

А. В. ЗАВГОРОДНИЙ (ГП Приднепровская ж.-д.), В. И. ГАВРИЛЮК (ДИИТ),
В. Г. СЫЧЕНКО (Днепропетровский орган сертификации ж.-д. транспорта)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ОПАСНОГО И МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Проведено аналіз електромагнітного впливу рухомого складу та системи тягового електропостачання на роботу рейкових кіл та автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії. Запропоновано методику визначення допустимих рівнів небезпечного та заважаючого електромагнітного впливу тягового струму на РК і АЛСН на основі комп'ютерного моделювання.

Проведен анализ электромагнитного влияния подвижного состава и системы тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа. Предложена методика определения допустимых уровней опасного и мешающего электромагнитного влияния тягового тока на РК и АЛСН на основе компьютерного моделирования.

An analysis of electromagnetic influence of rolling stock and traction power supply system on rail circuits and cab locomotive signalization has been provided. A method of determining permissible levels of dangerous and preventing electromagnetic influence of traction current on railway circuits and cab locomotive signalization has been proposed.

Введение

При разработке и внедрении новых типов подвижного состава с высоковольтными полупроводниковыми преобразователями электрической энергии проблема их электромагнитной совместимости с существующими устройствами железнодорожной автоматики является одной из важнейших при доказательстве безопасности и проведении их испытаний.

Однако нормативных документов, определяющих предельно допустимые уровни влияния тягового электроснабжения на линии автоматики, в Украине нет, а для оценки влияния системы тягового электроснабжения (СТЭС) на линии связи используют устаревшие нормативные документы, не учитывающие техническое переоснащение отрасли.

Отсутствие четкой стандартизированной нормативной базы, определяющей эксплуатационно-технические требования по электромагнитной совместимости, порядок и процедуру доказательства безопасности подвижного состава и системы тягового электроснабжения, затрудняет проведение соответствующих испытаний.

1. Цель и задачи исследований

Целью исследований является определение уровней опасного и мешающего электромагнитного влияния тягового тока на рельсовые цепи (РЦ) и автоматическую локомотивную сигнализацию непрерывного типа (АЛСН).

Проведение экспериментальных исследований для всех видов рельсовых цепей, используемых на железнодорожном транспорте Украины, с моделированием всех возможных ситуаций и сочетанием наиболее неблагоприятных, с точки зрения безопасности, условий их работы, является практически невыполнимой задачей.

В связи с этим в настоящей работе поставлена задача проведения анализа и выработки методики подхода к определению допустимых уровней опасного и мешающего электромагнитного влияния тягового тока на РК и АЛСН на основе компьютерного моделирования.

2. Анализ проблемы

Влияние тягового электроснабжения (ТЭС) электрифицированных железных дорог на рельсовые цепи можно упрощенно классифицировать следующим образом. Напряжение на контактном проводе наводит в рельсовой линии электростатические потенциалы относительно земли (электрическое влияние). Однако в силу небольшой емкости между контактным проводом и рельсами при напряжении 25 кВ это влияние можно не учитывать.

Переменный ток, протекающий в проводе при движении электровоза, наводит продольную электродвижущую силу (ЭДС), которая вызывает протекание в рельсовых нитях тока (электромагнитное влияние). Для однопутного участка вследствие симметрии системы этим влиянием также можно пренебречь.

Обратный тяговый ток, протекающий по рельсовой линии, оказывает значительное кондуктивное влияние на работу рельсовых цепей. Степень влияния характеризуется величиной обратного тягового тока в рельсовой линии на участке подключения аппаратуры приемного конца.

Величина обратного тягового тока, в свою очередь, определяется количеством и расположением электропоездов в фидерной зоне, их энергопотреблением, схемой электропитания (консольная или двухсторонняя), утечкой тягового тока в землю.

Другим основным фактором, характеризующим электромагнитное влияние, является схема канализации тягового тока (одноточная, двухточечная, схема межпутных соединений). Для двухточечной схемы канализации вводят коэффициент асимметрии тягового тока

$$K_a = \frac{I_{T1} - I_{T2}}{I_{T1} + I_{T2}} = \frac{I_{T1} - I_{T2}}{2I_T}, \quad (1)$$

где I_{T1} , I_{T2} - значения тягового тока соответственно в первой и второй рельсовых нитях.

В качестве третьего фактора электромагнитного влияния тягового тока можно выделить наличие в нем гармонических составляющих и их уровень. Относительное содержание в тяговом токе промышленной частоты гармонической составляющей с f -й частотой характеризуется коэффициентом гармоник

$$K_f = \frac{I_j}{I_{50}} \quad (2)$$

Степень влияния электромагнитных помех на РЦ определяется также устройствами защиты, примененными в них, а именно фильтрами, путевыми приемниками и т. д.

Проведем анализ влияния ТЭС на РЦ в соответствии с вышеизложенными факторами.

3. Методика исследований

Определение предельно допустимых уровней электромагнитного влияния ТЭС на РЦ проводили как теоретико-расчетными методами, так и путем экспериментальных измерений на действующих лабораторных стендах. Компьютерное моделирование проводили с помощью разработанной специальной программы, основывающейся на классической теории рельсовых цепей, а также с применением программы для моделирования PSpice.

Преимуществом компьютерного моделирования является возможность оперативного про-

ведения исследований для множества различных вариантов и параметров помехи. Экспериментальные исследования выполнены для подтверждения достоверности результатов, полученных при моделировании.

В основу определения предельно допустимых уровней гармонических помех с определенной частотой и фазой в РЦ, вызванных обратным тяговым током, положены критерии надежного выполнения всех режимов работы рельсовых цепей при неблагоприятных для этих режимов факторах.

Невыполнение нормального режима под действием помех приводит к мешающему влиянию, а шунтового и контрольного режимов – к опасному влиянию тягового тока на работу рельсовых цепей.

При компьютерном анализе использовали общепринятые для этих режимов эквивалентные схемы рельсовых цепей в виде каскадного соединения четырехполюсников.

Анализ проводили путем рассмотрения работы РЦ при наличии в ней суммарного тока, состоящего из сигнального тока i_s и тока гармонической помехи i_p

$$i_0(t) = I_{ms} \sin(\omega_s t + \varphi_s) + I_{mp} \sin(\omega_p t + \varphi_p), \quad (3)$$

где I_{ms} , ω_s , φ_s , I_{mp} , ω_p , φ_p – амплитудные значения, значения круговой частоты и начальной фазы соответственно сигнального тока и гармонической помехи. Параметры сигнального тока рассчитывали для самых неблагоприятных условий в отсутствие помехи. Для определения уровней опасного или мешающего влияния тягового тока проводили вариацию длины РЦ, основных параметров помехи - амплитуды, частоты, фазы при условии контроля напряжения (тока) на путевом приемнике. В процессе анализа определяли уровень помехи, при котором нарушается выполнение режимов работы рельсовых цепей. Критерием опасного или мешающего влияния служило повышение напряжения (тока) путевого приемника до напряжения (тока) его срабатывания в шунтовом и контрольном режимах или понижение напряжения (тока) приемника ниже напряжения (тока) возврата в нормальном режиме. Моделирование проводили на разработанной компьютерной программе, описывающей все необходимые РЦ.

Параметры аппаратуры приемного и передающего концов РЦ и рельсовой линии брали из справочной литературы [3; 4], соответ-

вующих нормалей, альбомов схем для типового проектирования, а правильность расчетов и моделирования проверялась сравнением результатов вычислений с экспериментальными данными, нормальными, регулировочными таблицами, литературными данными.

3.1. Методика исследований для шунтового и контрольного режимов. На вход путевого приемника в шунтовом и контрольном режимах действуют два сигнала – один соответствует сигнальному току, не превышающему по величине значение тока надежного возврата $I_{\text{нв}}$, а второй – ток помехи. При въезде локомотива на РЦ возможны два варианта возникновения опасного влияния гармонических помех тягового тока, приводящих к нарушению шунтового или контрольного режимов. В первом случае при въезде локомотива на приемный конец рельсовой цепи под действием гармонических помех тягового тока не произойдет надежного возврата якоря (сектора) путевого реле. Во втором случае возврат якоря (сектора) произойдет, но после этого якорь (сектор) реле снова притянется под действием помехи. Для рельсовых цепей с непрерывным питанием следует рассматривать первый случай, поскольку он реализуется при меньшем уровне помехи (ток отпускания меньше тока срабатывания). Для РЦ с импульсным (кодовым) питанием с точки зрения уровней помехи эти случаи равнозначны.

Для нахождения уровня опасного влияния тягового тока на РЦ использовали следующий порядок анализа при компьютерном моделировании. Вначале определяли минимальное значение напряжения источника питания РЦ в нормальном режиме в отсутствие помехи при самых неблагоприятных условиях для этого режима вариации длины рельсовой цепи от минимальной до максимально возможной по условиям проектирования. Затем определяли значение тока в путевом приемнике в шунтовом и контрольном режимах при отсутствии помехи в самых неблагоприятных для этого режима условиях, т. е. для шунтового режима при

$$U_{\text{max}}, Z(r_{\text{min}}), r_{u \text{max}} = \infty, P_{\text{ш.крит}},$$

для контрольного режима при

$$U_{\text{max}}, Z(r_{\text{min}}), r_{\text{и.крит}}, P_{\text{ип.крит}}.$$

После этого проводили анализ изменений тока в путевом приемнике при воздействии на рельсовую цепь гармонической помехи и вариации основных параметров помехи. Коэффициент передачи для разностного тягового тока

на приемном конце РЦ при наличии дроссель-трансформаторов рассчитывали с учетом того, что разностный тяговый ток помехи протекает только по одной половине первичной (путевой) обмотки дроссель-трансформатора. В процессе анализа определяли минимальное значение тягового тока на приемном конце РЦ, при котором выполнялись критерии этих режимов, т. е. значение тока в путевом приемнике при наложенном поездном шунте или поврежденной рельсовой нити не превышало значение тока надежного возврата путевого приемника.

Критерий выполнения шунтового режима записывается в виде неравенства для коэффициента шунтовой чувствительности к нормативному поездному шунту

$$K_{\text{шн}} = \frac{I_{\text{нв}}}{I_{\text{ршф}}} \geq 1, \quad (4)$$

где $I_{\text{нв}}$ – ток надежного возврата, соответствующий току надежного отпускания якоря (сектора) реле $I_{\text{но}}$ для реле с непрерывным питанием или току надежного несрабатывания $I_{\text{нн}}$ для импульсных реле; $I_{\text{ршф}}$ – фактический ток путевого приемника, протекающий при наложении нормативного шунта в наихудших для шунтового режима условиях.

Критерий выполнения контрольного режима записывается в виде неравенства для коэффициента чувствительности рельсовой цепи к оборванной (поврежденной) рельсовой нити

$$K_{\text{кп}} = \frac{I_{\text{нв}}}{I_{\text{ркф}}} \geq 1, \quad (5)$$

где $I_{\text{ркф}}$ – наибольший возможный ток путевого приемника, протекающий при контрольном режиме в наихудших для шунтового режима условиях.

Ток надежного отпускания якоря (сектора) реле при непрерывном питании определяется выражением

$$I_{\text{но}} = K_{30} I_0, \quad (6)$$

где I_0 – ток отпускания якоря (сектора) реле, $K_{30} < 1$ – коэффициент запаса по отпусанию якоря реле, $K_{30} = 0,6$ – для электромагнитных реле, $K_{30} = 0,9$ – для индукционных (секторных) реле.

Ток надежного несрабатывания для импульсных реле определяется выражением

$$I_{\text{нн}} = K_{\text{зн}} I_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{зн}} = 0,9$ – коэффициент запаса по несрабатыванию реле.

3.2. Методика исследований для нормального режима. Нормальный режим реализуется в исправной и свободной от подвижного состава РЦ в виде дискретной информации «Свободно». Нарушение выполнения нормального режима под действием тягового тока может привести к появлению дискретной информации «Занято», т. е. к мешающему воздействию тягового тока на путевой приемник. Это возможно при нарушении правильного срабатывания реле в соответствии с импульсами в кодовых посылах, т. е. если в момент кодового импульса уровень напряжения на входе импульсного реле недостаточен для его надежного срабатывания или уровень напряжения в паузе превышает напряжение надежного отпущения якоря реле.

Другим критерием, которому должна удовлетворять РЦ в нормальном режиме, является требование, чтобы фактический коэффициент перегрузки путевого приемника не превышал допустимый коэффициент перегрузки

$$K_{\text{пер.ф}} \leq K_{\text{пер.д}} \quad (8)$$

3.3. Методика исследований для режима АЛСН. Критерием надежности режима АЛСН является соотношение

$$K_{\text{л}} = I_{\text{лф min}} / I_{\text{лн}} \geq 1, \quad (9)$$

где $I_{\text{лф min}}$ – фактический минимальный ток в рельсовой линии при наложении поездного шунта на удаленном от генератора сигналов АЛСН конце рельсовой линии и критическом сочетании основных параметров для этого режима

$$U_{\text{min}}, Z, r_{\text{u min}}, p = 0,$$

$I_{\text{лн}}$ – нормативный ток АЛСН, при котором локомотивный приемник работает устойчиво.

Нормативный ток кодовой АЛСН при электротяге переменного тока составляет 1.4 А.

При компьютерном исследовании проводили анализ возможного искажения кодовых посылок за счет наложения помех тягового тока, при которых произойдет нарушение выполнения критерия надежности АЛСН.

Выводы

Проведен анализ электромагнитного влияния подвижного состава и системы тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа. Предложена методика определения допустимых уровней опасного и мешающего электромагнитного влияния тягового тока на РЦ и АЛСН на основе компьютерного моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилюк В. І. Аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл // Вісник Дніпропетровського національн. ун-ту ім. В. Лазаряна. 2003. № 1. – С. 3–7.
2. Анохов И. В. Про електромагнітну сумісність електрифікованих залізничних ліній постійного струму / И. В. Анохов, М. М. Бадер, В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Залізничний транспорт України. 2002. – № 2. – С. 10–12.
3. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, М. Ф. Котляренко, А. И. Баженов, Т. В. Лебедева. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с.
4. Аркатов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и технологическое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степинский. – М.: Транспорт, 1980. – 295 с.
5. Брылеев А. М. Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
6. Дмитриев В. С. Совершенствование систем автоблокировки / В. С. Дмитриев, В. А. Минин. – М.: Транспорт, 1987. – 143 с.
7. Методичні вказівки з перевірки пристроїв АБТ, АБТЦ і АЛСО перед включенням в експлуатацію на залізницях України. Київ. Укрзалізниця. 2003.
8. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу і пристроїв контролю пильності машиніста на залізницях України. Київ. Укрзалізниця. 2004.
9. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (ЦШЕОТ 0012). Київ.: Укрзалізниця. 1998.
10. Леонов А. А. Техническое содержание автоматической локомотивной сигнализации и автоостопов. – М.: Транспорт, 1974. – 248 с.
11. Костроминов А. М. Об электромагнитной совместимости рельсовых цепей с перспективным электроподвижным составом // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. – № 6. – С. 33–34.
12. Костроминов А. М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.
13. Нейман Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. – Л.–М.: Госэнергоиздат, 1949.
14. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1. / Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.
15. Завгородний А. В. Анализ электромагнитного влияния тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національн. ун-ту ім. акад. В. Лазаряна. 2003. – № 1. – С. 3–7.

Поступила в редколлегию 20.05.2005.