

В. Г. ЯГУП (ХНУГХ), Е. В. ЯГУП (УкрГАЗТ)

Кафедра электроснабжения городов, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002, эл. почта: Yagup_Valery@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-7019-3499

Кафедра автоматизации систем электротного транспорта, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050, эл. почта: Kate.Yag@rambler.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-9305-8169

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ТЯГОВОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКЕ

Постановка проблемы в общем виде

Электроснабжение железнодорожного транспорта на переменном токе представляет собой перспективное направление в развитии транспортных систем [1, 2]. Такой способ энергоснабжения подвижного состава обладает рядом преимуществ по сравнению с электроснабжением на постоянном токе. В частности, можно отметить уменьшение потерь энергии, поскольку ее передача осуществляется более высоким напряжением при меньшем токе. Кроме того, отпадает необходимость в обслуживании выпрямительных установок тяговых подстанций, содержащих силовые полупроводниковые приборы, столь чувствительные к перегрузкам. Одним из недостатков систем электроснабжения железнодорожного транспорта переменным током является существенная несимметрия токов в линиях электропередачи трехфазных систем и в обмотках питающих трехфазных трансформаторов. Это обусловлено тем обстоятельством, что отбор энергии от вторичной обмотки тягового трансформатора, соединенной по схеме треугольника, осуществляется лишь от одной обмотки, если подстанции нагружается двигателями одного поезда, или от двух обмоток, когда от подстанции питаются два поезда. Наибольшая степень несимметрии, как показывают исследования, соответствует случаю одноплечевой нагрузки. При этом в аномальном режиме по потреблению и генерации реактивной мощности оказывается не только трансформатор подстанции, но и питающая сеть. Это вызывает значительные амплитуды токов в линиях электропередачи, что приводит к увеличению необратимых тепловых потерь и снижению коэффициента полезного действия. Поэтому симметрирование и компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения переменного тока представляет собою важный резерв энергоснабжения, особенно если учесть,

что системы электроснабжения транспорта являются одними из самых мощных электроэнергетических потребителей.

Компьютерное моделирование с использованием современных методов поисковой оптимизации показало [5, 6], что симметрировать систему электроснабжения путем выравнивания амплитуд токов в трехфазной линии электропередачи можно путем присоединения к вторичной стороне трансформатора реактивных элементов, которые не вносят активных потерь в систему. Для случая наибольшей несимметрии при питании одного поезда в состав симметрирующего устройства необходимо включить два конденсатора и одну индуктивность. Величины параметров симметрирующего устройства должны изменяться в зависимости от нагрузки, поэтому необходима информация о характере изменения этих параметров в зависимости от нагрузки. Эта информация нужна для управления симметрирующими устройствами в пределах заданных погрешностей с целью оптимизации режимов работы тяговой подстанции.

Анализ последних публикаций и выделение нерешённых проблем

Для ослабления влияния несимметрии используют схемы так называемого «винта» [1]. При этом для нескольких подстанций переменного тока, питающихся от одной высоковольтной линии электропередачи, изменяют точки подключения и фазировка тяговой нагрузки. Однако эти меры не позволяют полностью решить проблему несимметрии тяговой нагрузки и появления реактивной мощности и не позволяют снизить потери и увеличить коэффициент полезного действия.

В последние годы наблюдается большой интерес к вопросам симметрирования и компенсации реактивной мощности в системах элек-

троснабжения железных дорог [3,4], однако в указанных работах отсутствует детальный анализ режимов оборудования, а также точное определение параметров симметрирующих и компенсирующих элементов. В [5] показано, что задачу точного определения параметров симметро-компенсирующего устройства можно решить обобщенными методами с использованием компьютерных моделей и методов оптимизации. Благодаря такой постановке решение обеспечивается самим комплексом автоматизированного проектирования, а результаты характеризуются высокой точностью и малыми затратами времени на получение самого решения. В [6] такое решение получено для тяговой системы электроснабжения переменного тока при фиксированной нагрузке. Представляет интерес однако решение этой задачи для широкого диапазона изменения нагрузки на тяговую подстанцию переменного тока и обобщения результатов. Такая информация может быть полезна при проектировании автоматических устройств компенсации реактивной мощности с

использованием микропроцессорной техники. В частности, для ускорения принятия решения в память микроконтроллера может быть введена информация, полученная по результатам расчетов, в виде табличных массивов данных или аппроксимирующих математических выражений.

Целью статьи является определение параметров симметро-компенсирующего устройства, подключаемого на зажимах вторичной обмотки тягового трансформатора, с помощью метода поисковой оптимизации и использованием компьютерной модели системы электроснабжения, при изменяющейся нагрузке на тяговую подстанцию переменного тока

Изложение основного материала статьи

Компьютерная модель тяговой системы электроснабжения приведена на рис.1. Здесь отсутствуют реактивные элементы симметро-компенсирующего устройства, которые исключены из схемы с помощью опции Open Circuit.

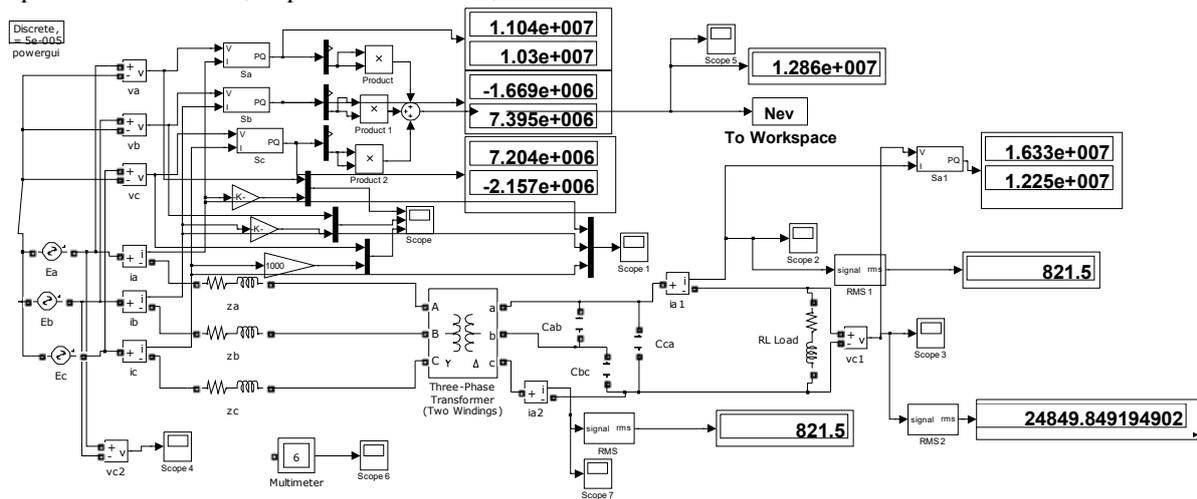


Рис. 1. Компьютерная модель тяговой системы электроснабжения переменного тока при отсутствии симметро-компенсирующего устройства

Таким образом, модель представляет работу системы электроснабжения в несимметричном режиме одноплечевой нагрузки. Здесь источники синусоидального напряжения имитируют питающую сеть неограниченной мощности, какой можно считать в целом энергосистему, от которой питается тяговая подстанция. Элементы, отображающие сопротивления линий электропередачи к тяговому трансформатору, образуют комплексные сопротивления $(1+j\omega 0.01)$ Ом. Первичные обмотки этого трансформатора соединены в звезду, а вторичные – в треугольник (по схеме 11 группы соединения). Выводы вторичной обмотки используются для питания тяговых нагрузок. Фаза С присоединена к рельсу, а

фаза А – к контактному проводу. Сопротивление RL Load отображает тяговую нагрузку, для которой будем полагать значение $\cos \varphi = 0,8$. Оно обеспечивается элементом типа Series RLC Load, в котором задаются активная мощность и реактивная индуктивная составляющая полной мощности, а емкостная составляющая полагается нулевой. Полная мощность SH , потребляемая нагрузкой, задается как часть полной мощности SH_{Tr} тягового трансформатора: $SH=kSH_{mp}$, где будем считать дискретно изменяющимся коэффициент загрузки $k=0,1; 0,2; \dots, 1,0$.

Будем рассматривать реальный случай питания тяговой нагрузки от тягового трансформатора типа ТДНЖ–25000/110. Паспортные данные

этого трансформатора: номинальная мощность 25 мВА, напряжение первичной стороны 110 кВ, напряжение вторичной стороны 27,5 кВ. Частота питающего напряжения 50 Гц; напряжение короткого замыкания составляет 10,5%, потери короткого замыкания 120 кВт; ток холостого хода составляет 0,7%; потери холостого хода 30 кВт. Расчет параметров эквивалентной схемы замещения для визуальной модели трансформатора привел к следующим результатам: активное сопротивление первичной обмотки 1,1616 Ом; индуктивность рассеивания первичной обмотки 0,080798 Гн; активное сопротивление вторичной обмотки 0,0726 Ом; индуктивность рассеивания вторичной обмотки 0,00505 Гн; индуктивность намагничивания 223,316 Гн; активное сопротивление, отражающее потери на перемагничивание, включаемое параллельно индуктивности намагничивания 403078,81 Ом. Эти параметры записываются в окне свойств визуальной модели трехфазного трансформатора, питающего тяговую нагрузку. В этом окне раскрывающийся список должен быть выставлен на опцию, соответствующую поименованным единицам.

При работе модели будем использовать метод дискретных моделей элементов, обеспечивающий преодоление явления жесткости системы дифференциальных уравнений. Шаг дискретизации модели принят равным 0,00005 с.

В процессе моделирования на виртуальные осциллографы выводятся токи в линиях электропередачи (они же являются токами в источниках электроэнергии и первичных обмотках трансформатора), напряжения на зажимах трансформатора, а также токи и напряжения нагрузки. С помощью виртуальных измерительных приборов наблюдаются активные и реактивные мощности, отдаваемые каждым источником электроэнергии с передачей этих значений на цифровые измерители. Из реактивных составляющих этих мощностей в модели вычисляется шаровая метрика, которая служит в качестве целевой функции при оптимизации. Как видно из показаний приборов модели (рис. 1), при отсутствии устройства симметрирования и компенсации реактивной мощности режим характеризуется крайне неудовлетворительными показателями, характеризующими потребление электрической энергии от источников. Приведенный вариант соответствует единичному значению коэффициента загрузки k , то есть мощность потребителя установлена равной номинальной мощности питающего трансформатора. Знаки перед составляющими полной мощности фаз показывают, что фаза А отдает активную мощность и реактивную мощность индуктивного

характера, фаза В потребляет активную мощность и отдает реактивную мощность индуктивного характера, фаза С отдает активную мощность и реактивную мощность емкостного характера. Это обстоятельство, обусловленное значительной несимметрией токов, может приводить к неправильным трактовкам учета электроэнергии, потребляемой тяговой подстанцией. Действующее значение потребляемого тока составляет величину 821,5 А, что приводит к существенным потерям напряжения на нагрузке, действующее значение которого составляет величину 24849,85 В, что весьма отличается от номинального напряжения 27500 В и характеризуется 10% потерей напряжения. Такое снижение напряжения на контактом проводе может резко уменьшить развиваемое тяговыми двигателями усилие [1, 2].

Поиск параметров компенсатора реактивной мощности осуществляется с помощью поисковой оптимизации на основе алгоритма метода деформируемого многогранника [7], реализуемого в системе MATLAB совместно с Simulink-моделью [8]. Методика организации такого поиска обоснована и разработана авторами применительно к обобщенной трёхфазной системе электроснабжения в [5, 6].

Параметрами оптимизации считаются величины параметров элементов, подключаемых для симметрирования режима и компенсации реактивной мощности в рассматриваемой системе электроснабжения. В качестве СКУ выбрана схема из трёх реактивных элементов, включаемых по схеме треугольника к выводам вторичной обмотки тягового трансформатора. Порядок включения и типы реактивных элементов определены в процессе исследования в [6]. На рис. 2 приведена модель системы электроснабжения после окончания процесса поисковой оптимизации для принятых параметров и единичного коэффициента загрузки. Этот режим достигнут при следующих параметрах СКУ: $C_{ab}=50,569E-6$ Ф; $L_{bc}=0,2173$ Гн; $C_{ca}=65,103E-06$ Ф.

При этом значение целевой функции чрезвычайно мало – $N_{ev}=9.859E-5$. Приборы показывают отсутствие в системе реактивной мощности, и каждый из источников отдает лишь активную мощность $6,675E+6$ Вт. Полная мощность в нагрузке определяется значением $SH = 19.91E6 + j14.93E6$, что означает увеличение активной мощности на тяговой нагрузке по сравнению с несимметричным режимом при отсутствии СКУ. Напряжение на контактом проводе возросло до значения 27439,02 В, что близко к номинальному значению, поскольку потери напряжения составляют лишь 0,2% в этом случае.

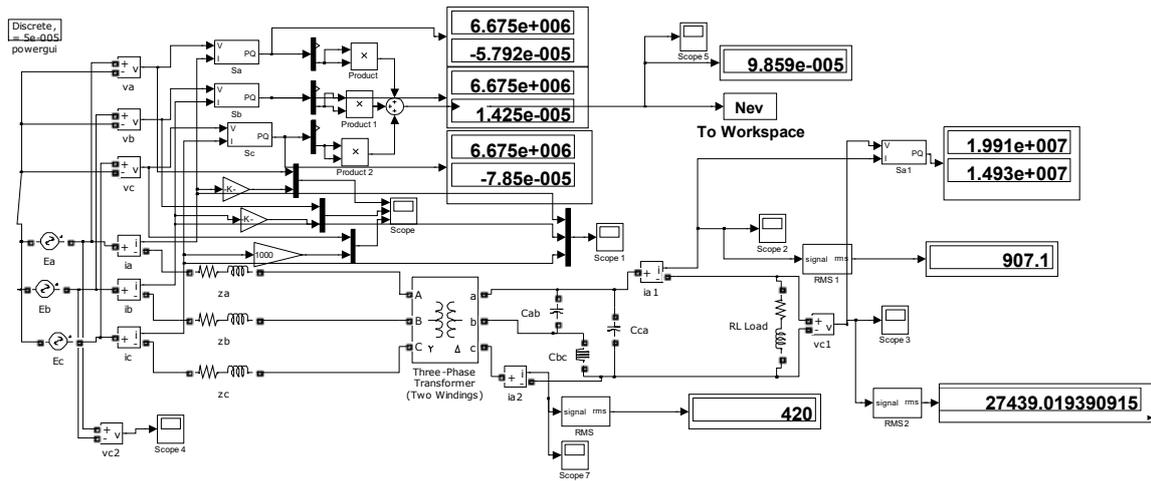


Рис. 2. Компьютерная модель тяговой системы электроснабжения при полной компенсации реактивной мощности

Соответственно увеличился до 907,1 А и ток в нагрузке, что обуславливает увеличение момента тяговых двигателей. Вследствие подключения симметри-компенсирующего устройства почти вдвое уменьшился ток во вторичной обмотке фазы С: ранее он составлял величину 821,5 А, после компенсации – 420 А. Это свидетельствует о высокой эффективности симметрирования и компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения.

На основе описанной методики проведена серия расчетов, в процессе которых при различных нагрузках осуществлялась полная компенсация реактивной мощности и выравнивание токов линий электропередачи и трансформатора. Данные этих расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты поисковой оптимизации при различных нагрузках

Коэффициент нагрузки k	Ток нагрузки в несим. режиме	Параметры симметри-компенсирующего устройства		
		C_{ab} (мкФ)	L_{bc} (Гн)	C_{ca} (мкФ)
0,1	89.96	5.119 6	2.202 3	6.573
0,2	178.1	10.03 2	1.076 9	12.93 8
0,3	264.5	14.97 8	0.714 4	19.33 8
0,5	432,0	24.97 4	0.428 8	32.24 1
0,8	670.6	40.22 6	0.269 9	51.85 4
1,0	821.5	50.56 9	0.217 3	65.10 3

На рис.3 приведены графики, соответствующие показанным в таблице результатам поис-

ковой оптимизации с использованием компьютерной модели.

Здесь спадающая кривая показывает значения индуктивности L_{bc} (в десятикратном увеличении для сохранения наглядности), нарастающие графики отражают значения компенсирующих емкостей (нижняя – для конденсатора C_{ab} , а верхняя – C_{ca}). Эти графики позволяют находить параметры симметри-компенсирующего устройства при любых значениях тока, потребляемого электровозом в несимметричном режиме.

В качестве примера зададим коэффициент загрузки $k=0,6$. При моделировании несимметричного режима действующее значение тока в тяговой нагрузке составляет величину 513,2 А. По графикам (рис.3) найдем: $C_{ab}=30$ мкФ; $L_{bc}=0,365$ Гн; $C_{ca}=38,6$ мкФ. При моделировании процессов в схеме с подключенным симметри-компенсирующим устройством при указанных параметрах получаем режим, весьма близкий к режиму полной компенсации реактивной мощности.

На рис. 4,а приведены временные диаграммы токов в линиях электропередачи (они же – токи в первичных обмотках питающего трансформатора) при заданных параметрах нагрузки и симметри-компенсирующего устройства. Диаграмма свидетельствует о достаточно высокой степени симметрировании токов и компенсации реактивной мощности. При рассмотрении этих же токов в увеличенном масштабе (рис. 4,б) можно заметить относительно небольшие отличия амплитуд токов, что говорит о наличии некоторой погрешности, вызванной визуальной ошибкой определения параметров симметри-компенсирующего устройства графическим способом.

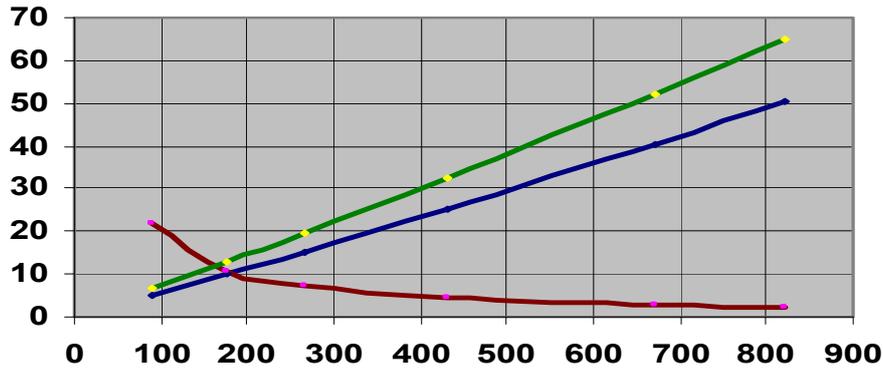


Рис. 3. Графики изменения параметров симметро-компенсирующего устройства в зависимости от тока, потребляемого тяговой нагрузкой в несимметричном режиме

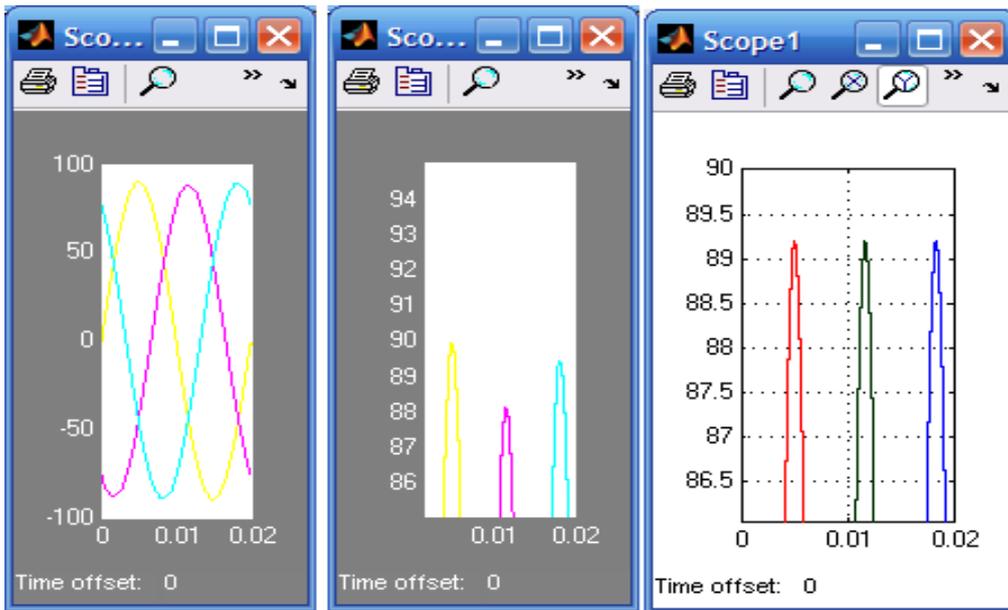


Рис. 4. Диаграммы токов в линиях электропередачи для коэффициента нагрузки $k = 0,6$

Поисковая оптимизация для заданных параметров позволила найти уточненные параметры: $C_{ab}=30,0232$ мкФ; $L_{bc}=0,358$ Гн; $C_{ca}=38,7439$ мкФ. Сравнение амплитуд токов для этих параметров (рис. 4,в) свидетельствует о точном симметрировании токов и полной компенсации реактивной мощности в этом случае. В то же время уточненные параметры незначительно отличаются от параметров симметро-компенсирующего устройства, определенных по графикам.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Исследован несимметричный режим, возникающий в системе электроснабжения железных дорог на переменном токе. Для этого режима характерны значительные уровни реактивной мощности и несимметрия как токов, так и напряжений. Показано, что использование визуальной модели и метода поисковой оптимизации

позволяет с высокой точностью определить параметры симметро-компенсирующего устройства. Подключение симметро-компенсирующего устройства с найденными в процессе оптимизации параметрами обеспечивает симметрирование системы и полную компенсацию реактивной мощности в системе. Проведены расчеты параметров симметро-компенсирующего устройства для различных значений мощности, потребляемой тяговой нагрузкой. Полученные результаты расчетов представлены табличном и графическом виде, что позволяет определять параметры симметро-компенсирующего устройства для любых значений коэффициента загрузки в рассчитанном диапазоне. Перспективой дальнейшего исследования может быть расчет параметров симметро-компенсирующего устройства для случая одновременного питания двух электропоездов для различных вариантов загрузки тяговой подстанции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
2. Хворост Н. В. Электрические железные дороги: этапы и перспективы развития/ Н. В. Хворост, Н. В. Панасенко // Электротехніка і електромеханіка. – 2003. - №4. – С.104-113.
3. Закарюкин, В. П., Крюков, А. В., Иванова, Е. С. Анализ схем симметрирования на тяговых подстанциях железных дорог переменного тока. – Электрифікація транспорту, - №6. – 2013. – С. 26-33.
4. Бардушко, В. Д. Параметрический синтез систем параллельных емкостных компенсирующих устройств в тяговой сети в современных условиях. – Электрифікація транспорту. №6. – 2013. – С. 8-13.
5. Ягуп, В. Г. Расчет режима компенсации реактивной мощности в несимметричной системе электроснабжения методом поисковой оптимизации [Текст] // В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2011. – вип. 11(186). – С.449-454.
6. Ягуп, В. Г. Компенсация реактивной мощности в тяговой системе переменного тока[Текст] // В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Электрифікація транспорту. – 2014. №7.– С. 60-66.
7. Nelder, J.A., Mead, R. A Simplex Method for Function Minimization [Текст] // – Computer J. – 1965. – №7. – P. 308 - 313.
8. Дьяконов, В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя [Текст] /. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002. – 768 с.

Поступила в печать 03.04.2017.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Саенко Ю. Л.*

Рассматривается тяговая подстанция переменного тока с соединением обмоток трансформатора по общепринятой схеме звезда-треугольник. Анализируется реальный вариант питания системы тягового электроснабжения от тягового трансформатора типа ТДНЖ 25000/110. Питание тяговой нагрузки осуществляется от одной из сторон треугольника на вторичной стороне трансформатора, что создает несимметрию в системе электроснабжения. В свою очередь несимметрия токов и напряжений уменьшает коэффициент мощности для источников питания в каждой фазе и увеличивает потери в линии электропередачи. Проведенное с помощью разработанной визуальной модели исследование электромагнитных процессов подтвердило наличие существенной несимметрии в системе. С помощью визуальной модели и поисковой оптимизации на основе метода Нелдера-Мида найдены параметры симметрирующего устройства, состоящего из реактивных элементов. Проведена серия расчетов параметров симметрирующего устройства для различных вариантов нагрузки. Результаты поисковой оптимизации представлены в виде таблиц и графиков, с помощью которых можно определять параметры симметрирующего устройства для любых значений коэффициента загрузки. Контрольный расчет показал высокую точность предложенной методики. При этом выравниваются токи в линии и обмотках трансформатора и полностью компенсируется реактивная мощность в системе электроснабжения. Благодаря совершенному симметрированию и полной компенсации реактивной мощности потери в системе становятся минимальными.

Ключевые слова: симметрирование; реактивная мощность; визуальное моделирование; поисковая оптимизация; коэффициент загрузки.

REFERENCES

1. Markvardt, K. G. (1982). Electricity electrified railways. Moscow, Transport Publ., 528.
2. Khvorost N.V. Electric railways: stages and evolution perspectives/ N.V.Khvorost, N.V.Panasenko//Electrical engineering and elctromechanics. – 2003. - №4. – P. 104-113.
3. Zakarukin, V. P., Kryukov, A. V., Ivanova, E. S. Analysis of balancing schemes for railway AC traction substations. – Transport electrification. 2013. №6. – P. 26-33.
4. Bardushko, V. D. Parametric synthesis of the system of parallel capacitive compensating devices in traction network in modern conditions. Transport electrification. 2013. №6.– P. 8-13.
5. Yagup, V.G., Yagup, K.V. The calculation of mode of reactive power compensation in asymmetrical power supply system with searching optimization method. – Scientific works of the Donetsk national technical university. Series “Electrical and power engineering”. – Donetsk. 2011; v.11(186).. 449-454.
6. Yagup, V.G., Yagup, K.V. Reactive power compensation in alternative current traction system. Transport electrification. 2014. №7.– P. 60-66.
7. Nelder, J. A., Mead, R. A Simplex Method for Function Minimization [Текст] // – Computer J. – 1965. – №7. – p.308 – 313.
8. Diakonov, V. P. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Usage basics. Full user’s handbook. – Moscow. SOLON-Press. 2002. – 768 p.

УДК 621.311

В. Г. ЯГУП (ХНУМГ), К. В. ЯГУП (УкрДАЗТ)

Кафедра електропостачання міст, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова, вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002, ел. пошта: Yagup_Walery@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-7019-3499

Кафедра автоматизації систем електричного транспорту, Українська державна академія залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050, ел. пошта: Kate.Yag@rambler.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-9305-8169

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИМЕТРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ У ТЯГОВІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ ЗМІННОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Розглядається тягова підстанція змінного струму зі з'єднанням обмоток за загально прийнятою схемою зірка-трикутник. Аналізується реальний варіант живлення системи тягового електропостачання від тягового трансформатора типу ТДНЖ 25000/110. живлення тягового навантаження здійснюється від однієї із сторін трикутника на вторинній стороні трансформатора, що створює несиметрію в системі електропостачання. В свою чергу несиметрія струмів і напруг зменшує коефіцієнт потужності для джерел живлення в кожній фазі та збільшує втрати в лінії електропереєсилання. Проведене за допомогою розробленої візуальної моделі дослідження електромагнітних процесів підтвердило наявність суттєвої несиметрії в системі. За допомогою візуальної моделі та пошукової оптимізації на основі метода Нелдера-Міда знайдені параметри симетруючого пристрою, що він складається з реактивних елементів. Проведена серія розрахунків параметрів симетруючого пристрою для різних варіантів навантаження. Результати пошукової оптимізації представлені у вигляді таблиць і графіків, за допомогою яких можна визначати параметри симетруючого пристрою для будь-яких значень коефіцієнта завантаження. Контрольний розрахунок показав високу точність запропонованої методики. При цьому вирівнюються струми в лінії та обмотках трансформатора та повністю компенсується реактивна потужність в системі електропостачання. Завдяки довершеному симетруванню і цілковитій компенсації реактивної потужності втрати в системі стають мінімальними.

Ключові слова: симетрування; реактивна потужність; візуальне моделювання; пошукова оптимізація; коефіцієнт завантаження.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Саєнко Ю. Л.*

UDC 621.311

V. G. YAGUP (NUUE), K. V. YAGUP (UkrSART)

Department of Municipal Power Supply, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Revolution str., 12, Kharkov, Ukraine, 61002, e-mail: Yagup_Walery@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-7019-3499

Department of Electrical Transport System Automation, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feyerbakh sq. 7, Kharkov, Ukraine, 61050, e-mail: Kate.Yag@rambler.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-9305-8169

CALCULATING THE PARAMETERS OF BALUN IN TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM ALTERNATING-CURRENT WITH VARIABLE LOAD

The alternative current traction substation is considered when primary transformer's windings are connected in a star and secondary windings connected in delta. Real case, when system is supplied from traction transformer of type TDNG 25000/110 is considered. A traction load is supplied from one side of delta connection. This creates asymmetrical mode in power supply, decreases power factor and increases copper losses in the system. Simulation of electromagnetic processes on visual model shows a considerable asymmetry in voltages and currents of transformer. Searching optimization based on Nelder-Mead algorithm is implemented on Simulink all at the same time with visual model of traction substation on SimPowerSystem. As searching optimization result are found parameters of simmetrizing device, which provides balanced voltages and currents on transformer's windings. It carried out a series of calculations balun parameters for different load cases. Results of search engine optimization are presented in the form of tables and graphs that can be used to determine the parameters of the balun for any value of the load factor. Control calculation showed high accuracy of the proposed method .Reactive power in system is completely compensated and copper losses in supply system are minimized.

Keywords: symmetrization; reactive power; visual simulation; searching optimization; load factor.

Internal reviewer *Sychenko V. G.*

External reviewer *Saenko U. L.*

© Ягуп В. Г., Ягуп Е. В., 2017