

УДК 621.316.9

Д-р техн. наук, проф. А. Б. КОСАРЕВ, инж. М. В. АЛЕКСЕЕНКО

Система тягового электроснабжения переменного тока с незначительным коэффициентом несимметрии по напряжению на первичной стороне силового тягового трансформатора

Аннотация. Статья посвящена решению актуальных задач, разработке обоснования системы тягового электроснабжения переменного тока, дающей возможность снижения до допустимых значений коэффициента симметрии по напряжению на первичной стороне силового тягового трансформатора тяговой подстанции переменного тока.

Для достижения поставленной цели рекомендуется в систему тягового электроснабжения (СТЭ) включить многофункциональный вольтодобавочный трансформатор (МФ ВДТ). Питающая (основная) обмотка подсоединяется на стороне 27,5 кВ к одной из фаз силового тягового трансформатора, вольтодобавочная обмотка подключается в отсасывающую линию тяговой подстанции, а компенсационная обмотка нагружается на регулируемую конденсаторную установку.

Результаты обработки данных аналитических расчетов по предлагаемой авторами методике анализа электромагнитных процессов в СТЭ с МФ ВДТ позволили обосновать параметры конденсаторной установки при ее включении на напряжение 2,5 кВ компенсационной обмотки.

При расчетах учитывалась возможность представления электровоза как в виде источника мощности, так и в виде источника тока. При анализе токораспределения в СТЭ с МФ ВДТ использовалась стандартная система уравнений, сформированных по методу контурных токов. Из-за нелинейности схемы СТЭ с МФ ВДТ, обусловленной зависимостью сопротивления электровоза от квадрата напряжения на токоприемнике при его представлении в виде источника мощности, использовался метод последовательных приближений (метод итераций). Аналогичный метод применялся и при представлении электровоза в виде источника тока.

Установлено, что при использовании регулируемой конденсаторной установки согласно приведенному в статье закону коэффициент несимметрии не превышает нормируемых ГОСТ 13109–97 значений при отличающихся по модулю друг от друга токах опережающей и отстающей фаз не более чем на 30%.

Отмечается, что при включении вольтодобавочной обмотки (ВДО) МФ ВДТ в отсасывающую линию имеется возможность практически на величину ЭДС, наводимой в ВДО за счет магнитных связей с питающей обмоткой, увеличить напряжение в отстающей фазе и одновременно на несколько меньшую величину поднять напряжение на опережающей фазе.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения; многофункциональный вольтодобавочный трансформатор; качество электрической энергии; коэффициент несимметрии; электровоз; ток; напряжение

Рост грузоперевозок, увеличение доли тяжеловесных и соединенных поездов, а в связи с этим — внедрение в эксплуатацию мощных электровозов на

основных направлениях железных дорог требуют осуществления мероприятий по усилению и повышению эффективности системы тягового электроснабжения (СТЭ) переменного тока.

Усиление СТЭ должно производиться как с целью обеспечения пропускной способности по всем элементам системы непрерывно возрастающих токов тяговой нагрузки (усиление по току), так и с целью обеспечения необходимого для нормальной работы электроподвижного состава (ЭПС) уровня напряжения в тяговой сети (усиление по напряжению). Необходимо также выполнение мероприятий по компенсации реактивной мощности в задаваемых питающей электрической системой размерах [1, 2].

Наибольший эффект усиления может быть получен при переходе от системы 25 кВ к схеме питания тяговых нагрузок по системе 2×25 кВ с обратным питающим проводом и автотрансформаторами. Эта система находит все большее применение на электрифицированных железных дорогах переменного тока в России и за рубежом [3, 4, 5].

Ученые и специалисты различных организаций ОАО «РЖД» и учебных университетов предложили ряд технических решений по многопроводной тяговой сети переменного тока с экранирующим и усиливающим проводами (ЭУП) [3].

СТЭ с ЭУП позволяет устранить некоторые недостатки, присущие обычной тяговой сети 25 кВ. Она имеет меньший по сравнению с обычной системой 25 кВ реактанс тяговой сети и, как следствие этого, обеспечивает уменьшение потери напряжения в тяговой сети и снижение электромагнитного влияния на смежные линии связи.

Установки поперечной емкостной компенсации (УППК) применяются, как правило, для повышения коэффициента мощности СТЭ до уровня, приемлемого для питающейся электрической системы [1, 2, 6].

Основное назначение установок поперечной емкостной компенсации — уменьшение перетоков обменной (реактивной) энергии в тяговой сети и в питающей электрической системе. Наибольшее влияние

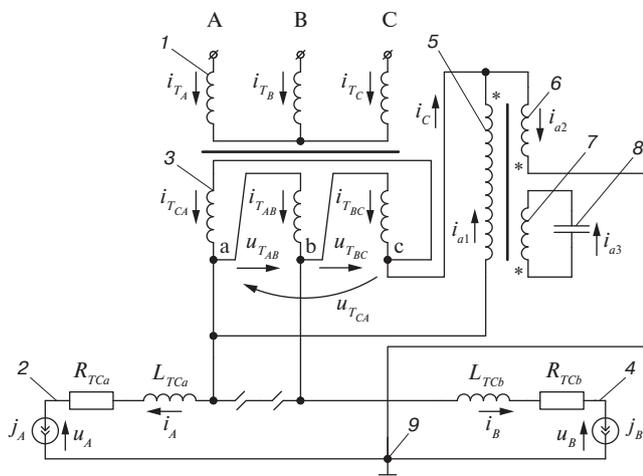


Рис. 1. Устройство тягового электроснабжения переменного тока с МФ ВДТ, включенным в отсасывающую линию:
 1 — первичная обмотка силового тягового трансформатора;
 2 — контактная сеть с током j_A в опережающей фазе силового тягового трансформатора; 3 — тяговая обмотка силового тягового трансформатора тяговой подстанции переменного тока; 4 — контактная сеть с током j_B в отстающей фазе силового тягового трансформатора; 5 — ПО МФ ВДТ; 6 — ВДО МФ ВДТ; 7 — КО МФ ВДТ; 8 — конденсаторная установка; 9 — узел объединения ветви воздушного отсоса, РПП и контурного заземлителя

на режим работы СТЭ оказывают УППК, установленные в тяговой сети. Это объясняется тем, что, разгружая в той или иной мере тяговую сеть от обменной энергии электровозов, УППК способствует повышению напряжения на лимитирующих блок-участках.

В монографии [6] УППК рекомендуется использовать в основном для повышения напряжения на токоприемнике электровоза.

Следует отметить, что для получения желаемого эффекта УППК должны быть регулируемы и иметь высокую надежность в работе. Только при этих условиях можно будет рассчитывать на их положительные свойства при изменении тяговой нагрузки в широких пределах.

Наибольшая потребность в УППК приходится на участки с интенсивной рекуперацией, где коэффициент мощности подстанций понижается до 0,3–0,4 и ниже, а уровень напряжения в тяговой сети невысок. Здесь необходимо также улучшать форму кривой напряжения.

Эффективным средством повышения напряжения в тяговой сети являются установки продольной емкостной компенсации (УПРК) [2, 6]. Чаще всего их устанавливают на тяговой подстанции (в рабочих фазах либо в цепи отсоса) и редко на фидерной зоне.

В тех случаях, когда необходимо поднять напряжение только на одной из рабочих фаз, обычно отстающей, то рекомендуется включать УПРК только в эту фазу. Если же нужно обеспечить подъем напряжения

на обеих рабочих фазах, то рекомендуется применять УПРК в цепи отсоса или в комбинации: и в цепи отсоса, и в рабочей фазе.

Недостатком применения УПРК является повышение уравнивающего тока в тяговой сети между двумя смежными подстанциями, на одной из которых установлена УПРК, а также увеличение потери электроэнергии в системе энергоснабжения, перераспределение мощности между соседними тяговыми подстанциями со всеми вытекающими из этого отрицательными последствиями. Следует также отметить большую повреждаемость конденсаторов УПРК в сравнении с УППК. Это объясняется тяжелыми условиями работы силовых конденсаторов этих установок, в том числе несинусоидальностью тока тяговой нагрузки, резкими изменениями его величины, а также недостаточной надежностью самих конденсаторов.

Проведенный краткий анализ возможностей традиционных средств повышения напряжения в тяговой сети при повышенных тяговых нагрузках показал, что имеется потребность в создании нового, дополнительного средства усиления СТЭ, которое обладало бы не меньшими возможностями по повышению напряжения в тяговой сети, чем установки емкостной компенсации, но имело бы существенно большую надежность и лучшие эксплуатационные качества.

Таким средством может быть специальный вольтодобавочный трансформатор (МФ ВДТ) [7].

Применение вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) в системе тягового электроснабжения переменного тока может оказаться целесообразным для повышения уровня напряжения в тяговой сети с целью улучшения условий работы электроподвижного состава, повышения пропускной и провозной способности электрифицированных участков, уменьшения потери электроэнергии в тяговой сети от токов тяговой нагрузки, уравнивающих токов.

Однако при внедрении на сети дорог ВДТ увеличиваются потери электроэнергии в тяговых трансформаторах и в системе внешнего электроснабжения.

Устранить этот недостаток можно путем использования МФ ВДТ [8, 9, 10], электрические характеристики которого и схема возможного включения в тяговую сеть приведены в [9]. В [8] предложен алгоритм расчета эффективности применения МФ ВДТ при учете спектрального состава тока электровоза. При этом система тягового электроснабжения с МФ ВДТ, вольтодобавочная обмотка (ВДО) которого включена в питающую контактную сеть линию, имеет основной недостаток: коэффициент несимметрии по напряжению на шинах тяговой подстанции превышает нормируемые значения. Кроме того, предложенная в [7, 8, 9, 10] схема включения ВДО не позволяет одновременно

повысить напряжение на шинах отстающей и опережающей фаз.

Устранить указанные недостатки системы электроснабжения с МФ ВДТ возможно путем включения ВДО в отсасывающую линию тяговой подстанции, а именно: между фазой «С» тягового трансформатора и узлом, объединяющим воздушную отсасывающую линию, рельсы подъездного пути (РПП) и контура заземления тяговой подстанции. Влиянием контура заземлителя на подключение ВДО МФ ВДТ можно пренебречь, так как его сопротивление существенно больше, чем сопротивление параллельно включенных воздушного отсоса и РПП.

Устройство тягового электроснабжения переменного тока с МФ ВДТ, ВДО которого включена в отсасывающую линию, а компенсационная обмотка (КО) нагружена на регулирующую конденсаторную установку, представлено на рис. 1. Основная (питающая) обмотка (ПО) МФ ВДТ подсоединяется к отстающей или опережающей фазе тяговой обмотки силового тягового трансформатора. На рис. 1 приведены обозначения мгновенных значений токов в первичной (i_{TA}, i_{TB}, i_{TC}) и тяговой ($i_{TCA}, i_{TAB}, i_{TBC}$) обмотках силового тягового трансформатора, а также в ПО (i_{a1}), ВДО (i_{a2}) и КО (i_{a3}) МФ ВДТ. Тяговая нагрузка электровазов обозначена в виде токов j_A и j_B . Кроме того, обозначены индуктивности (L_{TCA}, L_{TCB}) и активные сопротивления (R_{TCA}, R_{TCB}) тяговой сети, а также напряжения на элементах схемы, соответствующие частоте ω .

В [1, 2, 6, 7, 9] рекомендуются энергетические соотношения (потери энергии и напряжения) в тяговой сети переменного тока, а также предлагается анализ коэффициента несимметрии выполнять на основной частоте ($\omega = 314 \text{ с}^{-1}$). Для дальнейшего расчета воспользуемся символическим методом. Временным функциям токов $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ и напряжений $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$, где ψ_i и ψ_u — начальные фазы гармонически изменяющихся токов и напряжений, будут соответствовать комплексные значения действующих токов (\dot{I}) и напряжений (\dot{U}), т. е.

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \equiv \dot{I} = I e^{j\psi_i};$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \equiv \dot{U} = U e^{j\psi_u}.$$

На рис. 2 приведена расчетная схема замещения СТЭ с МФ ВДТ для консольного питания двух смежных фидерных зон при наличии МФ ВДТ.

Распределение токов в данной схеме с использованием матричных методов анализа находится по формуле

$$[M_I] = [M_Z]^{-1} [M_E]$$

при

$$M_Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} \end{pmatrix}; M_I = \begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{33} \\ \dot{I}_{44} \\ \dot{I}_{55} \end{pmatrix};$$

$$M_E = \begin{pmatrix} \dot{E}_{11} - (\dot{I}_{66} Z_{16} + \dot{I}_{77} Z_{17}) \\ \dot{E}_{22} - (\dot{I}_{66} Z_{26} + \dot{I}_{77} Z_{27}) \\ \dot{E}_{33} - (\dot{I}_{66} Z_{36} + \dot{I}_{77} Z_{37}) \\ \dot{E}_{44} - (\dot{I}_{66} Z_{46} + \dot{I}_{77} Z_{47}) \\ \dot{E}_{55} - (\dot{I}_{66} Z_{56} + \dot{I}_{77} Z_{57}) \end{pmatrix}.$$

В полученных выражениях \dot{I}_{ii} — комплексные действующие значения контурных токов; Z_{ii} — комплексные сопротивления соответствующих контуров на частоте $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$; Z_{ij} — комплексные взаимные сопротивления между i -м и j -м контурами на частоте $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$; \dot{E}_{ii} — комплексное эквивалентное ЭДС i -го контура.

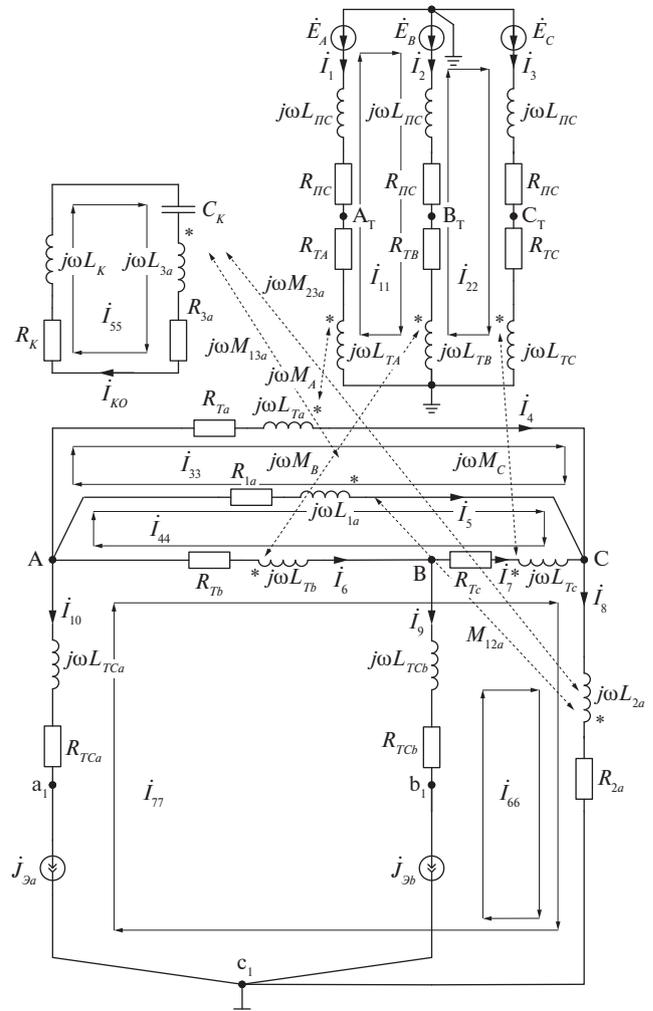


Рис. 2. Расчетная схема консольного питания двух смежных фидерных зон при наличии МФ ВДТ

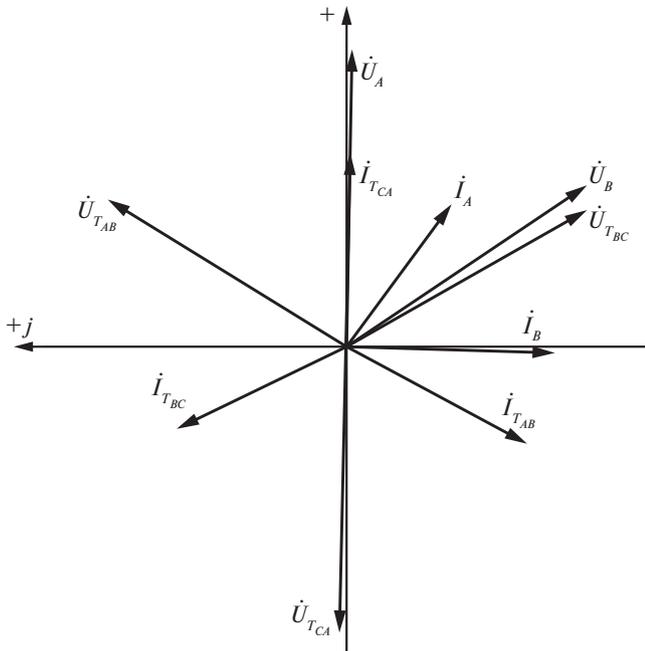


Рис. 3. Векторная диаграмма токов и напряжений

Расчет схемы замещения, приведенной на рис. 2, выполнялся при представлении электровозов как в виде источников мощности, так и в виде источников тока ($\dot{J}_{\text{Эа}}$ и $\dot{J}_{\text{Эб}}$). При этом для расчета реального токораспределения в схеме использовался метод последовательного приближения (метод итерации).

При представлении электровоза в виде источника мощности использование метода итерации сводилось к следующему. По известной (из тяговых расчетов) полной (\dot{S}_3) и активной (P_3) мощности электровоза определяем его комплексное сопротивление, предварительно задавшись напряжением (U_3) на токоприемнике,

$$\underline{Z}_3 = \frac{U_3^2}{\dot{S}_3}$$

С использованием метода контурных токов, законов Кирхгофа и Ома находим напряжение на токоприемнике электровоза. Сравниваем полученное значение с ранее принятым. Если расхождение значительное, то расчет повторяется.

В том случае, если ЭПС при расчетах представляет в виде заданного (из тягового расчета) тока электровоза, то использование метода итерации сводится к следующему. На первом этапе зададимся начальными фазами токов (источников тока) $\dot{J}_{\text{Эа}}$ и $\dot{J}_{\text{Эб}}$. С использованием метода контурных токов, законов Ома и Кирхгофа рассчитываем комплексные значения напряжений на токоприемниках электровозов и далее определяем сдвиг фаз между напряжениями на токоприемниках и токами электровозов. В том случае, если сдвиг фаз существенно отличается от значений, общепринятых при тяговых расчетах ($\varphi = \psi_u - \psi_i = 36,5^\circ$, $\cos(\varphi) = 0,8$), то действие повторяется до тех пор, пока расхождение

между полученными значениями φ и заданным станет несущественным.

По изложенному выше алгоритму проводились расчеты для достаточно большого числа мгновенных схем, отличающихся удаленностью электровозов от тяговой подстанции и потребляемыми ими токами.

Установлено, что результаты расчетов при представлении электровоза в виде источника мощности и источника тока отличаются незначительно (расхождение по токораспределению в элементах тяговой сети не превышает 5%).

При полученных в результате расчетов значениях токов в обмотках силового тягового трансформатора, а также напряжений на них представилось возможным рассчитать коэффициент несимметрии по напряжению на первичной стороне силового трансформатора.

На рис. 3 представлены результаты расчета одной из мгновенных схем при следующих исходных данных:

- питающая обмотка МФ ВДТ подключена на напряжение отстающей фазы тягового трансформатора;
- расчетные значения токов равны $J_{\text{Эа}} = 246 \text{ А}$, $J_{\text{Эб}} = 290 \text{ А}$;
- емкость подключенной к КО МФ ВДТ на напряжение 2,5 кВ конденсаторной установки 3,2 мФ.

Электровоз с током $J_{\text{Эа}}$ расположен на расстоянии 9 км от тяговой подстанции, электровоз с током $J_{\text{Эб}}$ — на расстоянии 25 км от подстанции и перемещается в ее сторону с шагом 4 км.

Установлено, что как за счет изменения напряжения на опережающей и отстающей фазах, так и в основном за счет перераспределения тока в отсасывающей линии тяговой подстанции происходит существенное уменьшение коэффициента несимметрии тока (напряжения) в системе внешнего электроснабжения, питающей тяговую подстанцию.

Показано, что при равных (по модулю) токах I_A и I_B коэффициент несимметрии по напряжению стремится к нулю.

Установлено, что, исходя из требования получения нормируемых значений по напряжению коэффициента несимметрии на основной частоте [11], емкость конденсаторной установки, подключенной на напряжение 2,5 кВ, при условии $0,75 \leq \frac{I_B}{I_A} \leq 1,3$ определяется из выражения

$$C = 1,45 \left(\left(\frac{I_B}{I_A} \right)^{1,15} + 1 \right) \left(\frac{I_B}{250} \right)^{1,2},$$

где I_A, I_B — действующие значения токов в питающих плечах контактной сети, подключенных соответственно к опережающей и отстающей фазе тяговой обмотки тягового трансформатора.

Анализ приведенного выражения указывает на необходимость регулирования емкости конденсаторной установки, подключенной в данном случае на питающее напряжение 2,5 кВ, что позволит существенно улучшить режим ее работы.

Выводы. 1. Предложена система тягового электроснабжения переменного тока с МФ ВДТ, ВДО которого включается в отсасывающую линию тяговой подстанции, а к КО подсоединяется регулируемая конденсаторная установка.

2. Показана возможность получения нормируемых значений коэффициента несимметрии по напряжению на первичной стороне силового тягового трансформатора. В частности, при одинаковых токах в питающих линиях, соединяющих контактную сеть с опережающей и отстающей фазами силового тягового трансформатора, коэффициент несимметрии по напряжению стремится к нулю.

Получено выражение, согласно которому целесообразно осуществлять регулирование емкости конденсаторной установки в зависимости от токов в питающих линиях, подключенных к опережающей и отстающей фазам силового тягового трансформатора.

Необходимо отметить достаточно хорошее совпадение результатов моделирования коэффициента несимметрии при представлении электровозов как в виде источников тока, так и в виде источников мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.
2. Мамошин Р.Р. Повышение качества энергии на тяговых подстанциях дорог переменного тока. М.: Транспорт, 1973. 315 с.
3. Косарев Б.И. Электробезопасность в тяговых сетях переменного тока. М.: Транспорт, 1989. 227 с.

4. Косарев А.Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока. М.: Интекст, 2004. 272 с.

5. Косарев А.Б., Косарев Б.И. Основы электромагнитной безопасности систем электроснабжения железнодорожного транспорта. М.: Интекст, 2008. 480 с.

6. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог. М.: РОАТ, 2012. 211 с.

7. Власов С.П. Схема замещения тяговой подстанции переменного тока с ВДТ // Транспорт. Наука, техника, управление. 1994. № 5. С. 28–30.

8. Косарев Б.И., Сербиненко Д.В., Алексеенко М.В. Система тягового электроснабжения переменного тока с multifunctionальными вольтодобавочными трансформаторами // Наука, техника, управление. 2013. № 1. С. 13–18.

9. Косарев А.Б., Сербиненко Д.В., Алексеенко М.В. Эффективность внедрения multifunctionального вольтодобавочного трансформатора для ограничения уравнивающих токов // Наука, техника, управление. 2011. № 5. С. 28–30.

10. Косарев А.Б., Сербиненко Д.В., Алексеенко М.В. Оценка эффективности внедрения multifunctionального вольтодобавочного трансформатора для повышения напряжения в тяговой сети // Электроника и электрооборудование транспорта. 2013. № 4. С. 2–6.

11. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 32 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОСАРЕВ Александр Борисович,

заместитель Генерального директора ОАО «ВНИИЖТ»,
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.
Тел.: (499) 260-41-02.
E-mail: kossarev@vniizt.ru

АЛЕКСЕЕНКО Максим Викторович,

аспирант кафедры «Электроэнергетика транспорта», МГУПС (МИИТ).
127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел.: (903) 555-93-09.
E-mail: a334@yandex.ru ✉

Electric Power Supply System with Negligible Voltage Asymmetry Coefficient on the Input Side of the Main Traction Transformer

Alexander B. Kosarev, Dr. of Technical Science, Professor, Deputy Director General, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604102. E-mail: kossarev@vniizht.ru

Maxim V. Alexeenko, Post-Graduate Student, Chair for Electric Power Engineering on Transport, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT). Building 9, 9 Obratsov str., 127994 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (903) 5559309. E-mail: a334@yandex.ru ✉

Abstract. The paper tackles the substantiation aspect of the AC traction power supply system (TPSS) allowing reduction to the permissible level in the voltage symmetry coefficient on the input side of the main traction transformer of the AC traction substation.

For this purpose it is recommended to insert multifunctional booster transformer in the TPSS. Its input power (main) winding is connected to one of the 27.5 kV-side branches of the main traction transformer, booster winding is brought in the traction substation feeder line and compensating winding is loaded on the adjustable capacitor unit.

Data products of analytical calculations, performed by the proposed by the authors analysis procedure of electromagnetic processes in the TPSS with the multifunctional booster transformer, allowed to substantiate the capacitor unit parameters for the case of its energizing to carry the compensating winding's 2.5 kV.

When performing calculations the account was taken of the possible electric locomotive casting in the form of a power source and of a current source as well. While analyzing current distribution within the TPSS with multifunctional boosting transformer the authors used the standard set of equations, formulated by the

mesh technique. In the case of current collector conceiving as a power source the necessity of employing iteration procedure was caused by non-linearity of the system under consideration due to quadratic dependence of electric locomotive resistance on the current collector voltage. Similar procedure was also employed in the case of current collector conceiving as a current source.

For the case of employing adjustable capacitor unit it was found that according to the law presented in the paper, asymmetry coefficient does not exceed the values set by the GOST 13109-97 while leading and retarding phases' currents differ from each other in modulus by no more than 30%.

It is noted that with booster winding of the multifunctional booster transformer brought in the traction substation feeder line it becomes possible to increase the retarding phase voltage by the value very near to the EMF induced in the booster winding due to its magnetic interaction with the input power winding and to raise simultaneously the leading phase current by somewhat lower value.

Keywords: traction power supply system; multifunctional booster transformer; electric power quality; asymmetry coefficient; electric locomotive; electric current; voltage

References

1. Marquardt K.G. *Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Power supply of electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982. 528 p.
2. Mamoshin R.R. *Povyshenie kachestva energii na tyagovykh podstantsiyakh dorog peremennogo toka* [Improving the quality of energy on the traction substations of AC railways]. Moscow, Transport Publ., 1973. 315 p.
3. Kosarev B.I. *Elektrobezopasnost' v tyagovykh setyakh peremennogo toka* [Electrosafety in traction AC networks]. Moscow, Transport Publ., 1989. 227 p.
4. Kosarev A.B. *Osnovy teorii elektromagnitnoy sovmestimosti sistem tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka* [Fundamentals of the theory of the electromagnetic compatibility of AC traction power supply systems]. Moscow, Intext Publ., 2004. 272 p.

5. Kosarev A.B., Kosarev B.I. *Osnovy elektromagnitnoy bezopasnosti sistem elektrosnabzheniya zheleznodorozhnogo transporta* [Fundamentals of electromagnetic safety of power supply systems of rail transport]. Moscow, Intext Publ., 2008. 480 p.

6. German L.A., Serebryakov A.S. *Reguliruyemye ustanovki emkostnoy kompensatsii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog* [Controlled capacitive compensation units in traction power supply systems of railways]. Moscow, Russian Open Academy of Transport Publ., 2012. 211 p.

7. Vlasov S.P. *Skhema zameshcheniya tyagovoy podstantsii peremennogo toka s VDT* [Replacement scheme of AC traction substation with differential current switch]. Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie, 1994, no. 5, pp. 28–30.

8. Kosarev B.I., Serbinenko D.V., Alekseenko M.V. *Sistema tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka s mnogofunktsional'nymi vol'todobavochnymi transformatorami* [Traction AC power supply system with multi-function booster transformers]. Nauka, tekhnika, upravlenie, 2013, no. 1, pp. 13–18.

9. Kosarev A.B., Serbinenko D.V., Alekseenko M.V. *Effektivnost' vnedreniya mnogofunktsional'nogo vol'todobavochnogo transformatora dlya ogranicheniya uravnitel'nykh tokov* [The effectiveness of the implementation of multi-booster transformer to limit equalization currents]. Nauka, tekhnika, upravlenie, 2011, no. 5, pp. 28–30.

10. Kosarev A.B., Serbinenko D.V., Alekseenko M.V. *Otsenka effektivnosti vnedreniya mnogofunktsional'nogo vol'todobavochnogo transformatora dlya povysheniya napryazheniya v tyagovoy seti* [Evaluating the effectiveness of the introduction of multi-function booster transformer to boost the voltage to the traction network]. Elektronika i elektrooborudovanie transporta, 2013, no. 4, pp. 2–6.

11. *GOST Standard 13109–97. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems.* 32 p. (in Russ.).

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Косарев А.Б., Косарев Б.И., Сербиненко Д.В. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока. М.: ВМГ-Принт, 2015. 349 с.

Изложены методы анализа электромагнитных процессов в современных системах тягового электроснабжения и их влияние на электроустановки и электрические сети магистральных железных дорог. Обоснованы методы расчета нестационарных, в том числе и грозовых, режимов в сложных и неоднородных нелинейных цепях с переменной структурой, при представлении элементов цепи в виде линий с распределенными параметрами, носящими вероятностный характер. С привлечением методов линейной алгебры

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов теплопереноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектрокинетическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения ин-

и теории многополюсников рассмотрены матричные методы анализа энергетических соотношений в современных системах тягового электроснабжения при учете несинусоидального характера токов электровозов. Основные технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения защищены авторскими свидетельствами и патентами на полезную модель.

Предназначена для научных работников, аспирантов. Может быть полезна инженерам-электрикам, а также студентам электротехнических специальностей высших транспортных учебных заведений.

женерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядок содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книг обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.