

Розроблена віртуальна модель несиметричної трифазної системи живлення з активно-індуктивним навантаженням та компенсуючими конденсаторами, що з'єднані по схемі трикутник. Із використанням алгоритму оптимізації Нелдера-Міда сумарна величина реактивних потужностей у фазах була зведена практично до нуля, а струми живильної мережі стали симетричними

Ключові слова: алгоритм оптимізації, симетруючі конденсатори, реактивна потужність

Разработана виртуальная модель несимметричной трехфазной системы электроснабжения с активно-индуктивной нагрузкой и компенсирующими конденсаторами, соединенными по схеме треугольник. С использованием алгоритма оптимизации Нелдера-Мида суммарная величина реактивных мощностей в фазах была сведена практически к нулю, а токи питающей сети симметризованы

Ключевые слова: алгоритм оптимизации, симметрирующие конденсаторы, реактивная мощность

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ МЕТОДОМ НЕЛДЕРА-МИДА В НЕСИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Е. В. Ягуп

Кандидат технических наук, доцент
кафедра "Автоматизированные системы
электрического транспорта"

Украинская государственная академия
железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 11, г. Харьков, Украина, 61001
Контактный тел.: (057) 730-10-76
E-mail: yang.kate@rambler.ru

1. Введение

В связи с повышающимися требованиями к качеству электрической энергии в современных системах электроснабжения важными задачами являются уменьшение реактивной мощности и симметрирование токов в электрических сетях. При этом с экономической точки зрения, необходимо искать такие подходы для улучшения электрической энергии, внедрение которых сводилось бы к минимальным затратам. Микропроцессорные устройства просты в установке, экономически выгодны и являются гибким средством регулирования основных параметров электрических сетей, так как алгоритмы оптимизации позволяют точно рассчитать необходимые значения величин.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В системах электроснабжения электроподвижного состава нагрузка носит активно-индуктивный характер, что является причиной возникновения и увеличения реактивной мощности. В протяженных сетях передача реактивной мощности от генератора к потребителю является экономически невыгодной, она влечет большие потери в сети, генераторах, падение напряжения и снижение качества электроэнергии в целом [4].

Основным источником несимметрии токов является неодинаковые фазные нагрузки носящие случайный характер [3]. На рис. 1. изображена векторная диаграмма напряжений питания и первых гармоник тока в несимметричной трехпроводной системе. При этом первые гармоники токов отличаются амплитудами и имеют фазные сдвиги относительно соответствующих напряжений питания. Несимметрия токов в питающих системах электроснабжения может привести к таким негативным явлениям, как сверхтоки, что в свою очередь снижает экономические показатели работы электрооборудования и сокращает срок его эксплуатации [2].

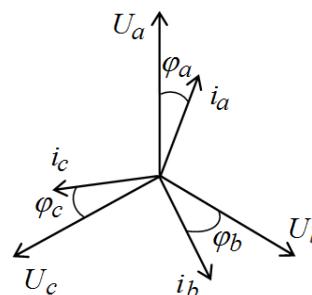


Рис. 1. Векторы напряжений и токов при несимметричной активно-индуктивной нагрузке

Существует ряд мероприятий для компенсации реактивной мощности и симметризации, а именно: применение разнообразных статических компенсаторов и тиристорных компенсаторов [1, 5, 6]. Однако схемы реализации этих устройств достаточно сложны и громоздки и экономически затратны.

Наиболее простым и распространенным способом компенсации реактивной мощности и симметрирования системы электроснабжения является использование компенсирующих конденсаторов, которые могут быть соединены по схеме звезда или треугольник [4, 5] (рис. 1). Недостатком этого способа является сложности точного расчета величин емкостей конденсаторов при изменяющейся активно-индуктивной нагрузке.

3. Цель и задачи исследования

Целью представленной статьи является исследование алгоритма оптимизации реактивной мощности несимметричной системы электроснабжения путем определения величин емкостей межфазных компенсирующих конденсаторов соединенных в треугольник (рис. 2) с использованием визуальной модели созданной в пакете прикладных программ MATLAB.

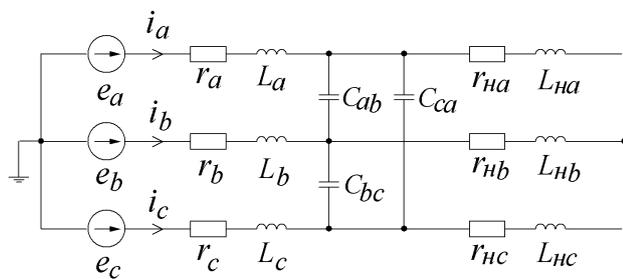


Рис. 2. Электрическая схема системы электропитания с активно-индуктивной нагрузкой и компенсирующими конденсаторами

4. Экспериментальные данные и их обработка

Для определения величин компенсирующих конденсаторов системы питания с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2) была составлена модель в пакете прикладных программ MATLAB (рис. 3).

На рис. 3 источники синусоидального напряжения e_A, e_B, e_C имели соответственно сдвиги фаз $0, 240$ и 120° , значения амплитуд были одинаковы и равнялись 100 В и частоты 50 Гц. Сопротивление линии носило активно-индуктивный характер где $R = 0.1$ Ом и $L = 0.001$ Гн. Несимметричная активно-индуктивная нагрузка в соответствующих фазах равнялась: $R_a = 0.7$ Ом, $L_a = 0.005$ Гн, $R_b = 1$ Ом, $L_b = 0.01$ Гн, $R_c = 2$ Ом, $L_c = 0.04$ Гн.

Вольтметры V_a, V_b, V_c измеряют напряжения в соответствующих фазах, амперметры I_a, I_b, I_c измеряют токи. Переменные значения напряжений и токов передаются на блоки измерения активной и реактивной мощностей Active & Reactive Power. Блоки RMS определяют дей-

ствующие значения реактивных мощностей в фазах, суммарное значение которых передается в качестве невязки в рабочее пространство Matlab.

Начальные заданные значения емкостей компенсирующих конденсаторов C_a, C_b, C_c составляли $0,0001$ Ф. Суммарная реактивная мощность при этом составляла 3162 вар. При этом амплитуды токов в питающей сети значительно отличались, а также наблюдались сдвиги фаз токов (рис. 4).

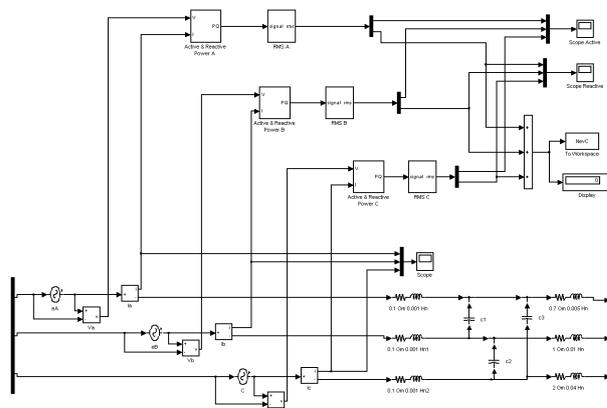


Рис. 3. Визуальная модель трехфазной трехпроводной системы электроснабжения с компенсирующими конденсаторами

Алгоритм работы автомата оптимизации суммарного значения реактивных мощностей фаз был реализован в пакете прикладных программ MATLAB с применением специальной файловой функции невязки и файл функции (листинг 1). В главной программе – m-файле были заданы начальные величины емкостей конденсаторов, вызывалась специальная функция `fminsearch`, которая реализовала оптимизацию, а также осуществлялись обращения к файл - функции.

```

mainProg.m
global Nst Cab Cbc Cac
Nst = 0
p = fminsearch(@fNev, [0.1 0.1 0.1])
Nst

fNev.m
function Nev = fNev(x)
global Nst Cab Cbc Cac
Cab = x(1)
Cbc = x(2)
Cac = x(3)
sim model

Nst = Nst + 1;
    
```

Листинг 1

При запуске m-файла осуществлялось обращение к функции оптимизации `fminsearch`. Функция `fminsearch` выполняла поиск локальных минимумов файловой функции путем итерационного подбора ее параметров с использованием симплекс-метода Нелдера-Мида. Она обращалась к файловой функции, в которую передава-

лись значения параметров функции оптимизации и запуск специальной командой `sim` модели несимметричной системы электроснабжения (рис. 3).

Суммарное значение реактивных мощностей в установленном режиме передавались блоком `To Workspace` в рабочее пространство MATLAB. Функция `fminsearch` проверяла переданную величину на условие сходимости, и при условии ее невыполнения значения емкостей изменялись в соответствии с алгоритмом оптимизации команды `fminsearch` и процесс вычисления суммы реактивных мощностей в установленном режиме выполнялся повторно. Варьирование параметров, запуск модели, и вычисление значений невязки выполнялись до тех пор, пока целевая функция не достигла своего локального минимума, то есть пока не выполнилось условие сходимости.

В результате проведения оптимизации было получены значения компенсирующих конденсаторов $C1 = 0.0005621$, $C2 = 0.0001823$, $C3 = 0.0000345$. Количество выполненных итераций при этом составила 231. Оптимальное значение суммарной реактивной мощности при этом равнялось 0.2017, также осуществилась симметризация токов (рис. 5).

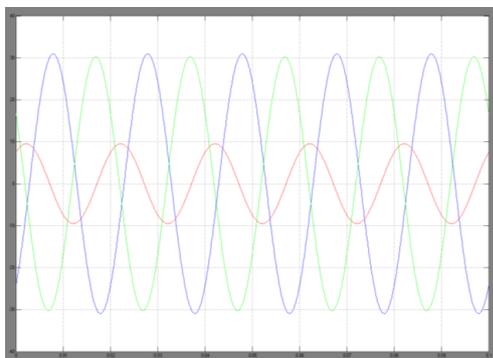


Рис. 4. Временные диаграммы фазных токов до выполнения оптимизации

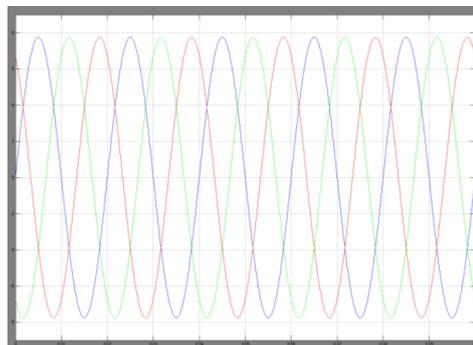


Рис. 5. Временные диаграммы фазных токов после выполнения оптимизации

Рассмотренный алгоритм оптимизации реактивной мощности может быть применен при разработке микропроцессорных систем управления автоматическими компенсаторами реактивной мощности, базирующимся на силовой полупроводниковой технике.

5. Выводы

1. Разработан эффективный способ компенсации реактивной мощности в несимметричной системе электроснабжения с использованием компенсирующих конденсаторов.
2. Разработана виртуальная модель, на которой апробирован отмеченный способ компенсации.
3. В результате исследования на виртуальной модели была достигнута полная симметризация фазных токов и компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения железнодорожного транспорта.

Литература

1. Глушков В. М., Грибин В. П. – Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. М.: Энергия, 1975. – 104 с.
2. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях. - М.: Энергия, 1977, -125 с.
3. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
4. Минин, Г. П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 1978. – 88 с.
5. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности. Под ред. Р. М. Матура: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.
6. Супрунович, Г. – Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок.: Пер. с польск. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.

Abstract

For improvement of electric energy quality in extended networks important tasks are reactive-power reduction and phase currents balance. The decision of this problem is connecting of compensating condensers the magnitudes of which are regulated by special microprocessor device. Such device allows to computer optimal values of condensers capacitance taking into account the changes of loadings in three-wire system phases.

Virtual model of the asymmetrical three-phase system of power supply with the active-inductive loading and compensating condensers united on a chart triangle was developed in MATLAB application. With the use of Nelder-Mid optimization algorithm were found such values of compensating condensers at which the total size of reactive-powers in phases was taken practically to zero, and feed currents in network became symmetric.

The considered algorithm of reactive-power optimization can be applied at development of microprocessor systems which automatically control reactive-power compensators, based on power semiconductor technique.

Keywords: optimization algorithm, balanced condensers, reactive power

У пакеті MATLAB була складена візуальна модель системи електропостачання електроподвижного складу з нерівномірним активно-індуктивним навантаженням в кожній з трьох фаз. Для симетрування струмів і компенсації реактивної потужності в систему електропостачання були підключені симетруючі міжфазні конденсатори. При визначенні оптимальних значень ємкостей конденсаторів, що мінімізують значення реактивної потужності, були побудовані поверхні відгуку

Ключові слова: поверхні відгуку, лінії рівного рівня, оптимізація, симетруючі конденсатори, реактивна потужність

В пакете MATLAB была составлена визуальная модель системы электроснабжения электроподвижного состава с неравномерной активно-индуктивной нагрузкой в каждой из трех фаз. Для симметрирования токов и компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения были подключены симметрирующие межфазные конденсаторы. При определении оптимальных значений емкостей конденсаторов, минимизирующих значение реактивных мощностей, были построены поверхности отклика

Ключевые слова: поверхности отклика, линии равного уровня, оптимизация, симметрирующие конденсаторы, реактивная мощность

УДК 621.327

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Е. В. Ягуп

Кандидат технических наук, доцент
кафедра "Автоматизированные системы
электрического транспорта"

Украинская государственная академия
железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 11, г. Харьков, Украина, 61001
Контактный тел.: (057) 730-10-76
E-mail: yag.kate@rambler.ru

1. Введение

Нагрузка систем электроснабжения электроподвижного состава носит активно-индуктивный характер, в результате чего возникает увеличение реактивной мощности, что приводит к таким негативным последствиям как потери в сети и генераторах, падение напряжения, снижение качества электроэнергии в сети в целом. Кроме того, из-за изменения нагрузок по фазам, которые носят случайный характер, в сети возникает несимметрия токов, что приводит к возникновению сверхтоков и увеличению потерь в сети. Симметрирование токов и уменьшение реактивной мощности в сети являются важными задачами в связи с повышающимися требованиями к качеству электрической энергии.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Одним из эффективных и экономичных в реализации способов симметрирования и компенсации реактивной мощности трехфазной системы электроснабжения является использование компенсирующих конденсаторов [1 – 3], которые можно подключить между фазами по схеме "треугольник" или "звезда" (рис. 1) [4, 5]. Однако при активно-индуктивной нагрузке электрической сети носящей случайный характер возникают сложности аналитического расчета точных значений емкостей конденсаторов, так как для расчета необходимо составлять и решать систему дифференциальных уравнений, в которой величины индуктивностей и сопротивлений в фазах изменяются. Использование алгоритма оптимизации реактивной мощности в микропроцессорных системах управле-