

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНОГО ИСТОЧНИКА (ГЕНЕРАТОРА) ПРИ РАСЧЕТЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Запропоновано векторно-топологічний метод розрахунку симетричних та несиметричних трифазних електричних кіл. Показані переваги даного методу порівняно з іншими, такими як векторний та аналітичний. Методика розрахунку викладена в даній статті ілюструється на прикладі розрахунку трифазного електричного кола.

Предложенный векторно-топологический метод расчета симметричных и несимметричных трехфазных электрических цепей. Показаны преимущества данного метода по сравнению с другими, такими как векторный, и аналитический. Методика расчета, изложенная в статье, иллюстрируется на примере расчета трехфазной электрической цепи.

Постановка проблемы. При расчете цепей переменного тока используется два способа комплексного расчета: аналитический и векторный (векторно-топологический). Для трехфазной цепи, где источники питания и нагрузки выделяются в отдельные подсистемы, большую эффективность дает применение векторно-топологического подхода, обеспечивающего простоту и наглядность расчета.

В данной статье раскрывается суть метода. На конкретном примере иллюстрируется его практическое применение.

Анализ литературы показывает, что в основе расчетов цепей трехфазного тока лежит аналитический метод, в [2, 3] рассматривается векторный метод. Метод эквивалентного генератора рассматривается при расчете сложных цепей постоянного тока [1, 2]. Так, например в [4] приведена методика замещения двухполюсником части схемы, и описано применение теоремы Тэвэнна к расчету цепей переменного тока. В анализированной литературе не встречается использование векторно-топологического метода расчета трехфазных цепей.

Цель статьи – предложить применение векторно-топологического метода для расчета трехфазных электрических цепей синусоидального переменного тока с симметричной и несимметричной нагрузкой.

Сформулируем постановку задачи: Дана трехфазная цепь, содержащая систему источников питания и нагрузку. Трехфазные источники питания описываются с помощью фазных потенциалов $\{\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C\}$. Требуется определить потенциал φ_b некоторой точки в нагрузке. Например, в точке O' в месте соединения сопротивлений нагрузки, по схеме звезда, и далее, используя φ_b как промежуточный результат, упростить решение задачи (рис. 1).

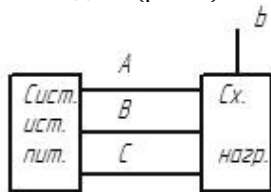


Рис. 1. Схематическое представление схемы

Методика расчета строится на основе применения теоремы эквивалентного замещения активного двухполюсника (метода эквивалентного генератора) в векторно-топологической форме.

Последовательность применения методики следующая:

1. В схеме нагрузок выбираем элемент (двухпо-

люсник) Z , который с одной стороны подключен к точке P с известным потенциалом ($P = \{A, B, C\}$), а с другой стороны к точке b .

Требование к выбору элемента Z и точки b :

1. Возможность использования φ_b при решении поставленной задачи.
2. При отключении Z в точках b и P возможность несложного расчета φ_{bA} .

Рассчитываем φ_{bA} и отображаем его на топографической диаграмме. На рис. 2 принято $P = A$.

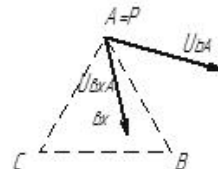


Рис. 2. Представление потенциала φ_{bA} на векторно-топографической диаграмме (ВТД)

2. Замещаем активный двухполюсник относительно полюсов b и A эквивалентной схемой с источником напряжения (или с источником тока). На рис. 3 показана схема замещения с источником напряжения.

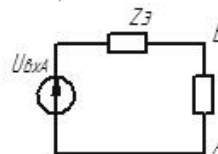


Рис. 3. Замещение активного двухполюсника эквивалентной схемой

Определяем параметры схемы замещения

1. Эквивалентное сопротивление Z_3 находим при зануленных источниках питания относительно точек P и bx .

2. Напряжение эквивалентного ЭДС U_{bxA} находим в режиме холостого хода (при отключенном сопротивлении Z) между точками P и bx .

Ток эквивалентного ЭДС I_{bxA} находим в режиме короткого замыкания (при закороченном сопротивлении Z) через точки P и bx . Вектор U_{bxA} (или I_{bxA}) отображаем на ВТД (рис. 2)

3. В схеме замещения рассчитываем вектор U_{bA} и отображаем его на ВТД.

$$U_{bA} = U_{bxA} \cdot \frac{Z}{Z + Z_3} \quad (1)$$

Или

$$U_{bA} = I_{bxA} \cdot \frac{Z \cdot Z_3}{Z + Z_3} \varphi_b = \varphi_A + \varphi_{bA} \quad (2)$$

На ВТД выполняем операцию

$$\Phi_B = \Phi_A + \Phi_{BA}. \quad (3)$$

В результате находим потенциал Φ_B .

Пример расчета. В трехфазной электрической цепи с симметричными источниками и прямой последовательностью фазных напряжений определить показания вольтметра U_V (рис. 4). Исходные данные:

$$U_\Phi = 120 \text{ В}, R = 30 \text{ Ом}, X_C = 90\sqrt{3} \text{ Ом}.$$

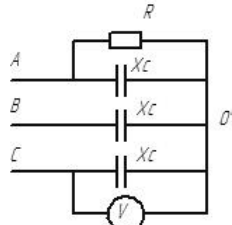


Рис. 4.

Решение.

1. В точках A и O' отключаем элемент R . В результате несимметричная нагрузка становится симметричной с потенциалом $\Phi_{O'X}$ точки O' в центре треугольника ABC потенциалов источников напряжения (рис. 5).

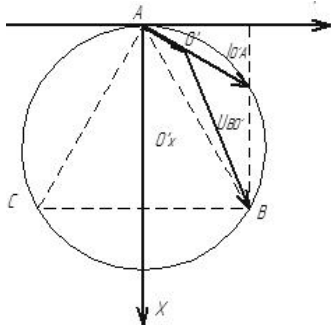


Рис. 5. ВТД для расчета задачи

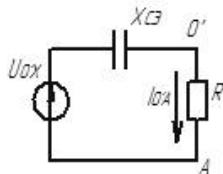


Рис. 6. Схема замещения

2. Относительно полюсов A и O' (при отключении сопротивления R) строим схему замещения (с источником ЭДС) и определяем ее параметры (рис. 6).

а) напряжение ЭДС $U_{O'X}$ на ВТД (рис. 5) отображаем в виде вектора между точками A и O' . Его величина (модуль) равна $U_{O'X} = U_\Phi = 120 \text{ В}$.

б) эквивалентное сопротивление относительно полюсов A и O' (при обнуленных источниках питания) находим по формуле

$$X_{C\Sigma} = \frac{X_C}{3} = \frac{90\sqrt{3}}{3} = 30\sqrt{3} \text{ Ом}.$$

3. В схеме замещения находим модуль тока

$$I_{O'A} = \frac{U_{O'XA}}{\sqrt{R^2 + X_{C\Sigma}^2}} = \frac{120}{\sqrt{30^2 + (30\sqrt{3})^2}} = 2 \text{ А}.$$

Угол между вектором тока $I_{O'X}$

$$\alpha = \arctg \frac{X_{C\Sigma}}{R} = \arctg \frac{30\sqrt{3}}{30} = 60^\circ.$$

Модуль падения напряжения на R

$$U_{O'A} = R \cdot I_{O'A} = 30 \cdot 2 = 60 \text{ В}.$$

4. На ВТД откладываем вектор $U_{O'A}$ и выполняем операцию суммирования

$$\Phi_{O'} = \Phi_A + U_{O'A}.$$

В результате находим потенциал $\Phi_{O'}$, отображаем точкой O' с координатами

$$X_{O'} = 30 \text{ В}, Y_{O'} = 30\sqrt{3} \text{ В}.$$

В системе координат xy .

Для определения показания вольтметра вычисляем координаты точки B , отображаем потенциал Φ_B

$$X_B = 180 \text{ В}, Y_B = 60\sqrt{3} \text{ В}.$$

Так как вектор напряжения

$$U_{BO} = \Phi_B - \Phi_{O'},$$

то его модуль

$$U_{BO} = U_V = \sqrt{(X_B - X_{O'})^2 + (Y_B - Y_{O'})^2} = \sqrt{(180 - 30)^2 + (60\sqrt{3} - 30\sqrt{3})^2} = 60\sqrt{7} = 158.7 \text{ В}.$$

Выводы. Рассмотренная в статье методика расчета трехфазных электрических цепей позволяет снизить сложность расчета трехфазных цепей переменного тока и уменьшить порядок математических действий в данных расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т. – Л.: Энергоиздат, 1981.
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. – М.: Энергия, 1969.
3. Монсуров Н.Н., Попов В.С. Теоретическая электротехника. – М.: Энергия, 1958.
4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: Учеб. пособие для энерг. и приборостр. Спец. Вузov. –3-е изд., перераб. / Бессонов Л.А., Демидова И.Г., Заруди М.Е. и др.: под. ред. Бессонова Л.А. – М.: Высш. шк., 1988.

Bibliography (transliterated): 1. Nejman L.R., Demirchan K.S. Teoreticheskie osnovy `elektrotehniki. V 2-h t. - L.: `Energoizdat, 1981. 2. Atabekov G.I. Osnovy teorii cepej. - M.: `Energiya, 1969. 3. Monsurov N.N., Popov V.S. Teoreticheskaya `elektrotehnika. - M.: `Energiya, 1958. 4. Sbornik zadach po teoreticheskim osnovam `elektrotehniki: Ucheb. posobie dlya `energ. i priborostr. Spec. Vuzov. -3-e izd., pererab. / Bessonov L.A., Demidova I.G., Zarudi M.E. i dr.: pod. red. Bessonova L.A. - M.: Vyssh. shk., 1988.

Поступила 22.11.2011

Борисенко Анатолий Николаевич, д.т.н., проф.

Трофименко Евгений Сергеевич, к.т.н., доц.

Кругол Николай Михайлович

Национальный технический университет

"Харьковский политехнический институт"

кафедра теоретических основ электротехники

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

тел. (057) 7076961, 3153637

Borisenko A.N., Trofimenko E.S., Krugol N.M.

Application of a vector-topological equivalent source (generator) method to three-phase circuit calculation.

A vector-topological calculation method for balanced and unbalanced three-phase circuits is introduced. Advantages of the method presented as compared with vector and analytical methods are shown. The calculation procedure described in the article is exemplified with calculation of a three-phase circuit.

Key words – vector-topological method, balanced and unbalanced three-phase circuits, calculation.