

Частина I. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

УДК 622.62–83: 621.33

Ю.А. Папаика, канд. техн. наук, А.Г. Лысенко

(Украина, г. Днепрпетровск, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет")

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА

Идею бесконтактной передачи электроэнергии на движущийся объект, известную еще с начала XX века, сегодня широко используют в развитых странах Европы для зарядки аккумуляторных автобусов городского электротранспорта. В Национальном горном университете научную школу по разработке этого направления возглавляет академик НАН Украины профессор Пивняк Г.Г. В настоящее время проводятся работы по совершенствованию тягового преобразователя, тяговой сети и системы электропривода транспортной установки. В данной статье описаны результаты исследования режимов напряжения тяговой сети при различных конфигурациях ее параметров. Результаты работы могут быть интересны при дальнейших разработках системы бесконтактного транспорта в промышленности.

Тяговая сеть представляет большое сопротивление для тока высокой частоты, поскольку ее индуктивное сопротивление пропорционально частоте тока. Во избежание чрезмерного повышения напряжения в линии реактивная составляющая падения напряжения отдельных участков тягового кабеля компенсируется конденсаторами, включенными в рассечку тяговой сети. Конденсаторы устанавливаются вдоль линии в компенсирующих пунктах.

Тяговая сеть рассматривается как линия с распределенными параметрами, состоящая из однородных участков с размещенными между ними сосредоточенными неоднородностями (конденсаторами продольной компенсации) [1]. Падение напряжения на конденсаторах полагается эквивалентным наличию источников ЭДС, подключенных в местах нахождения компенсационных пунктов [1, 3].

Данные эксплуатации опытного образца комплекса с бесконтактными электровозами свидетельствуют, что в тяговой сети наблюдаются значительные перенапряжения, которые приводят в некоторых случаях к срабатыванию защиты, а в других – к выходу из строя компенсирующих конденсаторов. Такая ситуация прежде всего может быть обусловлена несогласованностью некоторых параметров тяговой сети и приемного контура электровоза. Все это приводит к ухудшению энергетических показателей и надежности функционирования системы бесконтактного транспорта. Поскольку тяговая сеть представляет собой передаточное звено между преобразователем частоты и подвижным составом, то очевидно, что пути решения существующей проблемы нужно искать в плоскости анализа режимов собственно тяговой сети. Такими режимами являются, в частности, пусковой режим, холостой ход линии, режим с работающими электровозами. Исследования тяговой сети с целью оптимизации ее параметров, режимов и тем самым повышения энергетической эффективности транспорта с индуктивной передачей энергии в целом являются актуальной научно-технической задачей.

Отдельные задачи моделирования режимов тяговой сети решались ранее. Были созданы математические модели тяговой сети для установившегося и переходного режимов [1, 2, 3]. В настоящее время разработана новая модель тяговой сети с использованием пакетов MathCAD и Excel на конечно-разностном представлении системы дифференциальных уравнений в частных производных, отличительной особенностью которой является универсальность, что позволяет исследовать любые ее режимы. При составлении математической модели тяговая линия была представлена в виде участков с распределенными параметрами с последовательно включенными сосредоточенными неоднородностями (места включения пунктов компенсации). Распределение напряжения вдоль линии определялось для исключения режима перенапряжений в линии при включении электровоза.

Результаты, полученные с помощью такой модели, свидетельствуют о зависимости изменения напряжения в тяговой сети от параметров компенсирующих устройств и мест их установки (рис. 1). Данные результаты возможно использовать в дальнейших исследованиях режимов тяговой линии при наличии одного или нескольких электровозов.

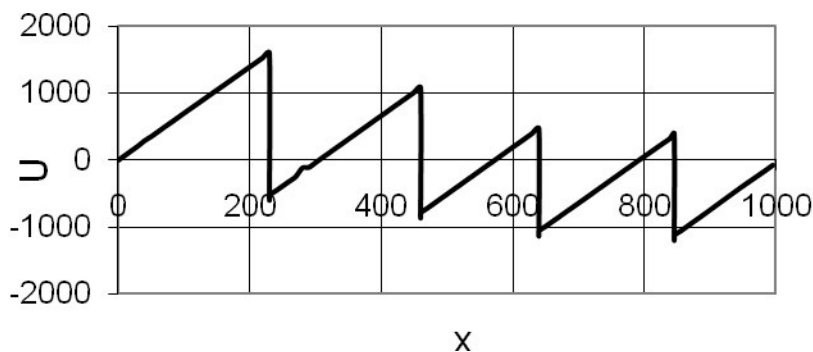


Рис. 1. Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км

Анализ кривой напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км (рис. 2) в течение трех периодов показывает, что наибольшие значения напряжения приходятся на первый компенсационный пункт. Поэтому ставится вопрос о необходимости уточнения места расположения этого компенсационного пункта с целью недопущения возникновения перенапряжений при включении нагрузки.

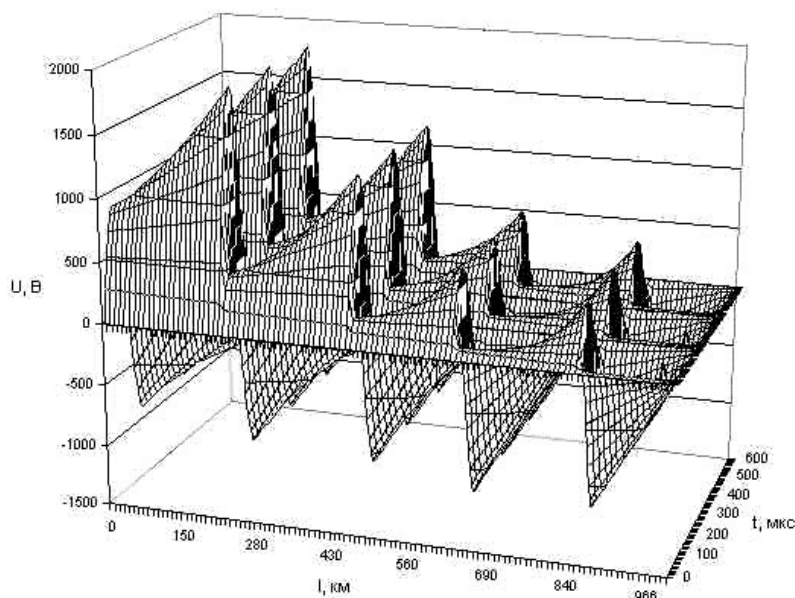


Рис. 2. Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км с учетом времени

Процесс распределения напряжения вдоль тяговой линии при длине выработки 2 и 4 км (рис. 3,4) несколько сложнее, однако, значение наибольшего напряжения на первом компенсационном пункте сохраняется. Это подтверждает вывод о том, что наибольшая вероятность выхода из строя от перенапряжений сохраняется у конденсаторов первого компенсационного пункта.

Анализ режима напряжения проведен для ненагруженной сети, но при этом следует учесть, что в режиме сброса-наброса нагрузки от электровозов тенденция перенапряжений на компенсационных пунктах будет усиливаться. Связано это с электромагнитными процессами, происходящими в тяговой сети и обусловленными ее волновыми свойствами.

При движении электровоза в тяговой линии индуцируется ЭДС самоиндукции, что приводит к дополнительному повышению напряжения. Напряжение в каждом сечении тяговой сети с учетом величины ЭДС, наводимой электровозом, не должно превышать допустимых значений с точки зрения надежности и безопасности функционирования комплекса. Из векторной диаграммы (рис. 5) видно, что вектор напряжения на линии U_L зависит от ЭДС, индуцированной приемным контуром, $E_L = I_L j \omega M$, от падения напряжения на активных элементах сети $I_L R_L$ и от вектора реактивной составляющей падения напряжения на реактивных элементах сети $I_L j(x_L - x_C)$, который в свою очередь зависит от степени компенсации индуктивности линии [1]. Отсюда следует, что уровень напряжения на участках тяговой линии можно уменьшить, снижая активное сопротивление тяговых кабелей (что выполнить весьма сложно из-за особенностей их конструкции), также обеспечив режим резонанса напряжений в последовательной цепи (полная компенсация индуктивности линии).

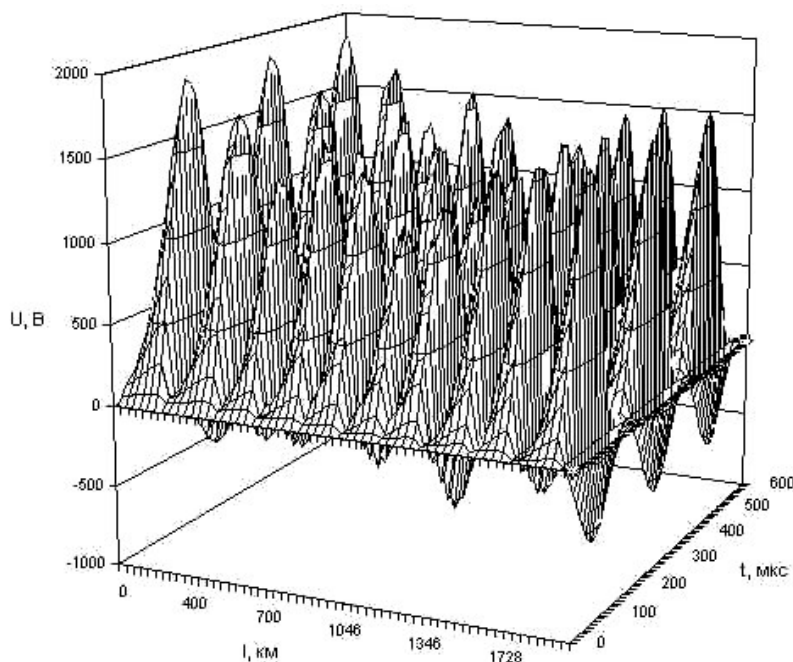


Рис. 3. Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 2 км

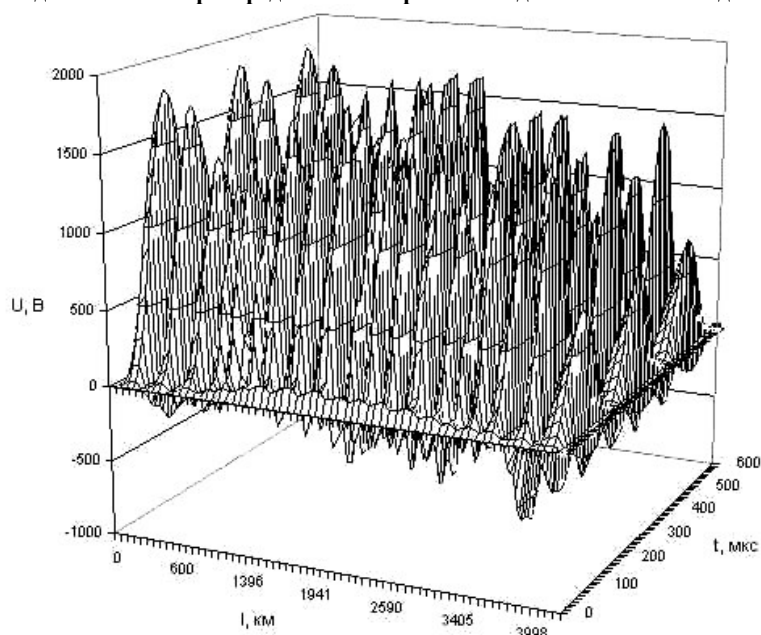


Рис. 4. Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 4 км

Очевидно, что нагрузка, вносимая в тяговую сеть, еще больше усугубит картину неравномерности распределения напряжений, особенно в местах установки конденсаторов. Таким образом, наиболее опасными с точки зрения возникновения перенапряжений будут компенсационные пункты.

Напряжение в любом сечении тяговой сети до точки приложения нагрузки равно векторной сумме напряжения ненагруженной сети и падения напряжения на вносимом сопротивлении электровозов. Для электровозов В14 вносимое сопротивление в часовом режиме составляет 3 Ом, что при стабилизированном токе сети 150 А приводит к повышению активной составляющей напряжения сети на 450 В. Пренебрежение этой величиной недопустимо. Это особенно важно, если учесть, что наибольшее напряжение в сети, ограниченное по условиям безопасности, не должно превышать 1650 В (2120 В – амплитудное значение). Поэтому выбор и размещение компенсирующих устройств необходимо производить с учетом вносимых электровозами сопротивлений.

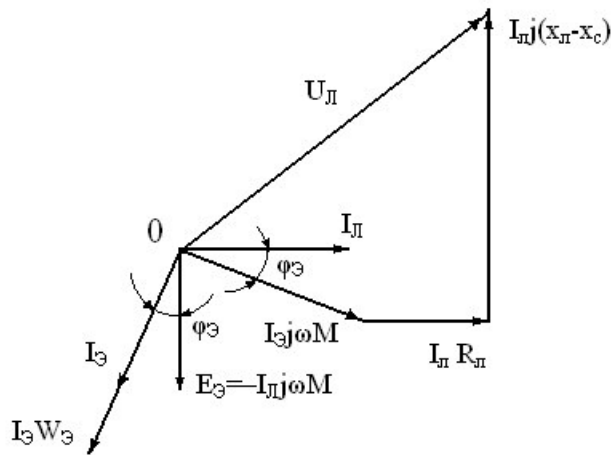


Рис. 5. Векторная диаграмма системы "тяговая линия–электровоз"

Выводы

1. Выравнивание напряжений является необходимым процессом и должно быть учтено при проектировании тяговых сетей. Для тяговых сетей шахтного рельсового транспорта с индуктивной передачей энергии неравномерность распределения напряжений может быть устранена только благодаря рациональному размещению компенсирующих устройств.
2. Выбор и размещение компенсирующих устройств необходимо производить с учетом вносимых электровозами сопротивлений.

Список литературы

- 1.Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Саратикянц и др.; под ред. Г.Г. Пивняка. – М.: Недра, 1990. – 245 с.
- 2.Хованская Е.И. Особенности моделирования нестационарной нагрузки тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии / Е.И. Хованская, А.Г. Лысенко// Науковий вісник НГУ. – 2004. – №3. – С.84-86.
- 3.Задачи моделирования режимов работы тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии / Г.Г. Пивняк, Ю.М. Зражевский, Е.И. Хованская // Техн. термодинаміка. Тем. вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. –2004. – Ч.7. –С.112-116.

Рекомендовано до друку проф. Разумним Ю.Т.

УДК 621.316.722.076.12

О.В. Бялобржеський, канд. техн. наук, В.Ю. Качалка

(Україна, м. Кременчук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського)

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ
КЕРОВАНОГО КОМПЕНСАТОРА МЕТОДОМ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Вступ. Збільшення числа приєднувачів, що споживають несинусоїдальний струм, призводить до зниження якості електроенергії. Це призводить до спотворення форми кривої напруги мережі, що в свою чергу веде до збільшення втрат в електричних машинах і апаратах, збільшення інтенсивності старіння ізоляції, появи перенапруг через резонансні явища в мережі, погіршення роботи пристроїв релейного захисту і автоматики та інше [1]. Сьогодні існує кілька варіантів вирішення проблем підвищення якості електроенергії. Один із них – використання компенсаторів реактивної потужності. Окрім статичних тиристорних компенсаторів широко використовують компенсатори з активними фільтрами. Основна перевага активних фільтрів полягає в можливості компенсувати широкий спектр неосновних гармонік [2]. Якість роботи фільтра залежить, в основному, від застосування методу формування керуючих впливів на силову частину фільтра та від раціонально вибраних самих елементів для накопичення енергії.

Матеріал та результати досліджень. Для керування компенсатором реактивної потужності використовують системи регулювання, основу яких складають блоки визначення потужності. Для аналізу