

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРНОГО СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Ягуп Е. В.

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта

Осуществляется симметрирование трехфазной сети с однофазной нагрузкой с использованием трансформаторного симметрирующего устройства. Поиск параметров симметрирующего устройства выполнен на компьютерной модели с помощью поисковой оптимизации.

Постановка проблемы. В сельскохозяйственных сетях электроснабжения преобладает неравномерное распределение нагрузок по фазам, в особенности нагрузка одной из фаз, что вызывает несимметрию токов сети. Это приводит к потерям мощности, возрастанию амплитудных значений токов в сети, перегреву проводов, что в свою очередь снижает качество электрической энергии в целом. Кроме того, образуемая вследствие несимметрии обратная и нулевая последовательность токов негативно влияет на работу потребителей электроэнергии таких сетей, в особенности асинхронных двигателей. Возрастающие требования к качеству электрической энергии и необходимость сокращения потерь в сетях электроснабжения делают проблему симметрирования токов в сети актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Существует несколько способов симметрирования токов. Симметрирующие устройства, состоящие из конденсаторных батарей, являются достаточно простым и практичными в использовании [1]. Интенсивное развитие в последнее десятилетие в этом направлении получило применение активных фильт-

ров [2, 3]. Однако такие устройства не рассчитаны на однофазную нагрузку трехфазной сети и сложны для применения в сельскохозяйственных системах электроснабжения. Для симметрирования токов в сетях с однофазной нагрузкой целесообразно применять специальное трансформаторное симметрирующее устройство, для преобразования однофазного тока в симметричную трехфазную систему токов на входе трансформатора [4].

Целью статьи является исследование процессов симметрирования токов в трехфазной электрической сети с однофазной нагрузкой с использованием трансформаторного симметрирующего устройства и оптимизационного алгоритма на компьютерной модели.

Основные материалы исследования. На рис. 1 представлена модель системы электроснабжения с несимметричной нагрузкой. Симметричные источники напряжений соединены в звезду. Их амплитуды заданы равными 100 В, а фазы сдвинутыми относительно друг друга на 120 электрических градусов.

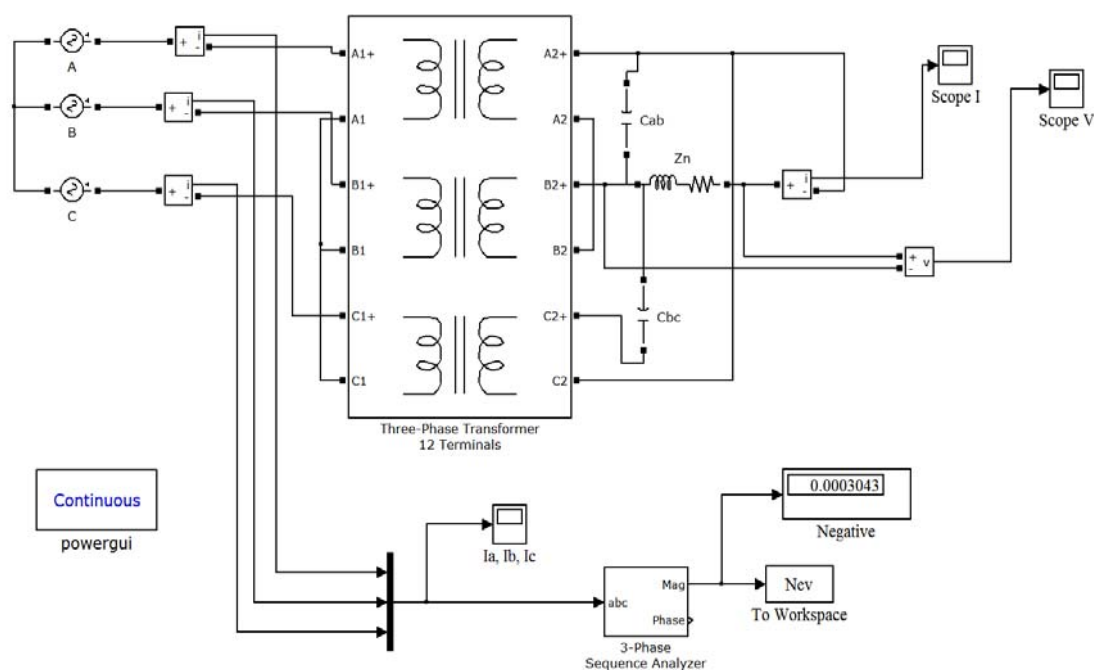


Рисунок 1 – Компьютерная модель системы электроснабжения с трансформаторным симметрирующим устройством

Оптимизация режима работы системы электропитания осуществляется с помощью трансформаторного симметрирующего устройства, состоящего из двух симметрирующих емкостных элементов и свободной вторичной обмотки питающего трансформатора. Эта схема рассмотрена в [4].

Первичные обмотки симметрирующего трансформатора соединены звездой, а вторичные по специальной схеме: обмотки фаз соединены последовательно, причем обмотки фаз а и в подключены встречно одноименными отрицательными зажимами, а обмотки в и с включены встречно положительными зажимами. Компенсирующие конденсаторы включены межфазно, C_{ab} – между фазами а и b, а C_{bc} – между фазами b и с. Параллельно конденсатору C_{ab} включена питаемая от сети нагрузка, которая носит активно-индуктивный характер и составляет величину $z_n = \sqrt{3}(8 + j6)$.

Для моделирования описанного выше трансформатора, в библиотеке SimPowerSystems был выбран элемент Three Phase Transformer 12 Terminals, представляющий собой трансформатор, в котором имеется возможность соединения клемм произвольным образом. Коэффициент трансформации такого трансформатора принят равным единице. Входные и выходные действующие значения линейных напряжений трансформатора заданы равными $100\sqrt{3}/\sqrt{2}$.

Мощность трансформатора рассчитана исходя из величины нагрузки $r_n = \sqrt{3(8^2 + 6^2)} = 10\sqrt{3}$ и тока, протекающего во вторичной обмотке

$$I_n = \sqrt{3} \frac{U}{r_n} = \sqrt{3} \frac{100}{10\sqrt{3}} = 10 \quad (1)$$

Мощность, потребляемая однофазной нагрузкой $S_n = I_n U = 10 * 122,5 = 1225$ ВА. Мощность, приходящаяся на три фазы $S_{n3} = 3S_n = 3 * 1225 = 3675$ ВА. Увеличив для запаса полученное значение, зададим мощность трансформатора равной 5000 ВА.

Будем считать трансформатор совершенный, то есть работающим без магнитных потоков рассеивания, потерь мощности в проводах обмоток трансформатора и в магнитопроводе, однако с учетом конечной величины индуктивности намагничивания. Следует заметить, что в [4] автор не разделяет понятия совершенный и идеальный трансформатор, а эти понятия не являются идентичными [5], так как в идеальном трансформаторе отсутствует учет влияния индуктивности намагничивания. Рассматриваемое трансформаторное устройство не будет работать, если трансформатор будет идеальным, т. е., если его индуктивность намагничивания будет бесконечно большой. Поэтому параметры ветви намагничивания трансформатора приняты равными $R_m = 2000$, $X_m = 20$. Время прогона модели составляет 0.04 сек, метод расчета ode23s (stiff/Mod. Rosenbrock).

Поисковая оптимизация осуществляется специальной встроенной в MATLAB файл-функцией fminsearch(). Параметрами функции являются имя файла, из которого осуществляется запуск модели и начальные значения параметров оптимизации – емко-

стей конденсаторов симметрирующего устройства. В качестве целевой функции принимается симметричная составляющая токов обратной последовательности, которая выделяется с помощью виртуального фильтра симметричных составляющих токов обратной последовательности 3-Phase Sequence Analyzer из библиотеки измерительных приборов SimPowerSystem. Полученное в модели значение целевой функции передается в рабочее пространство MATLAB с помощью блока To Workspace. В процессе оптимизации это значение минимизируется при поиске значений параметров оптимизации, в качестве которых принимаются емкости конденсаторов.

Результаты исследования. На рис. 2. изображены временные диаграммы сетевых токов до выполнения оптимизации. Минимальное амплитудное значение тока, протекающего в фазе С равно 0.554 А. В фазах а и в протекают токи с амплитудами равными 9.439 и 9.839 соответственно. Т. е. величины токов отличаются в 20 раз, что является нежелательным для нормальной работы сети. При этом составляющая токов обратной последовательности равна 5.335. Активная и реактивная мощности в фазах сети равны соответственно: $S_a = 453.5 + j121.6$, $S_b = 145.2 + j467.1$, $S_c = 0.1805 + j27.34$.

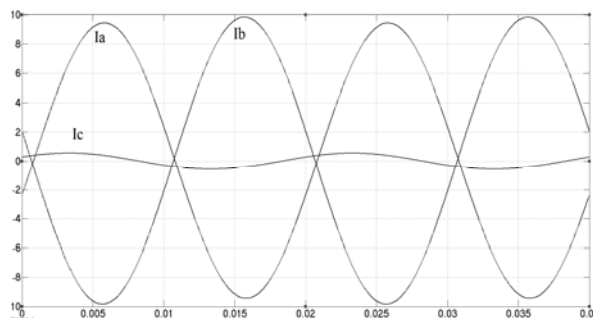


Рисунок 2 – Временные диаграммы сетевых токов до определения оптимального режима

Ток в свободной фазе С имеет относительно малую величину, что обусловлено лишь током холостого хода.

В результате оптимизации был получен симметричный режим (рис. 2) при следующих значениях параметров оптимизации $C_{ab} = 2.0263e-005$, $C_{bc} = 3.7500e-005$. При этом значение целевой функции было сведено к значению 0.001874.

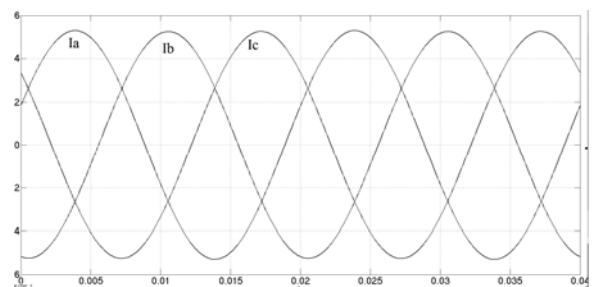


Рисунок 3 – Временные диаграммы сетевых токов в оптимальном режиме

Амплитудное значение токов стало равным 5,26 А. Однако токи опережают питающие напряжения, т. е. происходит перекомпенсация и не достигается полной компенсации реактивной мощности. Реактивные и активные мощности в фазах составляют следующие значения: $S_a=245.6-j88.87$, $S_b=244.3-j90.67$, $S_c=246.6-j90.86$.

Перекомпенсация реактивной мощности является причиной увеличения напряжения на зажимах нагрузки. Впрочем, это обстоятельство может быть полезно использовано для компенсации потерь напряжения в линии электропередачи.

На рис. 3 изображена зависимость величин емкостей конденсаторов от индуктивности намагничивания. В результате проведения серии компьютерных экспериментов было установлено, что при увеличении индуктивности намагничивания емкость конденсатора C_{ab} уменьшается до нуля. Граничное значение индуктивности намагничивания для выполнения оптимизации составляет 32.55.

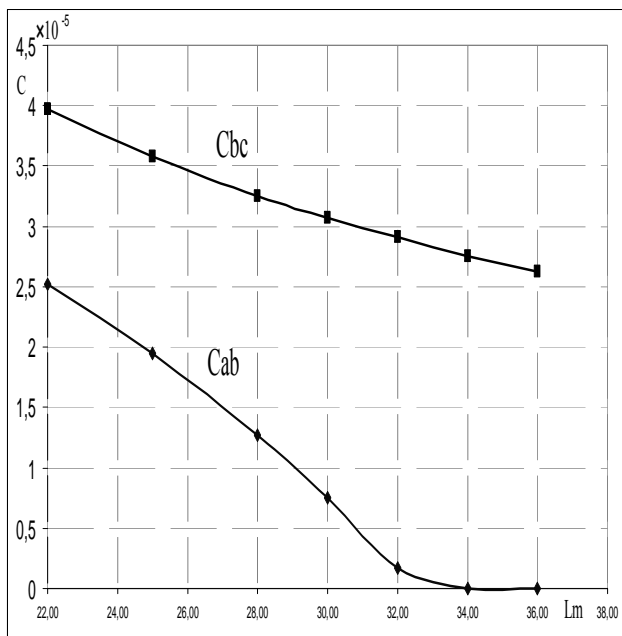


Рисунок 3 – Зависимость параметров оптимизации от индуктивности намагничивания

Выводы

1. Для симметрирования токов трехфазной сети с однофазной нагрузкой может применяться достаточно простой способ с использованием трансформаторного симметрирующего устройства.

2. Схема симметрирования работает в ограниченном диапазоне, зависящем от величины индуктивности намагничивания трансформатора.

3. Трансформаторное симметрирующее устройство не позволяет выполнить полную компенсацию реактивной мощности.

4. В результате симметрирования происходит перекомпенсация реактивной мощности, которая влечет за собой повышение выходного напряжения.

Список использованных источников.

1. Жежеленко И. В. Электромагнитная совместимость потребителей / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение. – 2012. – 350 с.

2. Литовкин Г. И. Средства улучшения качества электрической энергии на сельскохозяйственных предприятиях/ Г. И. Литовкин, А. И. Орлов, А. Н. Третьяков // Электротехника. 2005. - № 12. - С. 29-32.

3. Ягуп В. Г. Анализ режима системы электропитания с силовым активным фильтром по оптимизационным алгоритмам / В. Г. Ягуп, К. В. Ягуп - Электротехника і електромеханіка. – 2016 – Вип. 4(2). – С. 105 – 108.

4. Филиппов А. О. Снижение потерь электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ с помощью трансформаторного симметрирующего устройства. / А. О. Филиппов – Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Санкт-Петербург- Пушкин: ЛГТУ, 2010. – 19 с.

5. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники: Том 1. 4-е изд. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин – СПб.: Питер, 2006. – 463 с.

Анотація

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ТРИФАЗНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСФОРМАТОРНОГО СИМЕТРУЮЧОГО ПРИБОРУ

Ягуп К. В.

Здійснюється симетрування трифазної мережі з однофазним навантаженням з використанням трансформаторного симетруючого пристрою. Пошук параметрів симетруючого пристрою виконаний на комп'ютерній моделі за допомогою пошукової оптимізації.

Abstract

OPTIMIZATION OF THREE-PHASE POWER SUPPLY SYSTEMS MODE USING TRANSFORMER BALANCED DEVICE

K. Yagup

Balancing three-phase network with single-phase load using a transformer balanced device is implemented. Search of balun transformer parameters is realized on a computer model with the help of search optimization.