

сопротивления фазы, проводимость возрастает, что может привести к короткому замыканию.

При силовой несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода приводит к увеличению напряжения на фазе A нагрузки в 2 раза, на фазе B в 1,5 раза. Активная мощность потребителя возрастает на 9,5 %, что объясняется перераспределением напряжения на зажимах фаз электроустановки.

При обрыве одной из фаз трехпроводной сети, напряжение на двух оставшихся распределяется таким образом: на одной фазе резко увеличивается, а на другой значительно уменьшается (в зависимости от значения сопротивлений фаз).

Короткое замыкание любой фазы выводит две оставшиеся на линейные напряжения, то есть увеличивает в $\sqrt{3}$ раз.

В номограмме хорошо видны крайние режимы трехфазной цепи.

Например, при коротком замыкании фазы A потенциал точки O становится равным потенциалу точки A , то есть линейный провод A непосредственно соединяется с нейтральной точкой приемника энергии. Поэтому напряжение на первой фазе приемника уменьшается до нуля, а на второй и третьей – увеличивается до линейных напряжений. Таким образом, напряжение фаз B и C соответственно равны U_{AB} и U_{CA} .

При обрыве фазы A потенциал точки O смещается в точку D , а так как нагрузка является несимметричной, точка D располагается за линией BC и смещена в сторону потенциала точки C .

При обрыве одной из фаз трехпроводной системы на двух оставшихся фазах нагрузка оказывается соединенной последовательно. В результате чего, нагрузки фаз попадают под воздействие линейных напряжений. Следовательно напряжение на фазах B и C равны соответственно U_{BD} и U_{DC} .

При достаточно большом увеличении сопротивления фазы, режим системы стремится к обрыву соответствующей фазы и создается опасность возникновения аварийной ситуации. Критическая область лежит вблизи точек номограммы, соответствующих коротким замыканиям фаз.

Аналогичные рассуждения применимы к фазе B и C .

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА БУХБЕРГЕРА

Рукавицин И.А.

Научный руководитель – УСТИМОВИЧ В.А.

В сложившейся практике расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) уравнения, описывающие режим, составляются по методу узловых потенциалов в форме баланса мощностей [1]:

$$\text{diag}[\mathbf{U}][\hat{\mathbf{Y}}][\hat{\mathbf{U}}] = [\mathbf{S}], \quad (1)$$

где $\text{diag}[\mathbf{U}]$ – диагональная матрица напряжений в узлах;

$[\hat{\mathbf{Y}}]$ – сопряженная матрица узловых проводимостей;

$[\hat{\mathbf{U}}]$ – вектор-столбец сопряженных напряжений в узлах;

$[\mathbf{S}]$ – вектор-столбец узловых мощностей.

Нагрузки потребителей задаются постоянными мощностями или статическими характеристиками нагрузки (СХН).

Традиционно эта нелинейная система уравнений решается итерационными методами. Одними из наиболее распространённых являются методы Ньютона. Метод Ньютона, использующий в расчёте производные первого порядка, получил название метода Ньютона-Рафсона. Метод Ньютона, использующий в расчёте производные второго порядка обладает лучшей сходимостью по сравнению с методом Ньютона-Рафсона. Известно, что нелинейная система алгебраических уравнений имеет множество решений. Однако существующие методы не позволяют находить все возможные решения системы. Эти решения можно разделить на физически реализуемые и нереализуемые режимы ЭЭС. Физически реализуемые режимы отличаются потерями мощности в электрической сети. Если знать множество всех реализуемых режимов, то можно выбрать режим с минимальными потерями. Это особенно важно при прохождении максимумов энергосистемы. Таким образом, нахождение всех решений системы (1) позволяет ставить новые задачи в области оптимизации и управления режимами ЭЭС.

Все решения системы (1) можно найти, если преобразовать систему к особому виду Gr , такому что одно уравнение будет зависеть от одной переменной, а все остальные переменные будут выражаться через неё из других уравнений. Один из способов приведения системы к виду Gr был разработан математиком Бухбергером.

Для дальнейшего изложения введём основные математические понятия.

Мономом называется произведение любого числа переменных в натуральных степенях. Полиномом называется линейная комбинация мономов. Идеалом называется линейная комбинация полиномов с полиномиальными коэффициентами. Совокупность полиномов, порождающая идеал, называется его базисом. Для одного и того же идеала существует множество базисов. Среди множества различных базисов можно выделить особенно удобный базис, называемый базисом Грёбнера [2].

Мономы в полиноме можно упорядочить, введя бинарную операцию «больше» над множеством мономов, называемую мономиальным упорядочением. Из всего множества упорядочений наибольшее распространение получили лексикографическое (*lex*-упорядочение), градуированное лексикографическое и градуированное обратное лексикографическое упорядочения. Именно при *lex*-упорядочении базис Грёбнера принимает вид Gr .

Таким образом, система (1) состоит из полиномов. Они являются базисом некоторого идеала. Для приведения системы (1) к виду Gr к данному базису необходимо применить алгоритм Бухбергера с использованием *lex*-упорядочения.

Однако возможности современных ЭВМ не позволяют применять алгоритм Бухбергера, так как при увеличении числа переменных значительно возрастает время работы алгоритма. Целью нашего исследования является построение алгоритма, способного находить все возможные режимы работы ЭЭС с большим числом узлов за приемлемое время.

Решение поставленной задачи разобьём на этапы:

- 1) решение поставленной задачи для безынерционных цепей;
- 2) обобщение решения для инерционных цепей.

Для решения первого этапа исследовался ряд схем с различным числом узлов (ветвей). Для каждой схемы анализировалась работа алгоритма Бухбергера. Затем выяснились общие закономерности работы алгоритма в зависимости от числа узлов.

Решение задачи для схемы с двумя узлами для цепей с нелинейными элементами известно [3]. На рисунке 1а показана схема цепи, а на рисунке 1б графическое решение. Нелинейный элемент в данном случае задан постоянной мощностью, поэтому ВАХ нагрузки представляет собой гиперболу.

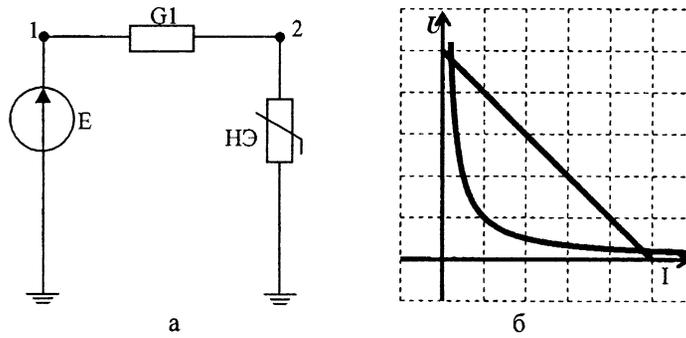


Рисунок 1

Нами была исследована и проанализирована работа алгоритма Бухбергера для схем с тремя и четырьмя узлами (рисунок 2). Было замечено, что при приведении системы уравнений (1) к виду Gr , степень уравнения от одной переменной можно выразить как 2^{n-1} , где n – число узлов схемы.

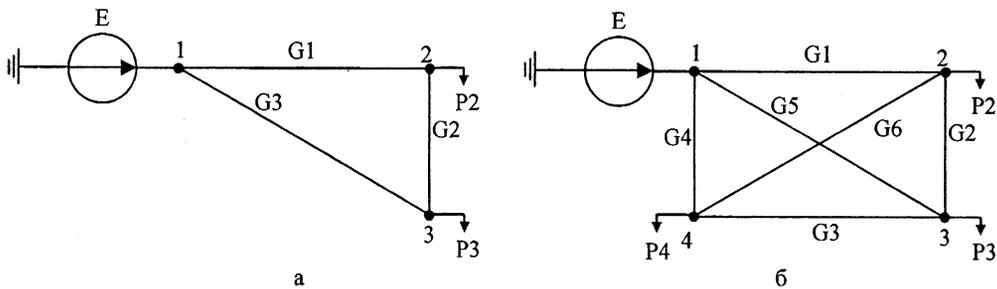


Рисунок 2

Для случая четырёхузловой разомкнутой цепи (рисунок 3а) уравнение от одной переменной имеет только два действительных решения. Для схемы рисунок 3б – только четыре действительных решения.

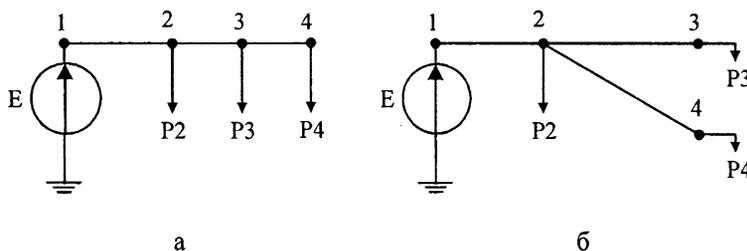


Рисунок 3

Из проведённых исследований стало ясно, что такую сложную задачу не решить без более детального исследования работы алгоритма Бухбергера. Это включает в себя не только анализ конечных результатов работы алгоритма Бухбергера, но и анализ промежуточных результатов.

Литература

1. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Кокс, Д., Литтл, Дж., О'Ши, Д. Идеалы, многообразия и алгоритмы. – М.: Мир, 2000. – 687 с.
3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.