоритми-

зировано и позволяет свободно включать в расчеты дополнительные элементы (например, разные виды электрического подвижного состава).

Применение данной методики в сравнении с классическими методами расчета значительно упрощает определение параметров СТЭ при совместной работе с ЭПС. Это достигается за счет сокращения размеров матриц, подлежащих преобразованию, и, следовательно, объемов вычислений, что позволяет снизить затраты времени на работу модели и достаточно просто изменять какие-либо ее параметры.

УДК 625.032.3

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ ИСПЫТАНИИ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

А. Э. БАРАНКЕВИЧ, И. И. АРХУТИК, О. В. ХОЛОДИЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Допустимое воздействие железнодорожного подвижного состава на железнодорожный путь и стрелочные переводы оценивают по экспериментальным и экспериментально-расчетным показателям на основании результатов испытаний по воздействию железнодорожного подвижного состава на железнодорожный путь и стрелочные переводы.

Такие испытания проводят в рамках комплексных динамических (ходовых) по воздействию на железнодорожный путь и стрелочные переводы испытаний.

В процессе комплексных испытаний подвижного состава экспериментально определяют:

- динамические напряжения растяжения в кромках подошвы рельса в кривых и прямых участках железнодорожного пути, в переднем вылете рамных рельсов и переводных кривых стрелочных переводов, возникающие при изгибе и кручении рельса при взаимодействии с колесами железнодорожного подвижного состава;
- динамические напряжения в кромках острия стрелочных переводов, возникающие при изгибе и кручении острия при взаимодействии с колесами железнодорожного подвижного состава;
- боковые и вертикальные силы, передаваемые от колеса на рельс, а также выявляют колеса с дефектами на поверхности катания;
- горизонтальные и вертикальные силы, передаваемые от рельса на шпалу;
- рамные силы;
- динамические вертикальные силы, действующие на подрессоренную массу единицы железнодорожного подвижного состава.

Для исследовательских целей в процессе испытаний определяют также горизонтальные, вертикальные ускорения и перемещения рельсов, узлов рельсовых скреплений, шпал.

Для измерений боковых сил, воздействующих на головку рельса, применяют тензометрические схемы, собранные на шейке рельса. С помощью таких схем измеряют боковые силы по разности противоположных по знаку изгибающих моментов, возникающих в шейке рельса под воздействием боковых сил (метод Шлюмпфа) (рисунок 1).

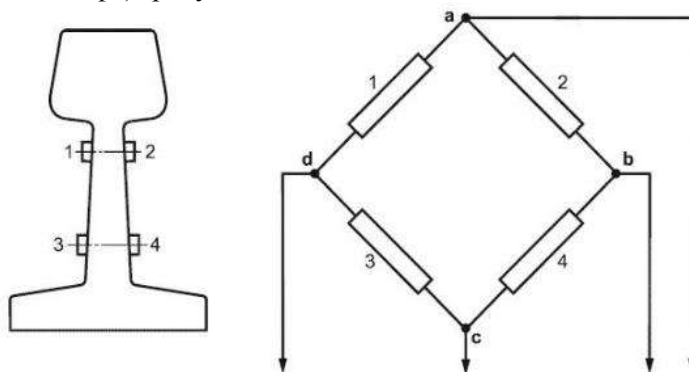


Рисунок 1 – Схема измерения боковых сил на шейке рельса.
Точки *a* и *c* – измерительная диагональ тензометрического моста; *d*, *b* – питание моста