

УДК 621.316.9

В. Г. ЧЕРНОМАШЕНЦЕВ, кандидат технических наук; А. В. ГРАПОВ, ассистент; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. В. САВЕНКОВ, главный инженер службы электроснабжения; Белорусская железная дорога

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ С ЭЛЕКТРОТЯГОЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 27 КВ

Изложены причины влияния электротяги переменного тока на смежные линии связи, способы уменьшения этого влияния, исследуется эффективность защиты данных линий отсасывающими трансформаторами.

Любая электрическая цепь при наличии в ней переменного напряжения и тока создает в окружающем пространстве переменное электромагнитное поле, которое индуцирует в другой цепи, находящейся в этом пространстве, напряжения и токи. Эти напряжения и токи в цепи, подверженной влиянию, могут достигать величин, представляющих опасность для здоровья и жизни людей, обслуживающих ее, а также для целостности включенных в цепь аппаратов и приборов, изоляции проводов. В этом случае влияния называют опасными. Если индуцированные в цепи напряжения и токи приводят к искажению передаваемых по ней полезных электрических сигналов, т.е. ухудшают или нарушают нормальную работу цепи, то такие влияния называются мешающими.

Влиянию могут быть подвержены электрические цепи любого назначения, однако оно будет тем значительней, чем больше разница в мощностях электрической энергии, передаваемых по влияющей и подверженной влиянию электрическим цепям. Учитывая отмеченное, к числу влияющей системы относится тяговая сеть переменного тока электрифицированных железных дорог, а к числу систем, подверженных влиянию, – цепи линий связи.

При электротяге на переменном токе индуцированные напряжения и токи в линии, подверженной влиянию, – смежной линии связи – возникают вследствие воздействия на нее единого электромагнитного поля, образующегося вокруг проводов контактной сети. Однако для облегчения анализа и расчетов принято расчленять влияние электромагнитного поля на две составляющие – электрическое и магнитное влияния – и рассматривать их раздельно.

Электрическое влияние проявляется в наведении в смежной линии потенциала по отношению к земле под воздействием электрического поля, которое создается при наличии напряжения в контактной сети. Электрическому влиянию подвержены только воздушные линии, причем уменьшение высоты подвеса смежной линии ведет к снижению данного влияния. Кабельная линия связи с зазем-

ленной оболочкой от электрического влияния защищена. При электротяге на переменном токе основное воздействие на линии связи оказывает магнитное влияние [1].

Для упрощения расчетов и измерений в том случае, когда мешающее напряжение состоит из ряда гармоник, введено понятие психофизического напряжения или напряжения шума

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_{(k)} U_{(k)})^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n U_{\text{ш}(k)}^2}, \quad (1)$$

где $U_{(k)}$ – эффективное значение напряжения, индуцированное в смежной линии связи k -той гармоникой тягового тока; $p_{(k)}$ и $U_{\text{ш}(k)}$ – соответственно коэффициент акустического воздействия и психофизическое напряжение k -той гармоники.

Таким образом, мешающее действие индуцированного напряжения любой формы оценивается по его напряжению шума с учетом воздействия каждой гармонической составляющей.

Расчет напряжения шума $U_{\text{ш}}$ с учетом всех влияющих факторов представляет собой очень сложную задачу, тем более, что полные сопротивления и проводимости цепей зависят от ряда факторов, не поддающихся точному учету и определяются типом линии, состоянием цепи, погоды [2, 3]. Кроме того, при электротяге на переменном токе место расположения нагрузок (электровозов) меняется во времени, меняются при этом и величины токов нагрузки. Следовательно, вычисление напряжения шума может быть выполнено для некоторых идеализированных условий (заданного расположения поездов и потребляемого ими тока, определенных условий погоды, определенной удельной проводимости земли и т. п.).

Напряжение шума от k -той гармонической составляющей тягового тока, мВ, согласно [3]:

– для короткой линии, когда длина ее укладывается в пределах плеча одностороннего питания,

$$U_{\text{ш}(k)} = \omega_{(k)} M_{(k)} I_{(k)} p_{(k)} \eta_{(k)} S_{(k)} \frac{l_3}{2} \cdot 10^3; \quad (2)$$

– для линии, длина которой l превышает длину плеча питания l_3 ,

$$U_{ш(k)} = 2 \cdot 10^3 \omega_{(k)} M_{(k)} I_{(k)} \times \frac{shv_a l_{kc} sh \frac{v_a l_3}{2}}{v_a shv_a l} \times p_{(k)} \eta_{(k)} S_{(k)} \quad (3)$$

где $\omega_{(k)}$ – угловая частота тягового тока k -той гармоники; $M_{(k)}$ – коэффициент взаимной индуктивности k -той гармоники, Гн/км; $I_{(k)}$ – эффективное значение тягового тока k -той гармоники, А; $p_{(k)}$ и $\eta_{(k)}$ – соответственно коэффициенты акустического воздействия и чувствительности двухпроводной линии связи к помехам для k -той гармоники; $S_{(k)}$ – результирующий коэффициент экранирующего действия k -той гармоники; l_3 – длина сближения линии связи с тяговой сетью, км; v_a – коэффициент распространения однопроводной цепи, подверженной влиянию, для k -той гармоники тягового тока; l_{kc} – расстояние от конца расчетного участка цепи связи до середины соответствующего влияющего участка тяговой сети, км.

Анализ уравнений напряжения шума (2) – (3) показывает, что на практике ряд факторов, влияющих на величину $U_{ш}$, невозможно точно учесть. Поэтому по указанным формулам напряжение шума в двухпроводных телефонных цепях можно вычислить только приближенно, что и отмечается в [3].

Более точные результаты дают экспериментальные исследования, результаты которых определяют допустимые критерии.

На практике осуществляют мероприятия по снижению магнитного влияния на смежные линии связи при электротяге на переменном токе напряжением 27 кВ. Полностью устранить это влияние практически нельзя. Однако существует ряд способов уменьше-

ния этого влияния, применение которых требует определенных экономических затрат.

Защитные меры могут применяться как в источнике – электрической железной дороге, так и в подверженных влиянию смежных линиях связи. Меры, применяемые в источнике влияний, могут быть названы активными, поскольку они уменьшают влияния на все смежные линии. Меры, применяемые в смежной линии, могут защищать от влияний только данную линию, и поэтому их следует отнести к числу пассивных.

К пассивным мерам относится каблирование смежной линии связи. Это основное мероприятие, уменьшающее магнитное влияние на смежную линию. Кроме того, применяется ряд дополнительных специальных защитных мер: скрещивание проводов, симметрирование кабелей, повышение уровня передачи и т. д.

Активной защитной мерой является применение отсасывающих трансформаторов, которое было предусмотрено в начале электрификации железных дорог на переменном токе напряжением 27 кВ (рисунок 1).

Основными отличительными особенностями этой системы по сравнению с обычной системой переменного тока являются: наличие обратного провода (подвешиваемого на опорах контактной сети с полевой стороны), отсасывающих трансформаторов ОТ и перемычек П-П, обеспечивающих электрическое соединение ходовых рельсов с обратным проводом. Отсасывающие трансформаторы, имеющие коэффициент трансформации $K_{тр} = 1$ (или 0,8), устанавливаются на расстоянии 4,5–7 км. Их первичная обмотка включается в расщелку контактной сети, а вторичная – в расщелку обратного провода.

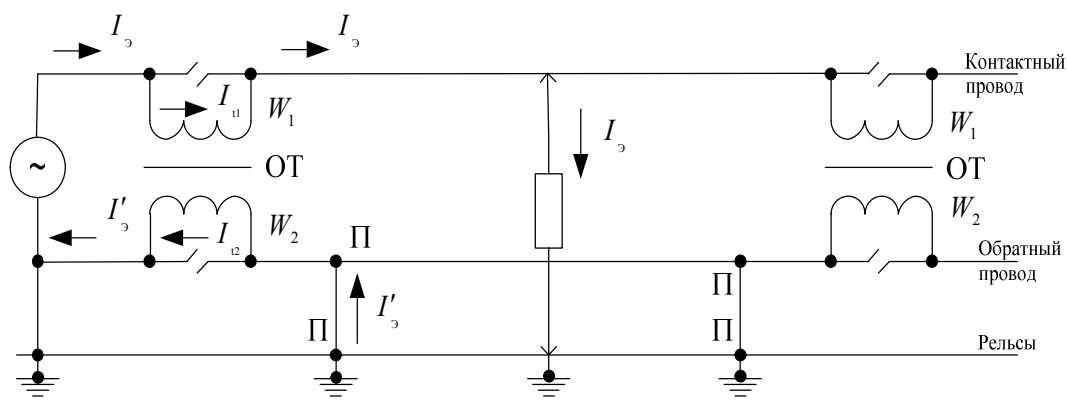


Рисунок 1 Система электроснабжения с отсасывающими трансформаторами и обратным проводом

Наличие отсасывающих трансформаторов в системе электроснабжения обеспечивает возврат тока, потребляемого электроподвижным составом, в основном по обратному проводу (трансформатор отсасывает ток из рельсов и земли). При этом токи в контактной сети I_3 и обратном проводе I'_3 будут близки по величине и сдвинутыми на угол

около 180° . Это должно обеспечивать снижение индуктивного магнитного влияния тяговой сети на проходящие вдоль полотна железной дороги смежные линии связи.

На Белорусской железной дороге было установлено около 40 отсасывающих трансформаторов, большая часть которых по объективным причинам

выведена из эксплуатации. Поддержание таких трансформаторов в рабочем состоянии требует дополнительных финансовых затрат, вышедшие из строя трансформаторы не могут быть заменены на новые, так как их производство давно уже прекращено. Более того, отсасывающие трансформаторы при работе создают дополнительные потери мощности и дополнительные падения напряжения. С учетом всего отмеченного была поставлена задача: разобраться в эффективности использования таких трансформаторов и выяснить, могут ли смежные линии связи нормально функционировать без них.

Для принятия решения по отсасывающим трансформаторам на Белорусской железной дороге были проведены экспериментальные исследования по выявлению эффективности защиты смежных линий данными трансформаторами. Работа выполнялась БелГУТом совместно с Дорожными лабораториями: электротехнической службы Э и лабораторией АТСВТИ службы Ш.

Исследования проводились на участке Молодечно–Уша протяженностью 16 км, так как это единственный участок на дороге, на котором ещё действуют все отсасывающие трансформаторы,

установленные по проекту электрификации.

Экспериментальные исследования проводились в августе, октябре и ноябре 2003 г. при различных погодных условиях (сухая погода, дождь, мокрый снег).

При выполнении исследований измерялись мешающие $U_{ш}$ и опасные U_0 напряжения на кабельных линиях участка при включенных и отключенных отсасывающих трансформаторах. Измерения проводились при отсутствии и при одновременном нахождении на данном участке двух электропоездов, в каждом кабеле на одной паре проводов. Схемы измерений напряжений представлены на рисунке 2.

Напряжения шума $U_{ш}$ измерялись псофометром *PSTR3*, имеющим погрешность $\pm 3\%$ в частотном диапазоне 100 – 10000 Гц и $\pm 5\%$ в диапазоне 15 – 100 Гц, 10 – 30 кГц. Регистрация величин $U_{ш}$ проводилась в режиме измерения с телефонным псофометрическим фильтром.

Регистрация величин опасных напряжений U_0 осуществлялась в режиме аperiodических измерений.

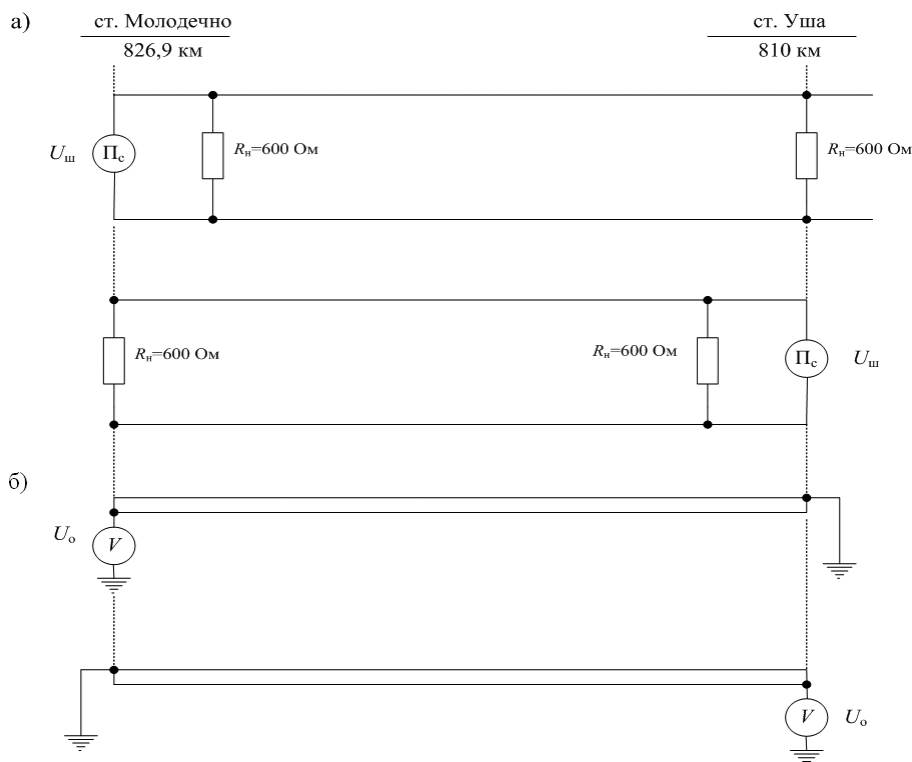


Рисунок 2 – Схемы измерений: а – напряжений шума $U_{ш}$; б – опасных напряжений U_0

В соответствии с «Правилами защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог переменного тока» нормы мешающего и опасного напряжений следующие:

– псофометрическое мешающее напряжение $U_{ш}$ в цепях телефонной связи тональной частоты не должно превышать 1 мВ для перегонной связи, для других видов связи нормы выше;

– допустимое опасное напряжение U_0 кабельных линий не должно превышать 36 В.

При проведении экспериментальных исследований по выявлению эффективности защиты смежных линий связи отсасывающими трансформаторами наибольшие значения вышеуказанных напряжений были: $U_{ш} = 0,33 \text{ мВ}$; $U_0 = 21 \text{ мВ}$.

Анализ результатов исследований показал, что уровни мешающего $U_{ш}$ и опасного U_0 напряжений

находятся значительно ниже допустимых норм как при включенных, так и отключенных отсасывающих трансформаторах.

На величину мешающего напряжения $U_{ш}$ оказывает влияние работа электроустановок, непосредственно не связанная с электротягой. Это влияние имеет неравномерное распределение во времени и может значительно превышать магнитное влияние тягового тока, что проявляется как увеличение мешающего напряжения при отсутствии электропоездов на участке.

На основании проведенных исследований можно сделать выводы:

1 Включение отсасывающих трансформаторов не приводит к заметному уменьшению уровня мешающего напряжения от тягового тока, поэтому дальнейшая эксплуатация их на Белорусской же-

Получено 11.08.2004

V. G. Chernomashentsev, A. V. Grapov, V. V. Savenkov. The authors made investigation on protection efficiency of adjacent communication lines by outlet transformers on Belarusian Railway at electric traction of 27 kV.

They give the reasons of influence of alternative current traction on adjacent communication lines, means of this influence decrease, investigated protection efficiency of this lines by outlet transformers.

лезной дороге является нецелесообразной. Аналогичные результаты были получены на железных дорогах России.

2 При отключении отсасывающих трансформаторов обратный провод не демонтировать, так как в последующем целесообразно рассмотреть вопрос о его использовании в качестве экранирующего провода обратного тока.

Список литературы

1 Электроснабжение электрических железных дорог / Под ред. *К. Г. Маркварда*. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.

2 *Шалимов М. Г.* Влияние электрических железных дорог на смежные устройства. – Омск: ОМИИТ, 1985. – 81 с.

3 Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока. – М.: Транспорт, 1989. – 134 с.