

УДК 577.3

**В.К.Нем**, к.т.н., доц.;

**В.И.Скурихин**, ассистент

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

*Рассмотрен ряд вопросов связанных с обеспечением надежного и экономичного токосяема. Предлагается разработка математической модели нормального токосяема для пары трения токосяемник - контактный провод путем анализа радиоизлучений при нарушениях токосяема.*

*По результатам моделирования получен ряд амплитудно-временных и амплитудно-частотных диаграмм напряженностей электрического и магнитного полей при различной ширине сближения с тяговой сетью. Методика может применяться в смежных областях, например, при изучении вопросов электромагнитной совместимости*

## **ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОСНОВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ ТОКОСЪЕМА В ЭЛЕКТРОТЯГОВЫХ СЕТЯХ**

**Анализ литературы.** Одной из важнейших стратегических задач развития городского электрического транспорта является рост эффективности и безопасности его работы. Выполнение этих задач в немалой степени зависит от поддержания высоких эксплуатационных параметров используемых технических объектов путем применения новых технологий в области диагностики технического состояния контролируемых элементов.

В ряду технических и экономических проблем городского электрического транспорта одно из основных мест в системах электроснабжения занимают проблемы обеспечения надежного и экономичного токосяема. Особая роль отводится разработке и применению высоконадежных и эффективных систем диагностики качества взаимодействия токоприемника подвижного состава (ПС) и контактного провода, позволяющих проводить оперативную диагностику нарушений токосяема на перегоне и осуществлять информационное обеспечение соответствующих служб и подразделений.

Для решения задачи постоянного контроля взаимодействия токоприемников ПС и контактной подвески по состоянию токосяема целесообразно использовать автоматизированные стационарные комплексы, расположенные вдоль трассы дороги, однако в настоящее время в нашей стране таких систем не существует. Основной проблемой при создании автоматизированных комплексов мониторинга токосяема является необходимость разработки бесконтактного метода обнаружения нарушений токосяема и методики достоверного выявления полезного сигнала на фоне различных помех. Представляется, что эта задача может быть решена путем анализа радиоизлучений при нарушениях токосяема с помощью аппарата математического моделирования.

Существующие модели токосяема, описанные в [1], не в полной мере учитывают специфику электродуговых процессов. В свою очередь, экспериментальные результаты измерений позволяют получать лишь ограниченную информацию в связи с привязкой результатов к конкретным условиям исследований и невозможностью рассмотрения влияния всех сопутствующих факторов.

Для решения поставленной задачи представляется возможной разработка математических моделей взаимодействия токоприемника ПС и контактного провода, выполненных с учетом особенностей токосъема и подтвержденных натурными экспериментами.

Результаты моделирования физических и электрических процессов при различных режимах токосъема с учетом варьирования влияющих факторов могут быть использованы для создания и выбора оптимальных характеристик радиоприемных устройств, входящих в состав разрабатываемой автоматизированной системы диагностики нарушения токосъема и являющихся одними из наиболее важных ее элементов, а также для совершенствования алгоритма функционирования комплекса в целом.

Целью работы является разработка математических моделей электродуговых процессов при нормальном токосъеме ПС и его дуговом нарушении для выполнения задач построения стационарных радиоприемных элементов автоматизированной системы диагностики дугового токосъема и выбора их технических характеристик.

**Содержание работы.** Для получения объективной оценки текущего состояния контактной сети и оперативного выявления нарушений токосъема представляется необходимым осуществлять постоянный эксплуатационный контроль как с помощью соответствующих технических средств выездных лабораторий, так и применением стационарных автоматизированных систем диагностики нарушений токосъема. Подобный комплексный подход призван обеспечить непрерывный контроль токосъема на участке, выявление внезапно возникших дефектов, в т.ч. под воздействием неблагоприятных климатических факторов, в процессе эксплуатации токоприемников и контактной сети и обеспечить соответствующие службы и подразделения необходимой технической информацией в режиме реального времени.

В данном случае имеет место недостаточная научно-техническая разработанность комплексных задач изучения дугообразования при токосъеме и отсутствие методик математического моделирования физических и электромагнитных процессов, учитывающих особенности токосъема.

В этой связи выполнен анализ процессов дугообразования при взаимодействии контактной сети и токоприемника, проведено построение и программная реализация соответствующих математических моделей. Результаты расчетов должны позволить определить наиболее информативные и достоверные области значений параметров радиоизлучений при нарушениях токосъема и используются для выбора параметров радиоприемных узлов и элементов системы мониторинга токосъема в целях повышения оперативности и достоверности.

Согласно этого разработана аналитическая модель безотрывного токосъема для количественной оценки амплитудно-частотных характеристик радиоизлучений, представляющих собой мешающий (паразитный) сигнал, при различных влияющих факторах. Модель может быть использована для разработки и совершенствования технических средств автоматизированной системы контроля нарушений токосъема.

Нормальный токосъем можно рассматривать как дуговой, но в данном случае имеют место микродуги, возникающие между контактирующими точками проводников; при этом происходит изменение переходного сопротивления и величины тока.

Результирующий ток через контактирующие поверхности можно рассматривать как сумму основной составляющей (ток ПС) и изменяющейся во времени малой по величине составляющей, являющейся причиной возникновения электромагнитного радиочастотного шума. Ввиду случайных характеристик шероховатости контактирующих поверхностей, представляется необходимым моделировать переходное сопротивление  $R_C$  между двумя скользящими поверхностями с помощью случайной функции. Этот процесс возможно выразить формулой:

$$R_c(t) = R_{cm} + \delta(t, \alpha, \tau), \tag{1}$$

где  $R_{cm}$  – среднее значение переходного сопротивления;  
 $\delta$  - изменяющаяся случайная составляющая;  
 $\alpha, \tau$  - два случайных числа, имеющих распределение плотностей вероятности  $q(\alpha), p(\tau)$  соответственно.

Переходное сопротивление возможно аналитически представить как серию прямоугольных импульсов, амплитуда и длительность которых являются случайными величинами.

Основываясь на определенных допущениях, получена схема замещения тяговой сети (рис. 1).

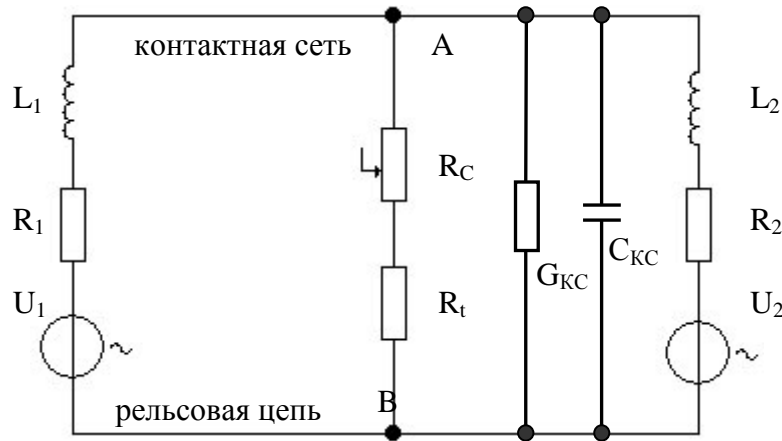


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения тяговой сети

Здесь  $R_c$  - контактное сопротивление между токосъемной вставкой пантографа и контактным проводом;  $R_t$  - эквивалентное активное сопротивление подвижной единицы. Ток, потребляемый подвижной единицей:

$$I(t) \cong \frac{U(t)}{R_t + R_{cm}} - \frac{U(t) \cdot \delta(t, \alpha, \tau)}{(R_t + R_{cm})^2}, \tag{2}$$

где  $U(t)$  - напряжение в контактной сети.

Для расчета электромагнитного излучения при нормальном токосъеме, вызываемого мешающим током в тяговой сети, необходимо определить распределение данного тока по тяговой сети (линии с распределенными параметрами) при различных частотах помех. Задача состоит из расчета спектральной плотности мощности, моделирования мешающего тока с помощью соответствующего источника тока и расчета мешающего тока, распространяющегося вдоль тяговой сети. Спектральная плотность мощности рассчитана по формуле Карсона [2]. Характеристика источника тока  $J(f, B)$ , расположенного на месте ЭПС (рисунок 2) и распространяющего мешающий ток по тяговой сети, выражена как:

$$J(f, B) = \sqrt{G(f) \cdot B}, \tag{3}$$

где  $G(f)$  - спектральная плотность мощности,  
 $B$  - ширина частотного диапазона.

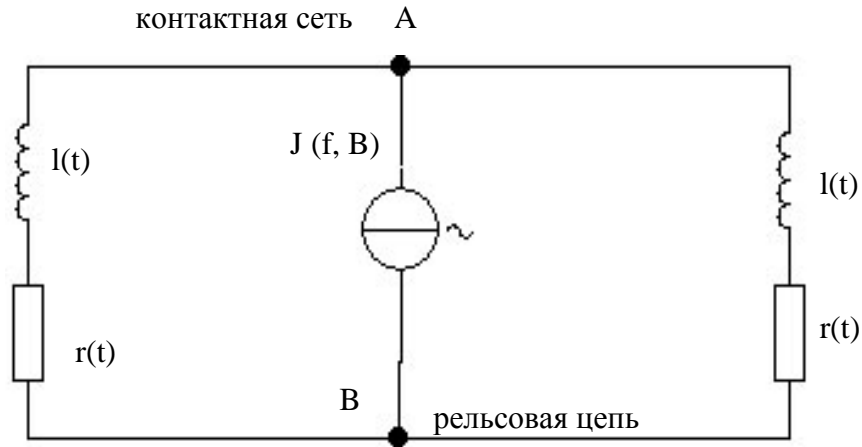


Рис. 2. Схема замещения тяговой сети с источником мешающего тока

Эквивалентная схема с источником тока может характеризоваться следующими величинами ( $i = 1; 2$ ):

$$Y_{N,i} = \frac{Z_i sh \gamma D_i + Z_c ch \gamma D_i}{Z_c (Z_c sh \gamma D_i + Z_i ch \gamma D_i)}, C_m, \quad (4)$$

$$I_{sc,i} = \frac{U_i}{(Z_c sh \gamma D_i + Z_i ch \gamma D_i)}, A, \quad (5)$$

где  $Y_{N,i}$ ,  $I_{sc,i}$  и  $Z_i$  - соответственно, проводимость, ток короткого замыкания и сопротивление  $i$ -части тяговой сети;

$\gamma = j\omega\sqrt{LC}$  и  $Z_c = \sqrt{L/C}$  - коэффициент распространения и волновое сопротивление линии (тяговую сеть при больших величинах  $\omega$  можно рассматривать как линию без потерь);

$D_i$  - расстояние между электровозом и  $i$ -тяговой подстанцией.

С помощью теории цепей с распределенными параметрами можно определить растекание мешающего тока по тяговой сети:

$$I_1(x) = \frac{Y_{Ni} I_a}{Y_{N1} + Y_{N2}} \cdot \frac{(Z_c - Z_1)e^{-\gamma(x+D_1)} + (Z_c + Z_1)e^{\gamma(x+D_1)}}{2(Z_1 sh \gamma D_1 + Z_c ch \gamma D_1)}, x \in [-D_1, 0], \quad (6)$$

$$I_2(x) = \frac{-Y_{N2} I_a}{Y_{N1} + Y_{N2}} \cdot \frac{(Z_c - Z_2)e^{-\gamma(x-D_2)} + (Z_c + Z_2)e^{\gamma(x-D_2)}}{2(Z_2 sh \gamma D_2 + Z_c ch \gamma D_2)}, x \in [0, D_2], \quad (7)$$

где  $Z_1, Z_2$  - сопротивление 1-го и 2-го участков тяговой сети.

Зная ток дуги, токи  $I_1(x)$ ,  $I_2(x)$  и считая землю идеальным проводником, возможно вычислить излучаемое электромагнитное поле при основной частоте.

По результатам моделирования получен ряд амплитудно-временных и амплитудно-частотных диаграмм напряженностей электрического и магнитного полей при различной ширине сближения с тяговой сетью. Амплитудные величины помех при нормальном токосъеме меньше результатов статистической обработки излучений при нарушениях токосъема в среднем на (15-20) дБ при соответствующей частоте, что дает возможность подтвердить выбор частотной области (130-140) кГц и чувствительности радиоприемных устройств для надежной фильтрации полезного сигнала при дуговых процессах от подобных помех на участке. Методика может применяться в смежных областях, например, при изучении вопросов электромагнитной совместимости.

#### Выводы:

1. Выполнен анализ процессов дугообразования при нормальном токосъеме и его нарушениях, вызванных различными причинами.
2. Разработана математическая модель нормального токосъема с использованием системы нелинейных уравнений для определения количественных характеристик электромагнитных излучений в нормальном режиме эксплуатации.

#### Литература:

1. Жарков Ю.И., Семенов Ю.Г, Фигурнов Е.П., Колосов Д.В. Автоматизированная диагностика нарушений токосъема в электротяговых сетях. Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г.Новочеркасск, 26 сентября 2003г.: В 3 ч./Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2003. – Ч.2. – С.45-50.
2. Жарков Ю.И., Колосов Д.В. Моделирование дуговых процессов при нарушениях токосъема. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт-2005», май 2005г. в 2-х частях. Часть 2. Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 2005. - С.335-337.

## ЕЛЕКТРОДУГОВІ ПРОЦЕСИ, ЯК ОСНОВА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПОРУШЕНЬ СТРУМОЗ'ЄМА В ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ МЕРЕЖАХ

В. К Нем; В.І.Скуріхін

*Розглянуто ряд питань пов'язаних із забезпеченням надійного та економічного струмоз'єму. Пропонується розробка математичної моделі нормального струмоз'єму для пари тертя струмоприймач - контактний провід шляхом аналізу радіовипромінювань при порушеннях струмоз'єму.*

*За результатами моделювання отриманий ряд амплітудно-тимчасових і амплітудно-частотних діаграм напруженостей електричного і магнітного полів при різній ширині зближення з тяговою мережею. Методика може застосовуватися в суміжних областях, наприклад, при вивченні питань електромагнітної сумісності.*

## PROCESSES AS BASIS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF VIOLATIONS OF NETWORKS

V. K. Nem; V.I. Sckurikhin

*The row of questions of related to providing of reliable and economical is considered. Development of mathematical model of normal for the pair of friction is offered is contact wire by the analysis of at violations.*

*On results the design the row of peak-temporal and diagrams of electric and magnetic the fields at the different width of rapprochement with a hauling networkis got. A method can be used in contiguous regions, for example, at the study of questions of electromagnetic compatibility.*