

УДК 621.3(076.5)

В.И. Богданович

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Для аналізу електричних ланцюгів трифазного струму представлений алгоритм, що дозволяє спростити процес аналізу і застосувати комп'ютерне моделювання з використанням інтегрованого середовища розробки програмного забезпечення Borland Delphi 7.0.

Ключові слова: *трифазні електричні ланцюги, Закон Ома, правила Кірхгофа, фазні напруги, лінійні напруги, фазні струми, лінійні струми, комп'ютерне моделювання, програмне забезпечення Borland Delphi 7.0.*

Постановка проблемы. В процессе обучения студент должен за ограниченное время изучить и закрепить большое количество информации по каждому предмету. В процессе подготовки специалистов высокой квалификации требуется постоянно совершенствовать учебный процесс, использовать для обучения и контроля знаний студентов обучающие и контролирующие программы, создавая условия при которых студент вынужден работать систематически над изучением материала. Применение методов программированного обучения поможет рационализировать учебный процесс, повысить его эффективность, что позволит студенту за то же время изучить большее количество материала, а преподавателю охватить на каждом занятии большее число обучающихся студентов.

Основное содержание статьи. Основными задачами дисциплины «Теория электрических цепей» являются генерирование, передача и преобразование электрической энергии в другие энергии. Полученные теоретические знания студент должен уметь применять при решении практических задач. Трехфазные цепи являются частным случаем многофазных цепей [1]. Решение задач данного раздела курса, требует не только знания основных законов, но и понимания сути явлений, происходящих в трехфазных цепях, а их численное решение требует значительных временных затрат. Студентам предлагаются следующие методики решения задач [2].

Допустим, что нагрузка в трехфазной цепи соединена звездой и известно, что фазное напряжение источника $U = 100 \text{ В}$, сопротивления резисторов $R_a = 10 \text{ Ом}; R_b = 8 \text{ Ом}; R_c = 2 \text{ Ом}; X_a = 4 \text{ Ом}; X_b = 2 \text{ Ом}; X_c = 10 \text{ Ом}$ (рисунок 1).

Предлагается использование следующей методики решения. Выберем направление линейных токов, зная, что они протекают от источника к нагрузке. Так нагрузка соединена звездой, то для нее справедливо равенство $I_L = I_\Phi$. Тогда по определению трехфазной системы напряжения в каждой фазе источника определим так

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= U_A = 100; \\ \dot{U}_B &= U_A e^{-j120^\circ} = 100e^{-j120^\circ} = (50 - j86,6) \text{ В}; \\ \dot{U}_C &= U_A e^{j120^\circ} = 100e^{j120^\circ} = (-50 + j86,6) \text{ В}. \end{aligned}$$

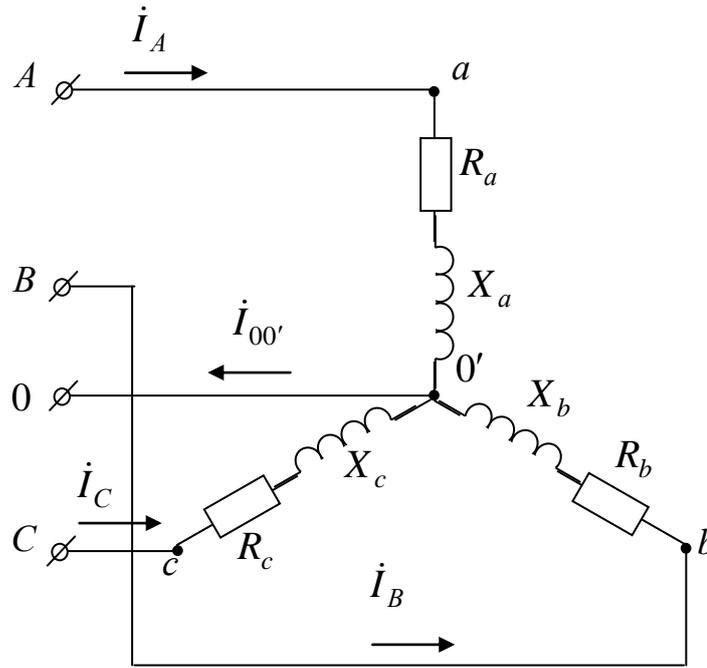


Рис. 1. Расчетная электрическая цепь

Сопrotивления в каждой фазе нагрузки вычисляются так

$$\underline{Z}_a = R_a + jX_a = 10 + j4 = 10,8e^{j22^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = R_b + jX_b = 8 + j2 = 8,2e^{j14^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 2 + j10 = 10,2e^{j79^\circ} \text{ Ом}.$$

Определим проводимости в фазах нагрузки

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a} = \frac{1}{10 + j4} = 0,093e^{-j22^\circ} \text{ Ом}^{-1};$$

$$\underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b} = \frac{1}{8 + j2} = 0,12e^{-j14^\circ} \text{ Ом}^{-1};$$

$$\underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c} = \frac{1}{2 + j10} = 0,098e^{-j79^\circ} \text{ Ом}^{-1}.$$

Напряжение между нейтральными точками 0 и 0' вычисляться по методу двух узлов

$$\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{00'}} = (6,7 - j3,8) = 7,7e^{-j30^\circ} \text{ В}.$$

Напряжения на фазах нагрузки вычисляться через напряжения на фазах приемника и напряжение нулевого провода

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{00'} = (93,3 + j3,8) = 93,4e^{j2^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{00'} = (-56,7 - j82,8) = 100,4e^{j56^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{00'} = (-56,7 + j90,4) = 106,7e^{-j58^\circ} \text{ В}.$$

Зная напряжения на фазах нагрузки, определяются токи, учитывая, что для нагрузки соединенной звездой, справедливо равенство $I_{\Delta} = I_{\Phi}$.

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = (\dot{U}_A - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_a = (8,2 - j2,9) = 8,7e^{-j20^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = (\dot{U}_B - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_b = (-9,1 - j8,1) = 12,2e^{j42^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = (\dot{U}_C - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_c = (7,6 + j7,2) = 10,5e^{-j137^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_{00'} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (6,7 - j3,8) = 7,7e^{-j30^\circ} \text{ A}.$$

Комплекс полной мощности трехфазной цепи определится

$$\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^* = (2156 + j1691) \text{ B} \cdot \text{A}.$$

Из полученных результатов для комплекса полной мощности цепи, можно определить значения активной мощности $P = 2156 \text{ Вт}$ и значения реактивной мощности $Q = 1691 \text{ Вар}$ трехфазной цепи.

Рассмотрим трехфазную цепь, в которой нагрузка соединена треугольником с линейным напряжением источника $U = 127 \text{ В}$, сопротивлениями резисторов $R_a = 4 \text{ Ом}; R_b = 12 \text{ Ом}; R_c = 6 \text{ Ом}; X_a = 8 \text{ Ом}; X_b = 2 \text{ Ом}; X_c = 4 \text{ Ом}$ (рисунок 2).

Выберем направление линейных и фазных токов. Для нагрузки соединенной треугольником напряжения $U_{\Delta} = U_{\Phi}$. По определению трехфазной системы напряжения в каждой фазе источника определяем так

$$\dot{U}_{AB} = U = 127 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = U e^{-j120^\circ} = 127 e^{-j120^\circ} = (-63,5 - j110) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = U e^{j120^\circ} = 127 e^{j120^\circ} = (-63,5 + j110) \text{ В}.$$

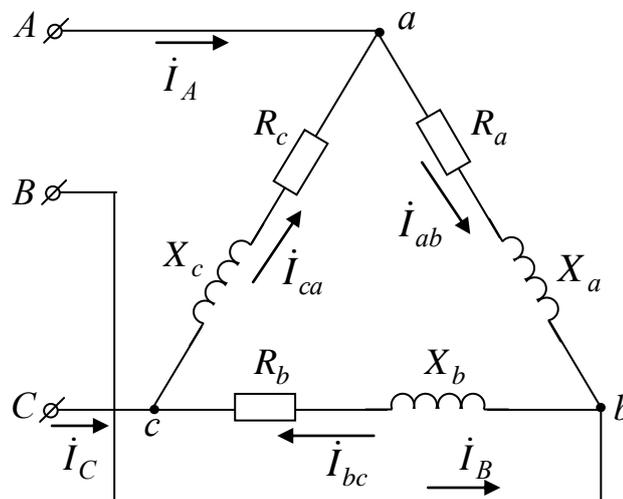


Рис.2. Расчетная электрическая цепь

Вычисляем сопротивления в каждой фазе нагрузки

$$\underline{Z}_a = R_a + jX_a = 4 + j8 = 8,9e^{j63^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = R_b + jX_b = 12 + j2 = 12,2e^{j10^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 6 + j4 = 7,2e^{j34^\circ} \text{ Ом}.$$

Зная сопротивление фаз приемника, вычислим фазные токи по закону Ома учитывая, что $U_{AB} = U_{aB}; U_{BC} = U_{bC}; U_{CA} = U_{cA}$:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} = 6,4 - j12,7 = 14,2e^{j63^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} = -6,6 - j8,1 = 10,5e^{-j129^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}} = 1,1 + j18 = 18e^{j87^\circ} \text{ А}.$$

Применяя первое правило Кирхгофа к узловым точкам $a; b; c$, вычисляем линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = 5,3 + j30,7 = 32,2e^{-j80^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = -13 + j4,6 = 13,8e^{j161^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = 17,7 + j26,1 = 31,5e^{j56^\circ} \text{ А}.$$

Вычислим комплекс полной мощности трехфазной цепи

$$\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^* = (3303 + j8050) \text{ В} \cdot \text{А},$$

тогда активная мощность трехфазной цепи $P = 3303 \text{ Вт}$,

А реактивная мощность трехфазной цепи $Q = 8050 \text{ Вар}$.

Для разработки компьютерной программы был выбран язык программирования Borland Delphi 7.0.

Для расчета трехфазных цепей необходимо зайдите в пункт меню «Трехфазные цепи» в главном окне программы и нажать на кнопку «Считать».

Откроется окно выбора схемы (рисунок 3).

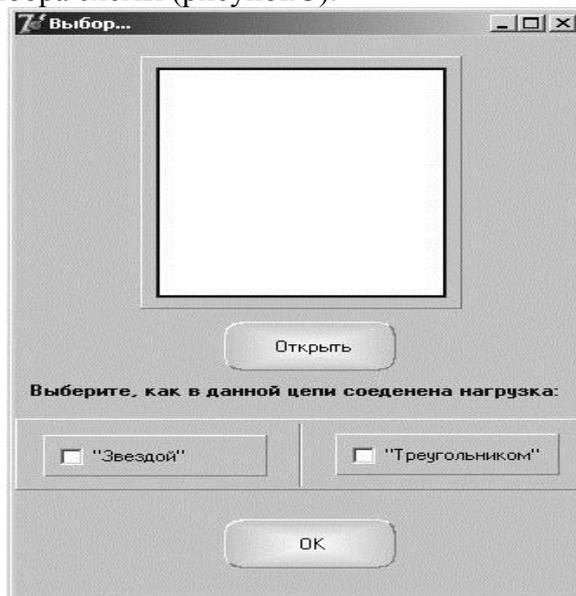


Рис.3. Окно выбора схемы расчета

Необходимо нажать на кнопку «Открыть» и выбрать необходимую схему, после чего нажать на «Открыть» и загрузить схему. Исходя из самой схемы, самостоятельно сделать вывод о типе соединения нагрузки в выбранной вами схеме и выбрав тип соединения нажать на кнопку «ОК».

Если выбран тип соединения «звездой», то откроется окно расчета трехфазной цепи при соединении нагрузок «звездой» (рисунок 4).

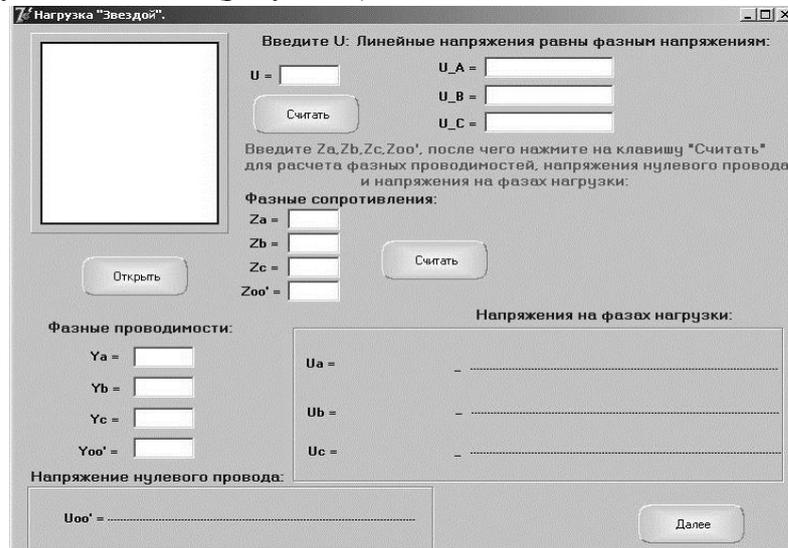


Рис. 4. Окно расчета трехфазной цепи при соединении нагрузки «звездой»

Путем ввода численного значения напряжения U и нажатия на кнопку «Считать» производится расчет фазных напряжений U_A, U_B, U_C . Затем, необходимо ввести численные значения фазных сопротивлений Z_a, Z_b, Z_c , сопротивление нулевого провода $Z_{00'}$. Нажатие кнопки «Считать», означает, что программа произведет расчет фазных проводимостей $Y_a, Y_b, Y_c, Y_{00'}$ напряжений на фазах нагрузки U_a, U_b, U_c .

Нажатием на кнопку «Далее» откроется окно с результатами расчета токов I_a, I_b, I_c (рисунок 5). Нажмите на «Показать отчет» и программа сформирует конечный отчет, содержащий все рассчитанные формулы.

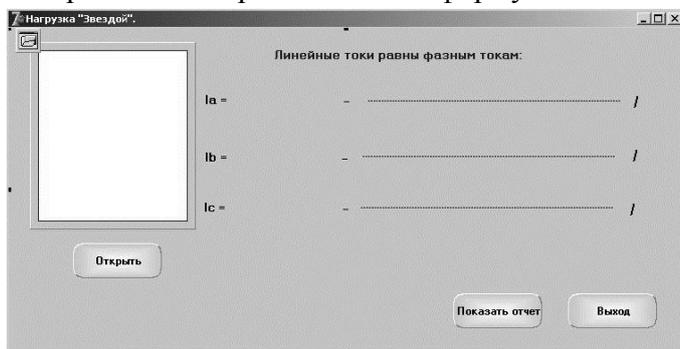


Рис. 5. Вывод рассчитанных токов

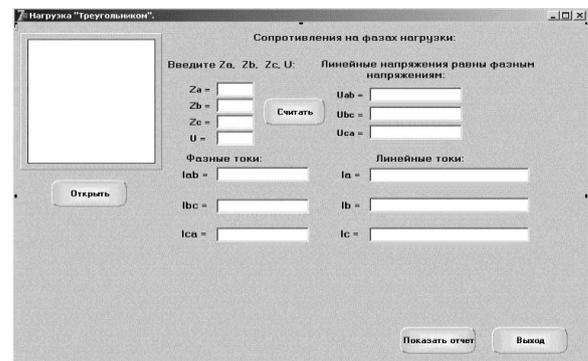


Рис. 6. Окно расчета трехфазной цепи при соединении нагрузки «треугольником»

Если выбрать тип соединения «Треугольником», то откроется окно расчета трехфазной цепи при соединении нагрузок «Треугольником» (рисунок 6).

Введение численных значений Z_a, Z_b, Z_c и U и нажатие на кнопку «Считать», программа произведет расчет напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , фазных токов I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} и линейных токов I_A, I_B, I_C .

Затем нажатие на кнопку «Сформировать отчет» все рассчитанные формулы занесутся в конечный отчет.

Вывод. Суть программированного обучения состоит в разделении учебного материала по изучаемому предмету на большое число малых порций – кадров, содержащих каждый одну логическую единицу. Освоение учащимся каждого кадра немедленно проверяется по его ответу на вопрос и в положительном случае учащийся переходит к изучению следующего кадра. Таким образом, проверка результата работы учащегося происходит немедленно. При этом происходит индивидуализация обучения, а проработка каждого кадра и ответа по нему способствует лучшему запоминанию материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 2006. – 701с.
2. Богданович, В. И. Теория электрических цепей. Контрольные работы. Проверочные тесты: учебное пособие для студентов вузов по специальности «Электронные системы безопасности» /В.И. Богданович; В.Н. Мышковец; А.Л. Самофалов; В.В.Свиридова; М-во образования РБ, Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 103с.

V.I. Bogdanovich

Establishment of education "Gomel state university of Francis corina"

APPLICATION OF PROGRAMMABLE TRAINING METHODS IN THE ANALYSIS OF THREE-PHASE ELECTRIC CIRCUITS

For the analysis of electrical circuits of a three-phase current the algorithm allowing to simplify process of the analysis and to apply computer simulation with use of an integrated development environment of the software of Borland Delphi 7.0 is provided.

Keywords: *three-phase electrical circuits, Law of Ohm, Kirchhoff's rule, phase tension, the linear stresses, phase currents, the line currents, computer simulation, software of Borland Delphi 7.0.*

В.И. Богданович

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРУЕМОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Для анализа электрических цепей трехфазного тока представлен алгоритм, позволяющий упростить процесс анализа и применить компьютерное моделирование с использованием интегрированной среды разработки программного обеспечения Borland Delphi 7.0.

Ключевые слова: *трехфазные электрические цепи, Закон Ома, правила Кирхгофа, фазные напряжения, линейные напряжения, фазные токи, линейные токи, компьютерное моделирование, программное обеспечение Borland Delphi 7.0.*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Богданович Валентина Йосипівна – старший викладач кафедри радіофізики і електроніки УО «Гомельського державного університету імені Ф. Скорины».

Коло наукових інтересів: застосування інформаційних технологій в освіті.