

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»

Кафедра электротехники и электрических машин

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Методические указания к практическим занятиям для студентов всех  
форм обучения направления 13.04.02 – Электроэнергетика и  
электротехника

Краснодар  
2015

УДК 658.512  
ББК 30.2-5-05  
К32

Составители: канд. техн. наук, доц. А.М. Квон;  
канд. техн. наук, доц. И.Н. Автайкин

**Системы автоматизированного проектирования электрооборудования.** Методические указания к практическим занятиям для студентов всех форм обучения направления 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника / Сост.: А.М. Квон, И.Н. Автайкин; Кубан. гос. технол. ун-т., Каф. электротехники и электрических машин. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2015.- 31с.

В методических указаниях предложены шесть практических занятий по анализу и оптимизации линейных электрических цепей постоянного и переменного токов в установившихся и переходных режимах, для выполнения которых требуется применить современные программные средства САПР. Приведены примеры с листингами и предложены варианты заданий для самостоятельного решения.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 15 назв.

## Содержание

Введение.....	4
Практическое занятие №1. Применение средств САПР при расчете установившихся режимов электрических цепей постоянного тока.....	5
Практическое занятие №2. Применение средств САПР при анализе и оптимизации установившихся режимов электрических цепей постоянного тока.....	7
Практическое занятие №3. Применение средств САПР при расчете стационарных и динамических режимов электрических цепей переменного тока.....	10
Практическое занятие №4. Применение средств САПР при анализе и оптимизации стационарных и динамических режимов электрических цепей переменного тока.....	12
Практическое занятие №5. Применение средств САПР при оформлении графической части проекта .....	16
Практическое занятие №6. Применение средств САПР для обработки результатов эксперимента .....	17
Приложение 1 .....	22
Приложение 2 .....	24
Приложение 3 .....	26
Содержание и требования к оформлению отчета.....	29
Список рекомендуемой литературы.....	30

## Введение

В методических указаниях изложен материал для проведения практических занятий по тематике «Применение современных средств САПР при анализе, оптимизации, выполнении графической части и обработке результатов экспериментов». Данный материал может быть использован для самостоятельной работы студентов, для работы на занятиях под руководством преподавателя.

Методические указания предполагают следующую последовательность работы. Во-первых, необходимо самостоятельно (на базе литературных источников из предлагаемого в конце списка) или на лекционном занятии рассмотреть обеспечивающие темы. Во-вторых, ознакомиться с содержанием занятия, пояснениями, листингами и указаниями. В-третьих, получить вариант задания у преподавателя. В-четвертых, выполнить задание и составить отчет с учетом требований параграфа «Содержание и требования к оформлению отчета». И в заключение, защитить отчет по работе.

В заданиях в пункте «Пояснения» указываются предполагаемые для решения программные средства САПР, но преподаватель может предложить программный продукт не из списка.

## **Практическое занятие №1**

### **Применение средств САПР при расчете установившихся режимов электрических цепей постоянного тока**

Цель занятия – ознакомиться с возможностями средств САПР, позволяющими производить расчет электрических цепей постоянного тока в установившихся режимах.

#### **Содержание задания**

Цепь постоянного тока, содержащая активные сопротивления, включает несколько источников постоянной ЭДС. Варианты заданий приведены в приложении 1. По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

Расчетная и аналитическая части задания

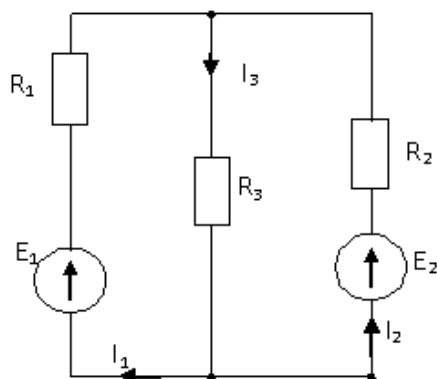
- 1) выполнить расчет токов в схеме рациональным методом;
- 2) определить какие ЭДС работают в режиме источников, а какие потребители;
- 3) определить мощность источников и потребителей;
- 4) построить потенциальную диаграмму.

#### **Пояснения**

- выполнять в MathCAD, MathLab (программная среда задается преподавателем).
- проверку провести в программе EWB, Simulink (программная среда задается преподавателем) для п. 1, 2.

#### **Примеры листингов и методические рекомендации**

В листингах приводится пример выполнения задания в программе MathCAD, что позволяет использовать листинги как методику выполнения задания для схожих схем. Кроме того листинги допускается использовать при оформлении отчетов. Далее приводится листинг для схемы с двумя источниками и тремя потребителями, содержащей два узла и три ветви. Для расчета применены законы Кирхгофа. Пункт 2 выполняется на основе анализа знаков у полученных в п. 1 токов и их направлений на исходной схеме. Выводы сделать самостоятельно.



$E_1 := 1 \text{ В}$     $E_2 := 1 \text{ В}$   
 $R_1 := 6 \text{ Ом}$     $R_2 := 8 \text{ Ом}$   
 $R_3 := 1 \text{ Ом}$   
 Система уравнений

$$\begin{aligned}
 i_1 + i_2 - i_3 &= 0 \\
 i_1 \cdot 6 + i_3 \cdot 16 &= 12 \\
 i_2 \cdot 8 + i_3 \cdot 16 &= 10
 \end{aligned}$$

### 1. Расчет токов

$$R_k := \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 6 & 0 & 16 \\ 0 & 8 & 16 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 0 \\ 12 \\ 10 \end{pmatrix} \quad R_k \cdot I = E \quad I := R_k^{-1} \cdot E \quad I = \begin{pmatrix} 0.471 \\ 0.103 \\ 0.574 \end{pmatrix}$$

$$I_1 := I_0 \quad I_1 = 0.47 \text{ А} \quad I_2 := I_1 \quad I_2 = 0.103 \text{ А} \quad I_3 := I_2 \quad I_3 = 0.574 \text{ А}$$

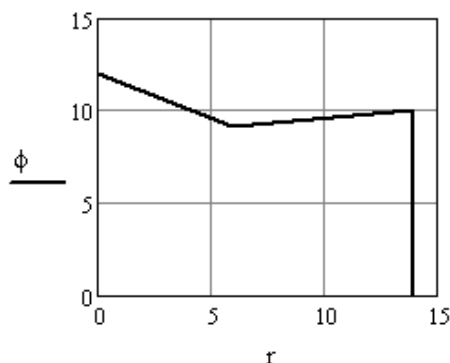
### 2. Проверка баланса мощностей

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ист}} &:= E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 & P_{\text{потр}} &:= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 \\
 P_{\text{ист}} &= 6.676 \text{ Вт} & P_{\text{потр}} &= 6.676 \text{ Вт}
 \end{aligned}$$

### 3. Потенциальная диаграмма (обход по внешнему контуру)

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &:= 0 \\
 \phi_2 &:= \phi_1 + E_1 & \phi_2 &= 12 \\
 \phi_3 &:= \phi_2 - R_1 \cdot I_1 & \phi_3 &= 9.176 \\
 \phi_4 &:= \phi_3 + R_2 \cdot I_2 & \phi_4 &= 10 \\
 \phi_5 &:= \phi_4 - E_2 & \phi_5 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\phi := \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{pmatrix} \quad r := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ R_1 \\ R_1 + R_2 \\ R_1 + R_2 \end{pmatrix}$$



## Практическое занятие №2

### Применение средств САПР при анализе и оптимизации установившихся режимов электрических цепей постоянного тока

Цель занятия – ознакомиться с возможностями средств САПР, позволяющими производить расчет, анализ и оптимизацию электрических цепей постоянного тока в установившихся режимах.

#### Содержание задания

Цепь постоянного тока, содержащая активные сопротивления, включает несколько источников постоянной ЭДС. Варианты заданий приведены в приложении 1. По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

#### Исследование и оптимизация

- 1) принять за нагрузку  $R$  с наибольшим порядковым № ( $R_5$  или  $R_6$ ), построить зависимости  $I_n(R_n)$ ,  $I_n(U_n)$  при изменении режима от ХХ до КЗ (использовать метод эквивалентного генератора);
- 2) принять за основной источник  $E_1$  номинальный ток источника 2 А, оценить загрузку источника, предложить меры для оптимальной загрузки;
- 3) если в схеме есть источники работающие в режиме потребления, проанализировать и построить зависимости перехода их в генераторный режим в зависимости от  $R_{ист}$  и  $E_{ист}$ .

#### Пояснения

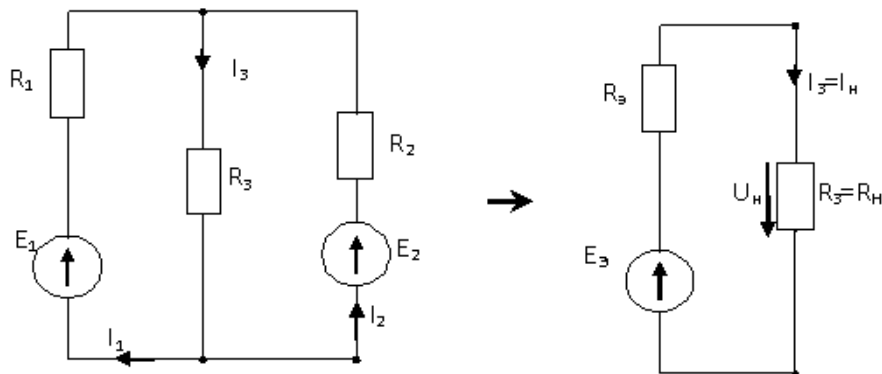
- пункты выполнять в MathCAD, MathLab (программная среда задается преподавателем).
- проверку провести в программе EWB, Simulink (программная среда задается преподавателем) для п.п. 1 (только для ХХ и КЗ), 2 (текущий режим и оптимальный режим), 3 (текущий режим и точка перехода в генераторный режим)

#### Примеры листингов и методические рекомендации

В листингах приводится пример выполнения задания в программе MathCAD, что позволяет использовать листинги как методику выполнения задания для схожих схем. Кроме того листинги допускается использовать при оформлении отчетов. Далее приводится листинг для схемы с двумя источниками и тремя потребителями, содержащей два узла и три ветви. Для выполнения пунктов 2 и 3 рекомендуется использовать метод ранжированных переменных. Если требуемые условия не выполняются, то, поочередно изменяя один из параметров схемы, проанализировать возможность их выполнения. Выводы сделать самостоятельно.

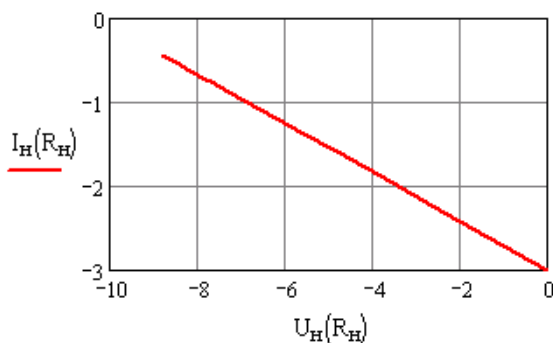
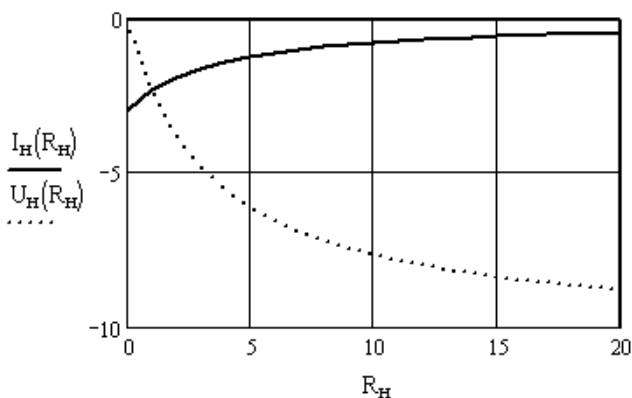
$$E_1 := 1 \text{ В} \quad E_2 := 1 \text{ В} \quad R_1 := 6 \text{ Ом} \quad R_2 := 8 \text{ Ом} \quad R_3 := 1 \text{ Ом}$$

1. Зависимости  $I_H(R_H)$ ,  $U_H(R_H)$ ,  $I_H(U_H)$



$$E_3 := E_1 \cdot \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \quad E_3 = -10.286 \text{ В} \quad R_3 := \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad R_3 = 3.429 \text{ Ом}$$

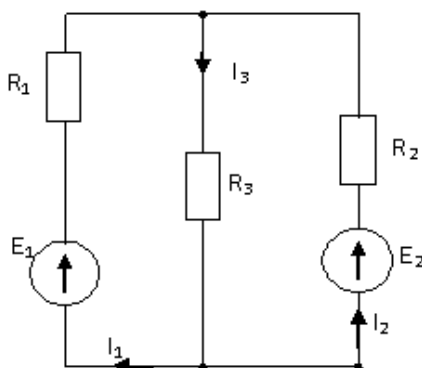
$$R_H := 0..20 \quad I_H(R_H) := \frac{E_3}{R_3 + R_H} \quad U_H(R_H) := \frac{E_3 \cdot R_H}{R_3 + R_H}$$





Оптимизация.

Дано:  $E_1 := 12 \text{ В}$   $E_2 := 10 \text{ В}$   $R_1 := 6 \text{ Ом}$   $R_2 := 8 \text{ Ом}$   $R_3 := 16 \text{ Ом}$



Система 3-х уравнений с переменным коэффициентом

$$f_1(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) := i_1 + i_2 - i_3$$

$$f_2(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) := i_1 \cdot R_1 + i_3 \cdot R_3$$

$$f_3(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) := i_2 \cdot R_2 + i_3 \cdot R_3$$

Привольно задаем начальные токи

$$i_1 := 0 \quad i_2 := 0 \quad i_3 := 0$$

Цикл given-find

Given

$$f_1(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) = 0$$

$$f_2(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) = E_1$$

$$f_3(E_1, E_2, i_1, i_2, i_3, R_1, R_2, R_3) = E_2$$

Отделяем варьируемые переменные от искомым токам

$$\alpha(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) := \text{Find}(i_1, i_2, i_3)$$

$$i_{10}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) := \alpha(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)_0 \quad i_{20}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) := \alpha(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)_1$$

$$i_{30}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) := \alpha(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)_2$$

Найдем токи ветвей для исходных данных необходимы для анализа по п.2

$$i_{10}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) = 0.471 \quad i_{20}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) = 0.103 \quad i_{30}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3) = 0.574$$

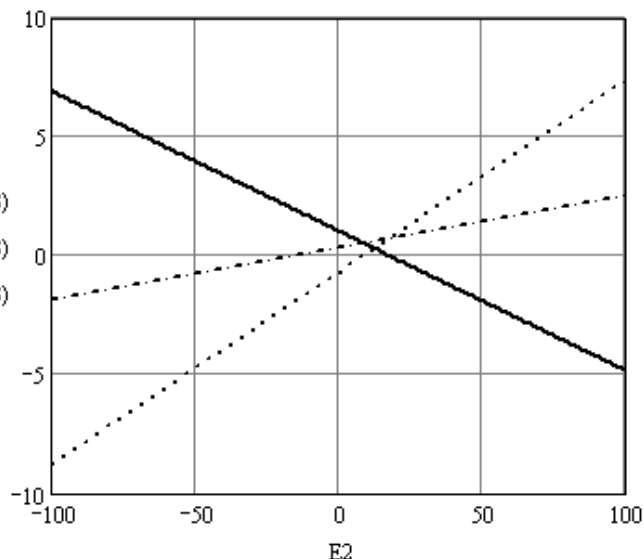
Задаем первую ранжированную переменную для анализа по п. 2 и 3

$$E_2 := -100..100$$

$$i_{10}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)$$

$$i_{20}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)$$

$$i_{30}(E_1, E_2, R_1, R_2, R_3)$$



### **Практическое занятие №3**

## **Применение средств САПР при расчете стационарных и динамических режимов электрических цепей переменного тока**

Цель занятия – ознакомиться с возможностями средств САПР, позволяющими производить расчет электрических цепей переменного тока в установившихся и переходных режимах.

### **Содержание задания**

Цепь переменного тока подключена к источнику входного напряжения. Варианты заданий приведены в приложении 2. По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

Расчетная и аналитическая части задания

- 1) выполнить расчет токов в схеме рациональным методом;
- 2) включить на вход схемы ваттметр и амперметр;
- 3) определить показания измерительных приборов;
- 4) определить  $Q$ ,  $S$  на входе цепи;
- 5) построить векторную диаграмму в масштабе с подтверждением 1-го и 2-го законов Кирхгофа;
- 6) проанализировать режим работы цепи.

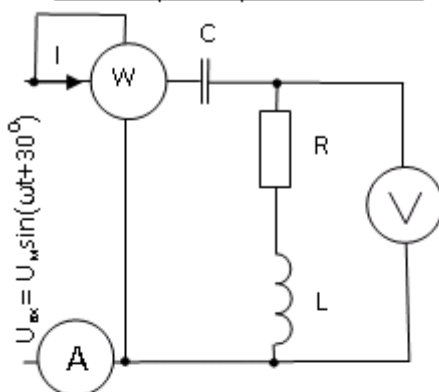
### **Пояснения**

- пункт выполнять в MathCAD, MathLab (программная среда задается преподавателем)
- проверку провести в программе EWB, Simulink (программная среда задается преподавателем) для п.п. 1, 3, 4 (фазовый сдвиг определить по осциллограмме).

### **Примеры листингов и методические рекомендации**

В листингах приводится пример выполнения задания в программе MathCAD, что позволяет использовать листинги как методику выполнения задания для схожих схем. Далее приводится листинг для цепи переменного тока с одним источником и последовательным соединением трех потребителей. Расчет выполнен в комплексной форме. Векторную диаграмму в масштабе построить самостоятельно. Выводы сделать по пунктам 5 и 6.

### Расчет цепи переменного тока



$$U_m := 220 \text{ В}$$

$$R := 10 \text{ Ом}$$

$$L := 0.05 \text{ Гн}$$

$$C := 0.0001 \text{ Ф}$$

$$j := \sqrt{-1}$$

$$\omega := 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\phi := \frac{\pi}{6} \text{ рад}$$

### Расчет в комплексной форме

$$U := \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\phi}$$

$$U = 134.722 + 77.782j \text{ В}$$

$$X_L := \omega \cdot L$$

$$X_L = 15.7 \text{ Ом}$$

$$X_C := \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = 31.847 \text{ Ом}$$

$$Z := R + j \cdot X_L - j \cdot X_C$$

$$Z = 10 - 16.147j \text{ Ом}$$

$$I := \frac{U}{Z}$$

$$I = 0.253 + 8.187j \text{ А}$$

### Показания приборов и мощность

$$I_A := |I|$$

$$I_A = 8.191 \text{ А}$$

$$U_V := |I \cdot (R + j \cdot X_L)|$$

$$U_V = 152.462 \text{ В}$$

$$P_W := (|I|)^2 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$P_W = 670.862 \text{ Вт}$$

$$Q := (|I|)^2 \cdot \text{Im}(Z)$$

$$Q = -1083.25 \text{ вар}$$

$$S := |U| \cdot |I|$$

$$S = 1274.161 \text{ ВА}$$

## Практическое занятие №4

### Применение средств САПР при анализе и оптимизации стационарных и динамических режимов электрических цепей переменного тока

Цель занятия – ознакомиться с возможностями средств САПР, позволяющими производить расчет, анализ и оптимизацию электрических цепей переменного тока в установившихся и переходных режимах.

#### Содержание задания

Цепь переменного тока подключена к источнику входного напряжения. Варианты заданий приведены в приложении 2. По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

#### Исследование и оптимизация

1) принять за варьируемую величину  $C, L, f$  и построить зависимости  $P, Q, S, \cos\varphi_{\text{вх}}, \varphi_{\text{вх}}, I_{\text{вх}}(C, L, f)$  и оценить полученные результаты по режимам работы, характеру двухполюсника, энергетическим показателям;

2) если в схеме есть две индуктивности исследовать влияние взаимной индукции при согласном (встречном) включении и  $K_{\text{св}} = 0 \dots 1$ , предложить варианты уменьшения взаимной индуктивности;

3) провести динамическое исследование переходного процесса подключения (отключения) схемы к предлагаемому источнику напряжения, сделать выводы исходя из сравнения с токами и напряжениями установившегося режима, предложить варианты оптимизации (автоматическая система включения при фазе равной 0, дополнительные элементы в схеме), подтвердить эффективность оптимизации.

#### Пояснения

- пункт выполнять в MathCAD, MathLab (программная среда задается преподавателем)
- проверку провести в программе EWB, Simulink (программная среда задается преподавателем) для п.п. 1 (по одной точке для каждого графика проверить), 2 (для одного значения  $K_{\text{св}}$  при согласном (встречном) включении проверить), 3 (привести осциллограмму или график).

#### Примеры листингов и методические рекомендации

1. Исследования зависимостей  $P, Q, S, \cos\varphi_{\text{вх}}, \varphi_{\text{вх}}, I_{\text{вх}}(C, L, f)$

Для исследования зависимостей  $P, Q, S, \cos\varphi_{\text{вх}}, \varphi_{\text{вх}}, I_{\text{вх}}(C, L, f)$  можно воспользоваться методикой применения варьируемых (ранжированных) переменных (см. практическое занятие 2).

2. Исследование влияния взаимной индукции

При исследовании влияния взаимоиндукции использовать либо комплексную форму, либо мгновенные значения.

Взаимоиндуктивное сопротивление:

$$X_M = \omega M;$$

– взаимная индуктивность:

$$M = K_{\bar{n}\bar{a}} \sqrt{L_1 L_2};$$

– взаимоиндуктивные напряжения влияния первой индуктивности на вторую и второй на первую:

$$\dot{U}_{M12} = \dot{I}_2 jX_{M12}, \dot{U}_{M21} = \dot{I}_1 jX_{M21};$$

– для дуальных цепей:

$$X_M = X_{M12} = X_{M21};$$

– полное напряжение на индуктивности с учетом самоиндукции и взаимоиндукции для двух катушек  $L_1$  и  $L_2$ :

$\dot{U}_{L1} = \dot{I}_1 jX_{L1} \pm \dot{I}_2 jX_M, \dot{U}_{L2} = \dot{I}_2 jX_{L2} \pm \dot{I}_1 jX_M$  (при согласном включении катушек знаки у напряжений самоиндукции и взаимоиндукции одинаковы).

Влияние взаимоиндукции можно исследовать вместе с п. 1, введя соответствующие выражения в мат. модель.

### 3. Исследование переходных процессов

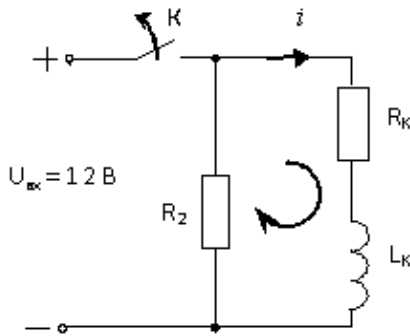
При динамическом исследовании переходного процесса подключения (отключения) схемы к предлагаемому источнику напряжения можно применять как численные, так и аналитические методы. Оба направления опираются на интегро-дифференциальные уравнения для послекоммутационной цепи, составленные, например, по законам Кирхгофа. Дифференциальная (интегральная) форма напряжений и токов на  $R, L, C$  элементах:

$$u_R = i \cdot R, u_L = L \cdot \frac{di}{dt}, u_C = \frac{1}{C} \cdot \int i dt, i_R = \frac{u}{R}, i_L = \frac{1}{L} \cdot \int u dt, i_C = C \cdot \frac{du}{dt}.$$

Методика численного решения предполагает преобразование исходной системы (мат. модели) для послекоммутационной схемы к системе дифференциальных уравнений первого порядка в виде Коши (см. листинг MathCAD).

Методика аналитического решения (классический метод, операторный метод и др.), предполагает предварительное выполнение ряда аналитических преобразований и получение результатов в виде функциональных зависимостей  $i(t), u(t)$ . Пример применения классического метода расчета переходных процессов приведен далее.

Переходный процесс размыкания ключа, аналитическое решение  
(Классический метод)



$$R_k := 4 \quad U_{ВХ} := 12$$

$$R_2 := 6000 \quad \omega := 0$$

$$L_k := 38.2 \cdot 10^{-3} \quad j := \sqrt{-1}$$

Решение. Послекоммутационные уравнения

$$i \cdot R_k + L_k \cdot \left( \frac{d}{dt} i \right) + i \cdot R_2 = 0$$

его решение  $i := i_{\text{пр}} + i_{\text{св}}$

принужденный ток  $i_{\text{пр}} := 0$

независимые начальные условия  $i_0 := \frac{U_{ВХ}}{R_k + j \cdot \omega \cdot L_k} \quad i_0 = 3$

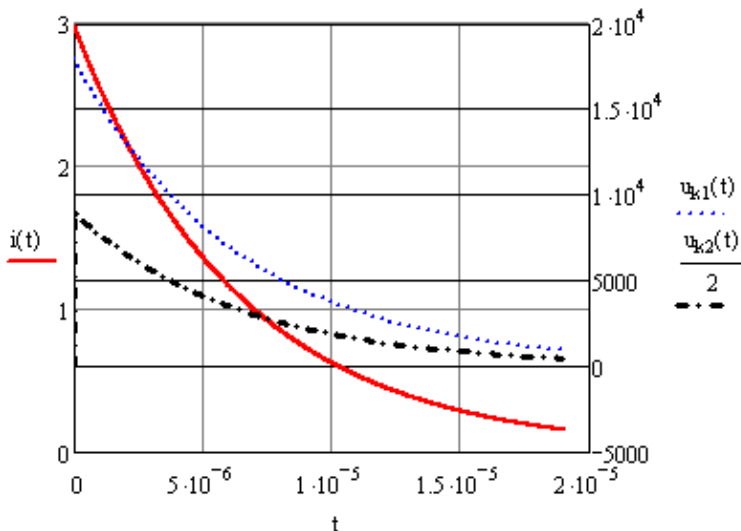
найдем элементы свободной составляющей  $p$  и  $A$

$$z(j\omega) := R_k + j \cdot \omega \cdot L_k + R_2 \quad z(p) := R_k + p \cdot L_k + R_2 \quad p := \frac{-(R_k + R_2)}{L_k} \quad p = -1.572 \times 10^5$$

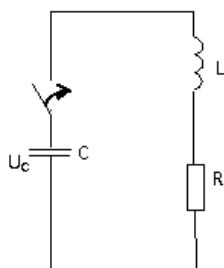
$$i(0) := i_{\text{пр}}(0) + i_{\text{св}}(0) \quad 3 := 0 + A \cdot e^{p \cdot 0} \quad A := 3$$

Искомый ток  $i(t) := A \cdot e^{p \cdot t}$  Построим графики  $i(t)$ ,  $U_k(t)$  за время  $3\tau$

$$t := 0, 0.00000001 \dots \frac{3}{1.572 \cdot 10^5} \quad u_{k1}(t) := i(t) \cdot R_2 \quad u_{k2}(t) := -i(t) \cdot R_k - L_k \cdot \left( \frac{d}{dt} i(t) \right)$$



Переходный процесс разряда C на RL нагрузку (Численный метод)



Закон Кирхгофа

$$-U_c + r \cdot i + L \cdot \left( \frac{d \cdot i}{dt} \right) = 0$$

Меняем переменную

$$i = -C \cdot \left( \frac{d}{dt} U_c \right)$$

Новая переменная  $U_c$

$$L \cdot C \cdot \frac{d^2}{dt^2} U_c(t) + r \cdot C \cdot \left( \frac{d}{dt} U_c(t) \right) + U_c(t) = 0$$

Понижаем степень, введя новую переменную

$$L \cdot C \cdot \frac{d^2}{dt^2} U_c(t) + r \cdot C \cdot \left( \frac{d}{dt} U_c(t) \right) + U_c(t) = 0 \text{ substitute } \frac{d}{dt} U_c(t) = y(t) \rightarrow L \cdot C \cdot \frac{d}{dt} y(t) + r \cdot C \cdot y(t) + U_c(t) = 0$$

Исходные данные  $r := 1$   $L := 1 \cdot 10^{-3}$

$C := 200 \cdot 10^{-6}$   $t_0 := 0$   $tk := 0.006$

Итоговая система в виде Коши

Given

$$\frac{d}{dt} y(t) = \frac{-r \cdot C \cdot y(t) - U_c(t)}{L \cdot C}$$

$$\frac{d}{dt} U_c(t) = y(t)$$

$$U_c(0) = 100 \quad y(0) = 0$$

$$\begin{pmatrix} y \\ U_c \end{pmatrix} := \text{Odesolve} \left[ \begin{pmatrix} y \\ U_c \end{pmatrix}, t, tk, 100 \right]$$

**Given** вводится в ручную.

**Odesolve(вектор,x,x<sub>(k)</sub>,d)**

**вектор** - только для систем

**x** - переменная у нас **t**

**x<sub>(k)</sub>** - конечное значение переменной у нас **0.006**

**d** - число шагов расчета у нас **1000** (чем больше, тем точнее)

**Примечание**

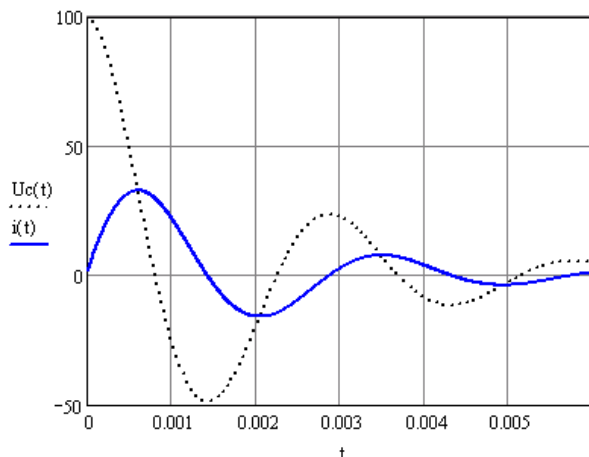
При не верном задании **x<sub>(k)</sub>**, например **0.06** получается ложный результат

Начальные условия задаем по законам коммутации и исходя из анализа схемы.

Их кол-во должно равняться числу уравнений

Выражения не заданных явно исследуемых величин для дальнейших построений

$$i(t) := -C \cdot \left( \frac{d}{dt} U_c(t) \right)$$



## **Практическое задание №5**

### **Применение средств САПР при оформлении графической части проекта**

Цель задания – ознакомиться с возможностями САД средств САПР, позволяющими выполнять построение электрических схем и конструкций электрооборудования.

#### **Содержание задания**

Выполнить чертеж электрических схем приведенных в приложениях 1 и 2 по своему варианту. На схемах подписать все элементы, расставить и пописать узлы и токи, произвольно выбрать и указать направления обхода независимых контуров.

По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

#### **Пояснения**

- программная среда задается преподавателем (MS Office, AutoCAD);
- работу требуется выполнить на базе примитивов без использования библиотек элементов;



## Практическое задание №6

### Применение средств САПР для обработки результатов эксперимента

Цель задания – изучить возможности средств САПР для обработки результатов эксперимента.

#### Содержание задания

Получить массив экспериментальных данных и выполнить аппроксимацию, регрессию и корреляцию средствами САПР. Варианты приведены в приложении 3. По результатам выполнения задания составить отчет на листах А4 и в электронной форме.

#### Порядок выполнения работы

1. Получение массива данных
  - 1.1. Провести эксперимент (расчет) и получить результаты (см. таблицу 4).
  - 1.2. Представить результаты эксперимента в виде таблицы и графика точек.
2. Аппроксимация, регрессия, корреляция
  - 2.1. Аппроксимировать полиномами от 1-ой до 4-ой степени (минимум один не стандартный). Результаты аппроксимации отразить на общих графиках.
  - 2.2. Выполнить регрессию, записав аналитические представления аппроксимирующих функций (минимум одна не стандартная).
  - 2.3. Вычислить коэффициенты корреляции и суммы квадратов отклонений и сделать вывод об оптимальной аппроксимирующей функции.
  - 2.4. Провести параметрическую идентификацию объекта по  $Z$  и синтез RLC цепью двух- или четырехполюсной.

#### Пояснения

- пункты 1 и 2 выполнять в MathCAD, MathLab (программная среда задается преподавателем).
- проверку п. 2.4 провести в программе EWB, Simulink (программная среда задается преподавателем)

#### Примеры листингов и методические рекомендации

В листингах приводится пример выполнения задания в программе MathCAD. Далее приводится листинг обработки результатов экспериментальной зависимости  $I_{BX}=f(I_C)$  из лабораторной работы №6 [12].

Обработка результатов эксперимента по ЛР №6

$$I_c := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.62 \\ 1.08 \\ 1.58 \\ 2.62 \\ 4 \end{pmatrix} \quad I_{BX} := \begin{pmatrix} 3.23 \\ 2.88 \\ 2.42 \\ 2 \\ 1.36 \\ 1.6 \end{pmatrix}$$

1. Линейная регрессия

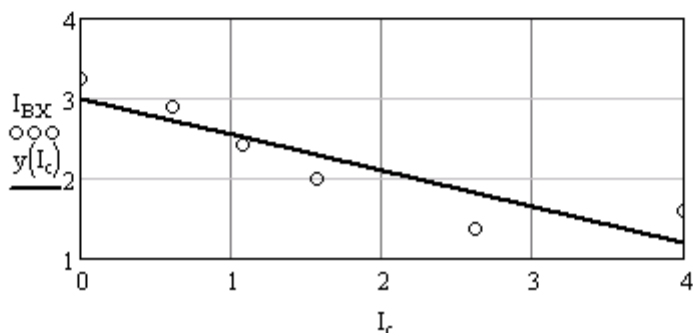
$\text{corr}(I_c, I_{BX}) = -0.8924$  чем ближе коэф. корреляции к 1 или -1, тем точнее будет именно линейная регрессия, чем ближе к 0, тем хуже.

$$a := \text{line}(I_c, I_{BX}) \quad a = \begin{pmatrix} 2.9872 \\ -0.4478 \end{pmatrix}$$

$$y(x) := a_0 + a_1 \cdot x \quad y(I_c)^T = (2.9872 \ 2.7096 \ 2.5036 \ 2.2797 \ 1.814 \ 1.196)$$

Второй способ - использовать функцию regress, применяемую для полиномов любой степени, результат тот же

$$v := \text{regress}(I_c, I_{BX}, 1) \quad v = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 1 \\ 2.9872 \\ -0.4478 \end{pmatrix}$$



## 2. Регрессия полиномом 3-й степени

$$c := \text{regress}(I_c, I_{BX}, 3) \quad c^T = (3 \quad 3 \quad 3 \quad 3.2468 \quad -0.5379 \quad -0.2689 \quad 0.0752)$$

Для регрессии полиномом 3-ей степени

$$I_{BX} = 3.247 - 0.538 \cdot I_c - 0.269 \cdot I_c^2 + 0.075 \cdot I_c^3$$

Возврат значений коэф. регрессии для определения значений функции в точке (на интервале) t

$$C(t) := \text{interp}(c, I_c, I_{BX}, t) \quad t := 0, 0.1 \dots 4$$

## 3. Регрессия не стандартной зависимостью $I_{BX} = e_0 + e_1 \cdot I_c + e_3 \cdot I_c^3$

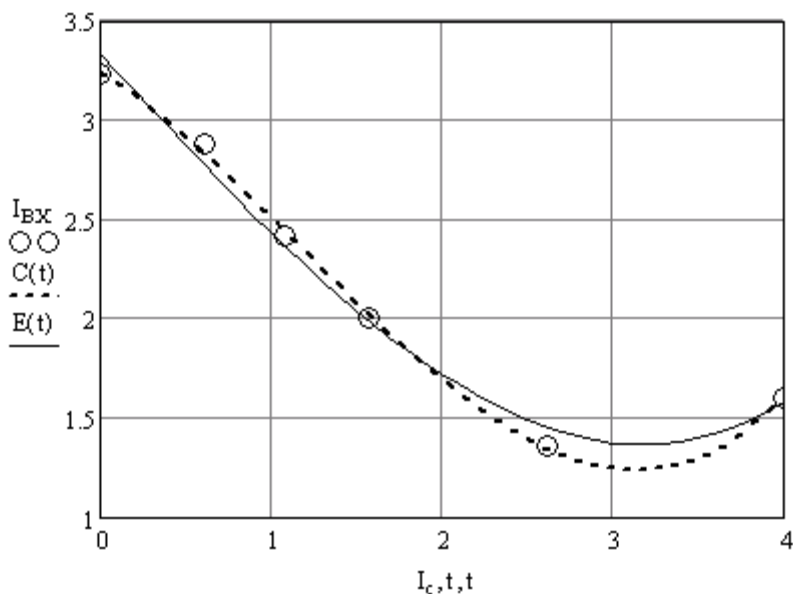
$$n := \text{last}(I_c) \quad e(e_0, e_1, e_3) := \sum_{i=0}^n \left[ I_{BX_i} - e_3 \cdot (I_{c_i})^3 - e_1 \cdot I_{c_i} - e_0 \right]^2$$

$$e_0 := 1 \quad e_1 := 1 \quad e_3 := 1$$

$$\begin{pmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_3 \end{pmatrix} := \text{Minimize}(e, e_0, e_1, e_3) \quad e_0 = 3.3377 \quad e_1 = -0.9313 \quad e_3 = 0.0307$$

Итоговый вид нестандартного полинома 3-ей степени

$$E(t) := e_3 \cdot t^3 + e_1 \cdot t + e_0$$



4. Выбор наиболее точного варианта аппроксимирующей зависимости по коэф. корреляции

по полиному 1-ой степени, т.е. для прямой

$$\underline{\gamma}_1 := \text{regress}(I_c, I_{BX}, 1) \quad i := 0..n \quad \underline{Y1}_i := \text{interp}(v, I_c, I_{BX}, I_{c_i})$$

$$\gamma_1 := \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - Y1_i)^2}{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - \text{mean}(I_{BX}))^2}}$$

$\gamma_1 = 0.8924$  - худшая сходимость, но результат тотже, что и при использовании функции corr (коэф. корреляции Пирсона)

по полиному 3-ой степени

$$\underline{\gamma}_3 := \text{regress}(I_c, I_{BX}, 3) \quad i := 0..n \quad \underline{Y3}_i := \text{interp}(c, I_c, I_{BX}, I_{c_i})$$

$$\gamma_3 := \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - Y3_i)^2}{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - \text{mean}(I_{BX}))^2}}$$

$\gamma_3 = 0.9992$  - наилучшая сходимость (ближайший к 1,0 коэф.)

по нестандартному полиному 3-ой степени  $i := 0..n \quad \underline{YS}_i := E(I_{c_i})$

$$\gamma_S := \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - YS_i)^2}{\sum_{i=0}^{\text{last}(I_{BX})} (I_{BX_i} - \text{mean}(I_{BX}))^2}} \quad \gamma_S = 0.9933$$

5. Второй способ выявления лучшей аппроксимирующей зависимости - определить наименьшую сумму квадратов отклонений

по полиному 1-ой степени

$$S1 := \sqrt{\sum_{i=0}^n (I_{BX_i} - Y1_i)^2}$$

$S1 = 0.7365$  - худшая сходимость  
(максимальная сумма)

по полиному 3-ой степени

$$S3 := \sqrt{\sum_{i=0}^n (I_{BX_i} - Y3_i)^2}$$

$S3 = 0.0671$  - наилучшая сходимость  
(минимальная сумма)

по нестандартному полиному 3-ой степени

$$SS := \sqrt{\sum_{i=0}^n (I_{BX_i} - YS_i)^2} \quad SS = 0.1882$$

## Приложение 1

### Варианты заданий к занятиям №1, 2, 5

На рисунке 1 приведен скелет расчетной электрической цепи, содержащей 13 ветвей, а в таблице 1 указаны исходные данные. Если в ячейке указано два числа, то первое – это сопротивление ветви, а второе – ЭДС той же ветви. Сопротивление ветви может быть равно нулю, тогда прилегающие к ней узлы объединяются, или бесконечности, в таком случае соответствующая ветвь не изображается на расчетной схеме.

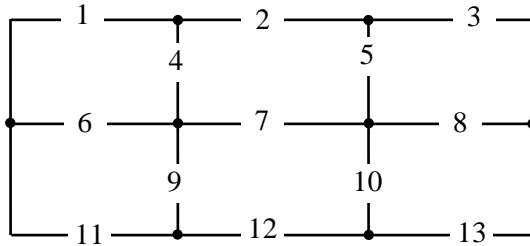


Рисунок – 1

Таблица 1

Вариант	Состав ветвей схемы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$	$\frac{R/E,}{\text{Ом}}$ $\frac{\text{В}}$
1	12/60	10/10	0	6	$\infty$	$\infty$	4	0	2	$\infty$	0	2/15	0
2	2/60	4	2/15	12	6/20	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	8	0
3	2/80	0	8/15	0	$\infty$	$\infty$	8/15	0	6	$\infty$	0	8	0
4	4/80	0	6/15	8	14	0	$\infty$	$\infty$	0	0	$\infty$	4/12	0
5	4/60	0	0	0	$\infty$	$\infty$	4/12	$\infty$	8	0	0	10/12	2
6	$\infty$	6/24	0	0	$\infty$	0	6	0	8	$\infty$	8/80	2	2/20
7	4	6/10	$\infty$	4	0	6/12	$\infty$	$\infty$	0	0	6/60	0	$\infty$
8	5/50	5/15	$\infty$	10	0	0	3	$\infty$	0	0	$\infty$	6/15	$\infty$
9	6/40	6/5	0	4	$\infty$	$\infty$	6/10	0	10	$\infty$	0	2	0
10	0	6	2/12	12	2/10	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	4/40	4	0
11	8/60	4/10	0	8	$\infty$	$\infty$	8	0	6	$\infty$	0	10/15	0
12	6/80	2	12/20	2/10	4	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	2	0
13	0	0	2	4	$\infty$	$\infty$	0	8/12	2	$\infty$	8/60	0	4/15
14	0	12	4	0	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2/12	2/12	6/60	6	0
15	4/40	0	2/12	4	$\infty$	$\infty$	0	2/8	4	$\infty$	0	0	4

Вариант	Состав ветвей схемы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{Ом}}{B}$
16	$\infty$	0/10	8	6	6	6	$\infty$	$\infty$	10	4/5	3/45	0	0
17	8/80	2	0	4	$\infty$	$\infty$	2/10	0	6	$\infty$	0	0	6
18	0	0	10/8	$\infty$	4	$\infty$	0	2	$\infty$	4	4/60	0	2/16
19	2/40	0	2/8	4/10	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2	8	2	4	8
20	4/60	2/15	0	2	$\infty$	$\infty$	4	0	6	$\infty$	0	2	0
21	2/40	2/10	2/10	8	8	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	0	0
22	4/60	4	$\infty$	0	0	$\infty$	12/15	$\infty$	5	0	0	6/15	$\infty$
23	$\infty$	14	$\infty$	0	0	8/80	12/10	$\infty$	2	8/12	0	0	$\infty$
24	2/60	12	$\infty$	0	0	$\infty$	6	$\infty$	12	0	0	12/10	$\infty$
25	6/20	0	$\infty$	$\infty$	0	8	10	$\infty$	5/15	12	4/50	0	$\infty$
26	4/40	0	$\infty$	5/40	10	$\infty$	$\infty$	0	0	15	0	0	6/40
27	2/50	0	$\infty$	5/50	8/50	10	12	$\infty$	$\infty$	0	15	0	$\infty$
28	5/70	0	$\infty$	0	10	$\infty$	$\infty$	4/50	6	8/20	0	0	4
29	$\infty$	4/50	0	0	10	$\infty$	5/50	$\infty$	0	15	$\infty$	4/40	18
30	6/40	12	5/50	0	20	$\infty$	5/40	$\infty$	$\infty$	0	0	0	0
31	0	6	5/50	$\infty$	5	12	0	$\infty$	$\infty$	0	0	4/50	0
32	0	4/20	4	$\infty$	5	0	2/20	$\infty$	$\infty$	10	0	4/30	0
33	$\infty$	4/50	0	0	5/10	$\infty$	6/40	4	0	8	$\infty$	12	$\infty$
34	0	0	$\infty$	6	0	2/15	6	5/20	0	5/30	$\infty$	0	0
35	0	4/25	$\infty$	8	0	5/60	3	$\infty$	0	0	$\infty$	6/15	$\infty$
36	0	4/45	0	8	$\infty$	$\infty$	6/20	0	10	$\infty$	6/40	8	0
37	0	16	4/18	12	2/30	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	4/50	4	0
38	2/60	4/10	0	18	$\infty$	$\infty$	6	0	6	$\infty$	0	10/15	0
39	4/70	2	6/20	2/10	10	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	12	0
40	6/80	2/25	0	5	$\infty$	$\infty$	8	0	6	$\infty$	0	2	0
41	2/50	2/20	2/20	8	8	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	0	0
42	3/40	5	$\infty$	0	0	$\infty$	12/25	$\infty$	5	0	0	6/15	$\infty$
43	$\infty$	10	$\infty$	0	0	4/20	6/10	$\infty$	2	8/12	0	0	$\infty$
44	10	0	$\infty$	$\infty$	0	8	10/30	$\infty$	5/30	8	4/30	0	$\infty$
45	4	0	$\infty$	0	10	$\infty$	$\infty$	2/20	2/20	1/20	0	0	4
46	2/12	3	4/12	5	8/12	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0	0	0	0
47	$\infty$	8	0	0	0	$\infty$	2/20	$\infty$	0	3/30	$\infty$	4/30	5

Вариант	Состав ветвей схемы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$	$\frac{R/E, \text{ Ом}}{B}$
48	2/40	0	$\infty$	4/50	8	6	10	$\infty$	$\infty$	0	2/40	0	$\infty$
49	4/50	0	$\infty$	0	10	$\infty$	$\infty$	4/50	6	3/20	0	5	4
50	2/30	0	$\infty$	10	8/30	10	5/30	$\infty$	$\infty$	0	12	0	$\infty$

## Приложение 2

### Варианты заданий к занятиям №3, 4, 5

Рекомендуется применить методику расчета электрической цепи с одним источником ЭДС путем эквивалентного преобразования схемы.

На рисунке 2 приведен скелет расчетной электрической цепи, содержащей до девяти потребителей, а в таблице 2 указаны исходные данные.

Для всех вариантов  $\omega = 314$  рад/с,  $r_1 = 3$  Ом,  $r_2 = 7$  Ом,  $r_3 = 10$  Ом,  $L_1 = 15,92$  мГн,  $L_2 = 25,48$  мГн,  $L_3 = 38,22$  мГн,  $C_1 = 796,2$  мкФ,  $C_2 = 398,1$  мкФ,  $C_3 = 318,5$  мкФ.

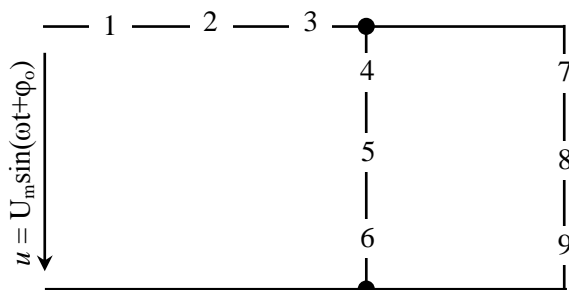


Рисунок – 2

Таблица 2

Вариант	$U_m, \text{ В}$	$\phi_0, \text{ град.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	380	0	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
2	127	30	$r_1$	-	-	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	$C_2$
3	36	60	-	$L_1$	-	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
4	220	90	$L_3$	$C_1$	-	$r_1$	-	-	$r_2$	-	-



Вариант	Um, В	$\varphi_0$ , град.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	60	120	$r_1$	$L_1$	$C_1$	$L_2$	-	-	$C_3$	-	-
6	100	45	$r_2$	$L_2$	-	$r_1$	$L_1$	$C_1$	$r_3$	$L_3$	-
7	70	0	$r_3$	-	$C_3$	$r_1$	$L_1$	$C_1$	-	$L_2$	$C_2$
8	120	-30	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
9	90	-60	$r_2$	-	$C_2$	$r_1$	-	$C_1$	$r_3$	$L_3$	-
10	380	-90	-	$L_1$	$C_1$	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
11	150	0	$r_1$	-	$C_1$	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
12	160	30	-	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	-	$C_3$
13	127	60	-	-	$C_1$	$r_2$	$L_2$	$C_2$	-	$L_3$	$C_3$
14	36	90	$r_1$	-	-	-	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	$C_3$
15	220	120	$r_1$	$L_1$	-	-	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
16	200	150	$r_1$	-	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	-	$L_3$	$C_3$
17	140	0	-	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	$C_3$
18	220	-30	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	-	$L_3$	$C_3$
19	24	-60	-	-	$C_2$	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
20	180	-90	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	$C_3$
21	250	0	$r_1$	-	-	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
22	160	30	-	$L_3$	$C_3$	$r_1$	-	$C_1$	-	$L_2$	$C_2$
23	24	60	$r_1$	-	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
24	220	90	-	$L_1$	-	-	$L_2$	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
25	380	120	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	$C_3$	$r_1$	$L_1$	-
26	220	150	$r_1$	-	$C_1$	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	-	$C_3$
27	40	0	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	-
28	100	-30	$r_1$	$L_1$	-	-	$L_2$	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
29	36	-60	$r_1$	-	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	-	$C_3$
30	220	-90	-	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	-	$L_3$	$C_3$
31	380	0	$r_1$	$L_1$	$C_3$	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	-	-
32	60	30	$r_2$	-	$C_2$	-	$L_3$	$C_3$	$r_1$	-	$C_1$
33	150	60	$r_1$	$L_1$	$C_2$	$r_2$	$L_2$	-	$r_3$	$L_3$	-
34	100	90	-	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
35	36	0	$r_1$	$L_2$	$C_1$	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	-
36	127	-30	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	-	$C_2$	$r_3$	$L_3$	$C_3$
37	220	-60	-	$L_3$	$C_3$	$r_2$	-	$C_2$	$r_1$	$L_1$	-
38	120	-90	$r_1$	$L_1$	-	$r_2$	$L_2$	$C_2$	$r_3$	-	$C_3$
39	380	0	$r_3$	$L_3$	-	-	$L_1$	-	$r_2$	-	$C_2$
40	200	30	$r_1$	-	$C_1$	-	$L_2$	$C_2$	$r_3$	-	$C_3$

Вариант	Um, В	φ <sub>0</sub> , град.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	20	60	r <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	-	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	-	r <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
42	220	90	r <sub>2</sub>	-	C <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	-	r <sub>3</sub>	-	C <sub>3</sub>
43	60	0	r <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	-	r <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	-	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
44	180	-30	r <sub>1</sub>	-	-	-	-	C <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
45	380	-60	r <sub>1</sub>	-	-	r <sub>2</sub>	-	C <sub>3</sub>	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
46	100	-90	r <sub>1</sub>	-	C <sub>3</sub>	r <sub>2</sub>	-	C <sub>3</sub>	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	-
47	140	0	-	-	C <sub>1</sub>	-	L <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
48	50	30	r <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	-	-	C <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	-
49	220	60	-	-	C <sub>3</sub>	r <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	-	r <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
50	300	90	r <sub>3</sub>	-	C <sub>3</sub>	r <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	-	C <sub>1</sub>

### Приложение 3

#### Варианты заданий к занятию №6

Практическое занятие №6. Обработка результатов эксперимента.

Вариант задания содержит конкретную работу и исследуемую зависимость  $f(x)$ , где ЛР – лабораторная работа по дисциплине электротехника и электроника [12, 13], СЗ – расчет системы зажигания ДВС [14, с. 267-271].

Аппроксимация, регрессия, корреляция [15, с. 147-155].

Таблица 3

Вар.	Эксперимент	Зависимость
1	ЛР№6	$I_C = f(C)$
2	ЛР№6	$I_{BX} = f(C)$
3	ЛР№6	$\cos \varphi_{BX} = f(C)$
4	ЛР№6	$ I_{BXp}  = f(C)$
5	ЛР№11	$U_2 = f(I_2)$
6	ЛР№11	$I_1 = f(I_2)$
7	ЛР№11	$\cos \varphi_1 = f(I_2)$
8	ЛР№11	$\eta = f(I_2)$
9	ЛР№11	$\Delta P = f(I_2)$
10	ЛР№11	$P_1 = f(I_2)$
11	ЛР№13	$I_1 = f(P_2)$
12	ЛР№13	$P_1 = f(P_2)$

Вар.	Эксперимент	Зависимость
13	ЛРН№13	$n_2 = f(P_2)$
14	ЛРН№13	$\eta = f(P_2)$
15	ЛРН№13	$\cos \varphi_1 = f(P_2)$
16	ЛРН№13	$s = f(P_2)$
17	ЛРН№13	$M_2 = f(P_2)$
18	ЛРН№13	$P_\Gamma = f(I_\Gamma)$
19	ЛРН№6	$\cos \varphi_{BX} = f(I_C)$
20	ЛРН№6	$I_{BX} = f(I_C)$
21	ЛРН№6	$ I_{BXp}  = f(I_C)$
22	ЛРН№11	$U_2 = f(P_2)$
23	ЛРН№11	$I_1 = f(P_2)$
24	ЛРН№11	$\cos \varphi_1 = f(P_2)$
25	ЛРН№11	$\eta = f(P_2)$
26	ЛРН№11	$\Delta P = f(P_2)$
27	ЛРН№11	$P_1 = f(P_2)$
28	ЛРН№13	$I_1 = f(P_\Gamma)$
29	ЛРН№13	$P_1 = f(P_\Gamma)$
30	ЛРН№13	$n_2 = f(P_\Gamma)$
31	ЛРН№13	$\eta = f(P_\Gamma)$
32	ЛРН№13	$\cos \varphi_1 = f(P_\Gamma)$
33	ЛРН№13	$s = f(P_\Gamma)$
34	ЛРН№13	$M_2 = f(P_\Gamma)$
35	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 0^\circ$
36	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 60^\circ$
37	ЛРН№25	$U_\alpha = f(\alpha), I_{\alpha min}$
38	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 20^\circ$
39	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 40^\circ$
40	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 80^\circ$
41	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 100^\circ$
42	ЛРН№25	$U_\alpha = f(I_\alpha), \alpha = 120^\circ$
43	ЛРН№25	$U_\alpha = f(\alpha), I_{\alpha max}$
44	ЛРН№25	$U_\alpha = f(\alpha), 0.25 I_{\alpha max}$
45	ЛРН№25	$U_\alpha = f(\alpha), 0.5 I_{\alpha max}$
46	ЛРН№25	$U_\alpha = f(\alpha), 0.75 I_{\alpha max}$

Вар.	Эксперимент	Зависимость
47	ЛРН№33	$U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}), f = 1 \text{ кГц}$
48	ЛРН№33	$K_U = \varphi(f), U_{\text{ВХ}} = \text{мВ}$
49	ЛРН№33	$U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}), f = 2 \text{ кГц}$
50	ЛРН№33	$U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}), f = 3 \text{ кГц}$
51	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,7 \text{ мм}$
52	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,8 \text{ мм}$
53	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 8 \text{ атм}, d = 0,9 \text{ мм}$
54	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 8 \text{ атм}, d = 1,0 \text{ мм}$
55	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 9 \text{ атм}, d = 1,1 \text{ мм}$
56	С3	$U_{\text{ПРпуск}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 9 \text{ атм}, d = 1,2 \text{ мм}$
57	С3	$U_{\text{ПРраз}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,7 \text{ мм}$
58	С3	$U_{\text{ПРраз}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,8 \text{ мм}$
59	С3	$U_{\text{ПРраз}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 8 \text{ атм}, d = 1,0 \text{ мм}$
60	С3	$U_{\text{ПРраз}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 8 \text{ атм}, d = 1,2 \text{ мм}$
61	С3	$U_{\text{ПРраз}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 9 \text{ атм}, d = 1,2 \text{ мм}$
62	С3	$A_{\text{ИР}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,7 \text{ мм}$
63	С3	$A_{\text{ИР}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 0,8 \text{ мм}$
64	С3	$A_{\text{ИР}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 9 \text{ атм}, d = 0,7 \text{ мм}$
65	С3	$A_{\text{ИР}} = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 9 \text{ атм}, d = 0,8 \text{ мм}$
66	С3	$\tau = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 7 \text{ атм}, d = 1,2 \text{ мм}$
67	С3	$\tau = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 8 \text{ атм}, d = 1,0 \text{ мм}$
68	С3	$\tau = f(n_{\text{ДВ}}), \varepsilon = 10 \text{ атм}, d = 0,7 \text{ мм}$

## Содержание и требования к оформлению отчета

1. Отчет по лабораторному занятию должен содержать: титульный лист, цель задания, содержание задания, исходные данные, подробное описание выполнения всех пунктов задания, верификация (проверка) выполнения тех подпунктов, которые указаны в пояснениях, выводы по результатам выполнения каждого подпункта и итоговые выводы по результатам выполнения задания.

2. При оформлении отчета использовать следующее форматирование:

- оформление отчета в соответствии с требованиями ЕСКД и ГОСТ;
- размеры элементов схем по ГОСТ;
- шрифт "Times new roman";
- размер шрифта 12-14 пт;
- междустрочный интервал 1-1,5;
- толщина всех линий на чертежах 1 пт;
- формулы: обычный – 13 пт, крупный индекс – 9 пт, крупный символ – 20 пт.
- для вставки в отчет листингов из других программ предварительно преобразовывать их в графические объекты, например, через PAINT.

## Список рекомендуемой литературы

1. Дементьев Ю.В. САПР в автомобиле- и тракторостроении: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.В. Дементьев, Ю.С. Щетинин; под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
2. САПР. Системы автоматизированного проектирования [В 9 кн.]. / И.П.Норенков. – М.: Высш. шк., 1986.
3. Кудрявцев Е.М. Mathcad 2000 Pro. – М.: ДМК Пресс, 2001.
4. Ткачев Д.А. AutoCAD 2005. Самоучитель. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2006.
5. Рахмина Г.В. Exel 2000: Руководство пользователя с примерами/Рахмина Г.В. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001.
6. Карлашук В.И. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Vissim по элементам телекоммуникационных систем. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2005.
7. Курочкин В.В. Расчеты в Mathcad электрических и магнитных цепей электрооборудования/ В.В.Курочкин. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2006.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP 1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании/ В.П.Дьяконов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2005.
9. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
10. Алиев И.И. Виртуальная электротехника. Компьютерные технологии в электротехнике и электронике. – М.: РадиоСофт, 2003.
11. Семенов М.Г. Введение в математическое моделирование. – М.: СОЛОН-Р, 2002.
12. Кузубов В.М., Карюков В.Д. Электротехника. Руководство к лабораторным работам по курсу " Электротехника и основы электроники" для студентов неэлектротехнических специальностей всех форм обучения-Краснодар.: Издательство КубГТУ, 1996. - 74с.
13. Репьев Ю.Г., Дюжева С.А., Кузубов В.М. Электроника. Методические указания к лабораторным работам по курсу " Электротехника и электроника" для студентов неэлектротехнических специальностей всех форм обучения.- Краснодар.: 2001. - 41 с.
14. Набоких В.А. Аппараты систем зажигания: справочник / В.А.Набоких. – М.: Издательский центр "Академия", 2009.
15. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, Mathlab 7, Maple 9. – М.: ИТ Пресс, 2006. – 406 с., с. 138-155.

# СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методические указания к практическим занятиям для студентов всех  
форм обучения направления 13.04.02 – Электроэнергетика и  
электротехника

Составители: Квон Алексей Михайлович;  
Автайкин Илья Николаевич

Компьютерная верстка	А.М. Квон
<hr/>	
Подписано в печать	Формат 60x84/16
Бумага офсетная	Офсетная печать
Печ. л.	Изд. №
Усл. печ. л.	Тираж экз.
Уч.-изд. л.	Заказ №
Цена	руб.

Кубанский государственный технологический университет  
350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кор. А  
Типография КубГТУ: 350058, г. Краснодар, ул. Старокубанская, 88/4