

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ И ИЗУЧЕНИЕ КУРСА ТОЭ

*Карась С.В., Черноус В.П., Денник В.Ф.*

*Донецкий государственный технический университет*

*olga@pandora.kita.dgtu.donetsk.ua*

*In the article there is a motivation of need of studying the theoretical essential principles of electrical engineering and the essential principles of electrical circuits' theory with using modern personal computers. It is offered to use a software, developed with using the modern powerful mathematical programs. There are cited the examples of programs, which allowing to research concrete electrical circuits and electrotechnical plants.*

**Введение.** Труд современного инженера немислим без применения электронных вычислительных машин (ЭВМ). Более того, если ранее во всех сферах деятельности важнейшими показателями уровня экономического и технического развития считались степени электрификации и механизации производства, то в последнее время к этим показателям добавился еще один – степень оснащения и использования электронной вычислительной техники. При этом имеется в виду ее эффективное использование.

Учебный процесс в вузе дает не только благодатную почву для освоения студентами вычислительной техники, но еще и сам является объектом, который путем рационального использования ЭВМ в процессе чтения лекций и при проведении практических и лабораторных занятий, может быть усовершенствован.

Изучению и освоению вычислительной техники в вузах всегда уделялось большое внимание. Студенты вузов должны интенсивно использовать вычислительную технику, начиная с первого курса и после дипломного проектирования в своей дальнейшей инженерной и научной работе.

**Методологические послышки.** При создании машинных программ для выполнения лабораторных работ по ряду вопросов ТОЭ путем математического моделирования на ЭВМ целесообразно исходить, в основном, из того, что при изучении даже несложных электрических цепей не всегда можно легко представить физику происходящих в них электромагнитных явлений. При этом призванные для решения этой задачи лабораторные работы физически ограничены в своих возможностях (выбор и варьирование в достаточно широких пределах различных параметров и величин и др.), а применяемые в этом случае “механические” аналогии не всегда достигают своей цели.

С точки зрения процесса познания наиболее наглядно и эффективно эта задача решается с помощью математического моделирования. В этом случае возможности варьирования параметров модели практически неограниченны (это является хорошим дополнением к практическим занятиям и натурным лабораторным работам), а графические формы представления результатов математического моделирования и их интерпретация являются наиболее наглядными и запоминающимися.

При использовании современных компьютерных средств для моделирования и последующего анализа процессов, происходящих в электрических цепях и системах, наиболее целесообразным представляется применение математических библиотек Matlab [1,2] и MathCAD [3], имеющих множество преимуществ по сравнению с программами на традиционных языках программирования (Бейсик, Паскаль и др.). При использовании математического пакета MathCAD [3] имеется возможность автоматического выбора масштабов с последующей их корректировкой и представления результатов в удобной и наиболее выразительной цветовой гамме.

**Программное обеспечение и его использование.** Для сведения к минимуму дополнительной нагрузки на студента, изучающего ТОЭ с применением ЭВМ, в данном случае рассматриваются программы, которые могут быть представлены в виде отдельных файлов на дискете, содержащей также файл подсказок для пользователя (студента). Файл подсказок ориентирует студента при использовании программы и довольно простым способом (с клавиатуры) позволяет изменять соответствующие параметры в оговоренных заданием пределах (по указанию преподавателя или по выбору студента), получать соответствующие решения, в том числе с графическим представлением результатов. Программой предусмотрен ряд вопросов, ответ на которые студент может дать лишь после оценки и анализа результатов расчетов, проведенных на компьютере. Полученные результаты, подтверждающие сделанные студентом оценки и заключение, выводятся на печать.

**Реализация задачи применения ЭВМ в учебном процессе.** Новый этап активизации в использовании ЭВМ в учебном процессе по ТОЭ начался с появления и широкого распространения персональных ЭВМ. К наиболее ценным, на наш взгляд, методическим разработкам кафедры ТОЭ, находящимся на разных стадиях завершения, следует отнести:

- Создание программ решения стандартных задач;
- Разработка программ решения задач, расчет которых “вручную” практически исключен;
- Создание машинных программ выполнения лабораторных работ;
- Разработка методического обеспечения выполнения расчетно-лабораторных работ с использованием персональных ЭВМ;

• Создание машинных программ контроля и тестирования студентов по отдельным разделам курса ТОЭ. Здесь приведем только краткое перечисление имеющихся наработок, т.е. что уже сделано и готово к применению. Так, готовы и апробированы машинные программы решения большинства стандартных задач расчетно-графических работ по ТОЭ, разработанные в расчете на использование математического программного пакета – MathCAD plus 7.0 pro.

На начальном этапе изучения теоретических основ электротехники, на наш взгляд, применение программного пакета MathCAD наиболее целесообразно для углубленного изучения и усвоения таких вопросов:

- резонансные явления;
- графическая интерпретация ряда Фурье;
- переходные процессы в электрических цепях;
- сравнение частотных и временных методов расчета;
- графическое представление картины поля системы зарядов или электродов.

В настоящее время подготовлены такие машинные программы выполнения лабораторных работ по ТОЭ:

- Исследование переходных процессов в электрических цепях.
- Прохождение прямоугольного импульсного сигнала через реактивный фильтр типа К.
- Исследование поля потенциала шарового и вертикальных трубчатых заземлителей.

Методические приемы, сопровождающие практические занятия с использованием ЭВМ, целесообразно применить и при проведении лабораторных работ, когда выполненные исследования на физических моделях студенты под руководством преподавателя повторяют на ЭВМ, но уже в широком диапазоне значений влияющих параметров и величин. Примером этого могут служить следующие три задачи:

**Пример 1\***. Исследование переходных процессов в цепи  $r, L, C$ , ее динамических свойств, является одной из важнейших классических задач курса ТОЭ, характеризующейся сложностью и громоздкостью расчетов.

Исследуем переходный процесс в последовательной  $r-L-C$ -цепи при ее включении на постоянное напряжение  $U$  (рис. 1) с использованием пакета MathCAD [3, 4], а также влияние отдельных параметров, в частности, активного сопротивления, на динамические свойства цепи электрической цепи, используя классический метод [5] (определение начальных условий, решение характеристического уравнения, получение функциональных зависимостей для тока и напряжения на элементах цепи с выводом результатов в виде графиков).

Исходные данные:  $L = 0.15$  Гн;  $C = 15$  мкФ;  $U = 1$  В.

Из трех параметров цепи заданы два. Третий, активное сопротивление  $r$ , используется как аргумент функций пользователя.

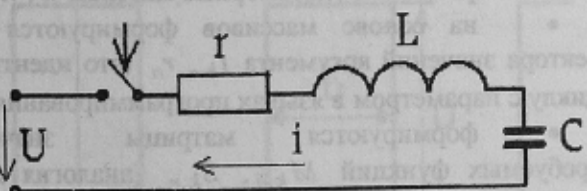


Рисунок 1 – Исследуемая электрическая схема.

Подготовительные расчеты. Критическое сопротивление  $r_{кр}$  определяется обычным “классическим” методом, что же касается корней характеристического уравнения  $p(r)$  и постоянных интегрирования  $A(r)$ , то они определены как вектор-функции пользователя [3], аргументом которых является параметр  $r$ .

$$r_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad p(r) = \begin{bmatrix} -\frac{r}{2L} + \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \\ -\frac{r}{2L} - \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \end{bmatrix}; \quad A(r) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ p_1(r) & p_2(r) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ U \end{bmatrix}.$$

Аналогично, как функция пользователя двух аргументов, формируется выражение для тока:

$$i(t, r) = \sum_{k=1}^2 A(r)_k \cdot e^{p(r)_k \cdot t} \quad (1)$$

Необходимо отметить, что MathCAD оперирует как с действительными, так и с комплексными числами, поэтому характер корней характеристического уравнения не окажет никакого влияния на вид решения (1) (исключением является ситуация с кратными корнями, однако ее можно обойти, изменив один из параметров цепи на малое значение).

Напряжение на реактивных элементах схемы:

$$u_L(t, r) = -L \cdot \frac{d}{dt} i(t, r); \quad u_C(t, r) = U - r \cdot i(t, r) - u_L(t, r). \quad (2-3)$$

\*) В подготовке примеров участвовали асс. Чкавский Г.С., студенты Черноус Е., Цвелов С., Яковенко.



Полученные функции (1) – (3) содержат полную информацию о динамических свойствах исследуемой цепи. Вопрос состоит в способе восприятия этой информации. При всем многообразии форм вывода результатов в пакете MathCAD (таблицы, матрицы и др.), наиболее наглядным, а с познавательной точки зрения наиболее информативным является вывод результатов в виде графиков (рис.2-5).

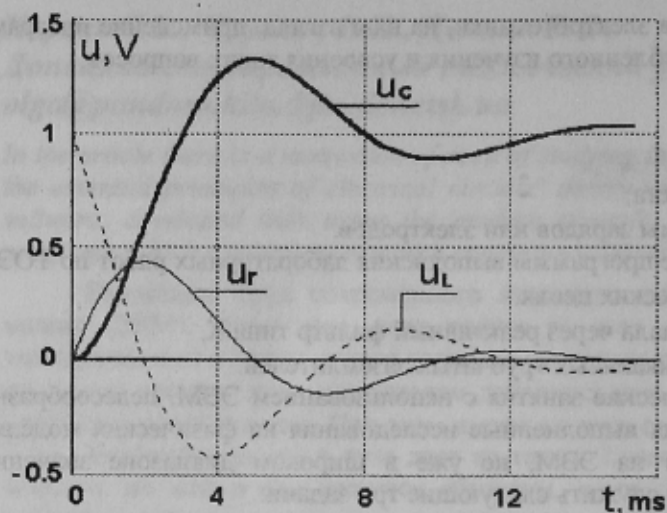


Рисунок 2 – Графики изменения напряжений на элементах цепи при  $r = r_{кр} / 3$ .

Для получения графиков с использованием встроенных процедур пакета MathCAD [3] достаточно задать интервал изменения одного из аргументов (например, время), вызвать шаблон требуемого типа графика (“включить” процедуру его построения), указать нужную функцию (1) – (3), задать значение параметра  $r$ .

Трехмерные графики (рис.4 и 5) являются одним из важных преимуществ системы MathCAD. Они позволяют анализировать и изучать процесс при одновременном изменении двух аргументов.

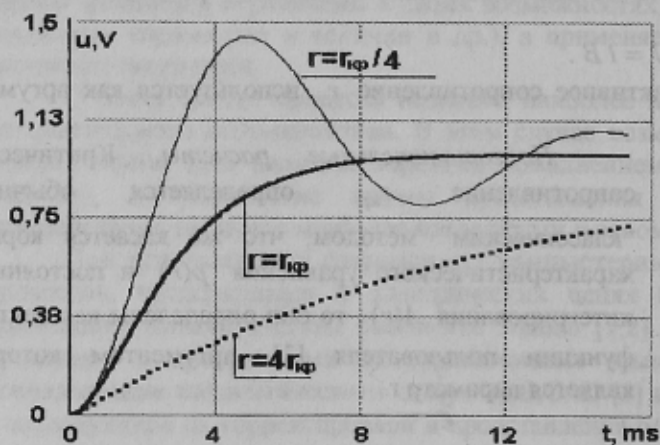


Рисунок 3 – Графики напряжения на емкости при различных значениях активного сопротивления

На рис.4 и рис.5 показаны трехмерные графики функций (1), и (3), которые формально несут ту же информационную нагрузку, что и двумерные графики (рис.2, 3), представляя эту информацию при плавном изменении обоих аргументов. В частности, кривые  $u_C(t)$  (рис.3) являются вертикальными сечениями более общего трехмерного графика (рис.5).

Трехмерные графики (рис.4, 5) с удобным выбранным масштабом, выполненные в красочной цветовой гамме, дают наглядную, легко воспринимаемую и запоминающуюся информацию.

Следует отметить одну особенность MathCAD, которая заключается в том, что этот пакет работает в операционной системе Windows 95 или 98, требующих применения компьютеров класса Pentium.

**Пример II\*.** Исследование свойств реактивного НЧ-фильтра, т.е. процесса прохождения периодического несинусоидального сигнала через реактивный фильтр позволяет в комплексе развить понимание и углубить знания обучающихся сразу по нескольким взаимосвязанным вопросам теоретической электротехники:

- представление периодической функции дискретным рядом Фурье;
- расчет параметров реального фильтра;

Хотя двумерные графики рис.2 и являются общеизвестными, следует обратить внимание на то, что между напряжениями  $u_r$ ,  $u_L$  и  $u_C$  имеется такая же связь, как между функцией и ее производной соответственно.

Характерные особенности зависимости напряжения на емкости в функции времени для трех различных значений активного сопротивления (рис.3) следующие:

а) рост активного сопротивления гасит колебания, переводя процесс с колебательного в аperiodический;

б) переходный процесс наиболее быстротечен в том случае, когда активное сопротивление  $r$  равно критическому значению.

Необходимо также отметить, что при  $r = r_{кр}$  функция (1) не работает, а соответствующая кривая получена при  $r = 1.0001 \cdot r_{кр}$ .

Для построения графиков необходимо создать двумерный массив (матрицу) значений соответствующей функции (1) и (3):

- задаются две целочисленные ранжированные переменные (одномерные массивы  $k, n$ );
- на основе массивов формируются два вектора значений аргумента  $t_k, r_n$  (это идентично циклу с параметром в языках программирования);
- формируются матрицы значений требуемых функций  $M_{k,n}, S_{k,n}$  (аналогия двум вложенным циклам):

$$k = 1..30, n = 1..25, t_k = \frac{\sqrt{LC}}{2} \cdot (k-1),$$

$$r_n = 9n, M_{k,n} = i(t_k, r_n), S_{k,n} = u_C(t_k, r_n).$$

Далее вызывается процедура построения трехмерных графиков.

• взаимосвязь выходного и входного напряжений фильтра (коэффициента усиления или передачи) по каждой гармонике.

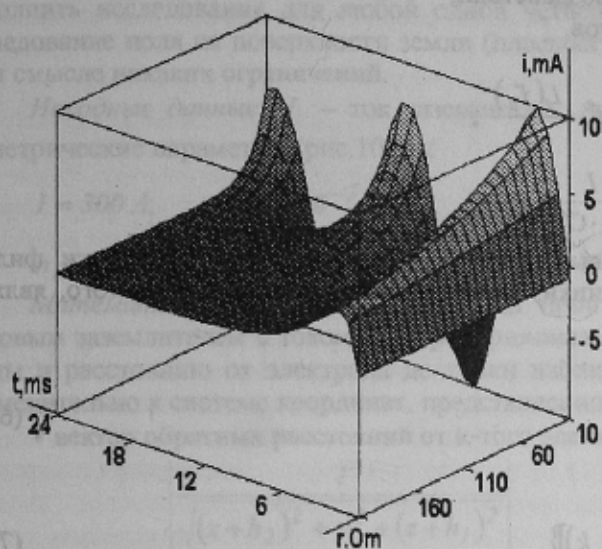


Рисунок 4 – График тока  $i = f(r, t)$

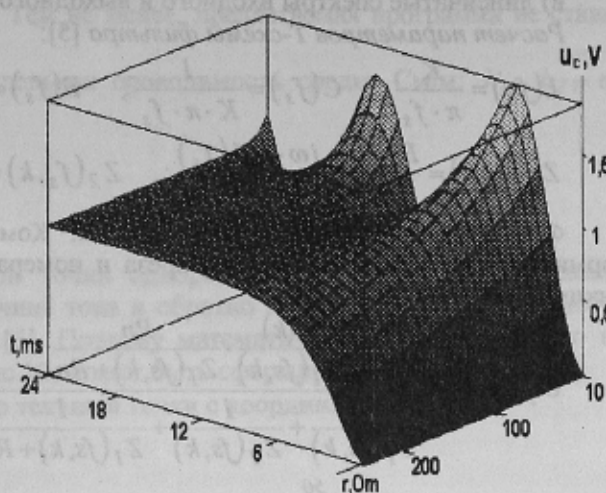


Рисунок 5 – График напряжения на емкости  $u_c = f(r, t)$

**Постановка задачи.** Известно, что динамические свойства произвольной системы могут быть оценены по ее реакции на так называемые типовые воздействия [3, 5]. К последним обычно относят единичный скачок (функция Хевисайда) и единичный импульс (функция Дирака). Частотные свойства, как правило, оценивают по частотным характеристикам. В данной работе ставится задача комплексного изучения как частотных, так и динамических свойств реактивного НЧ-фильтра. Поэтому в качестве воздействия взят периодический прямоугольный импульсный сигнал (рис.6), который в определенной мере совмещает свойства обеих "типовых" воздействий.

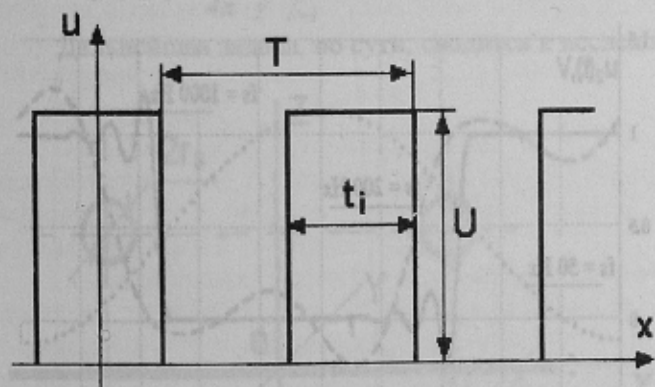


Рисунок 6 – Входной сигнал фильтра.

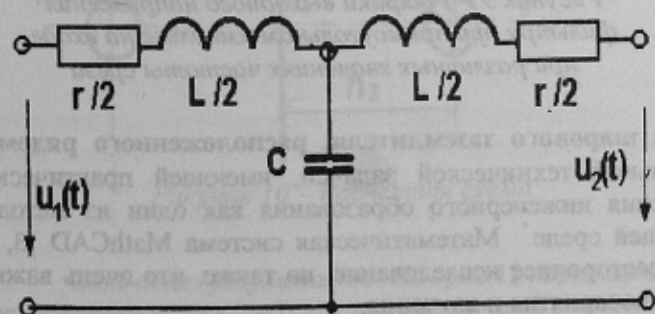


Рисунок 7 – Схема НЧ-фильтра.

Параметры входного сигнала приняты следующими:

$$U_0 = 1 \text{ В}; \quad T = 0,02 \text{ с}; \quad t_i = 0,5 \cdot T;$$

$$\alpha = \frac{t_i}{T}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

**Методика исследования.** Входной сигнал (рис.6), представлен разложением в ряд Фурье для мгновенных:

$$u(t) = U_0 \cdot \left[ \alpha + \frac{2}{\pi} \cdot \sum_{k=1}^m \frac{\sin(k \cdot \alpha \cdot \pi)}{k} \cdot \cos(k \cdot \omega t) \right] \quad (4)$$

и комплексных значений [1]:

$$U_{const} = U_0 \cdot \alpha; \quad U(k) = \frac{2U_0 \cdot \sin(k \cdot \alpha \cdot \pi)}{\pi \cdot k} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}}. \quad (5)$$

В качестве исходных данных фильтра (рис.7) приняты:

$K$  – параметр, величина которого равна сопротивлению нагрузки  $R_n$ ;

$Q$  – добротность катушек индуктивности (фильтр принят реальным). Частота среза  $f_s$  непосредственно не задается, а входит в качестве аргумента в функции пользователя. Расчет параметров Т-схемы фильтра выполняется по методике, изложенной в [5], а расчет выходных величин выполняется обычными методами теории цепей (с учетом того, что фильтр реальный).

В такой постановке расчет параметров и особенно выходных значений гармонических составляющих существенно усложняется, однако при использовании MathCAD это не имеет значения. Вывод результатов для различных значений частоты среза (при различной "ширине" полосы пропускания) осуществляется в следующих видах:



- а) амплитудная частотная характеристика;
- б) выходное напряжение при заданном импульсном воздействии;
- в) линейчатые спектры входного и выходного сигналов.

Расчет параметров T-схемы фильтра [5]:

$$L(f_s) = \frac{K}{\pi \cdot f_s}; \quad C(f_s) = \frac{1}{K \cdot \pi \cdot f_s}; \quad R(f_s) = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \frac{L(f_s)}{Q};$$

$$Z_1(f_s, k) = \frac{R(f_s) + j\omega \cdot k \cdot L(f_s)}{2}; \quad Z_2(f_s, k) = \frac{1}{j\omega \cdot k \cdot C(f_s)}.$$

Формирование функций пользователя. Комплекс выходного напряжения k-той гармоники фильтра сформирован как функция частоты среза и номера гармоники, а мгновенное значение, кроме того, является функцией времени:

$$U_2(f_s, k) = \frac{\frac{U(k)}{Z_1(f_s, k)} \cdot \frac{R_n}{Z_1(f_s, k) + R_n}}{\frac{1}{Z_1(f_s, k)} + \frac{1}{Z_2(f_s, k)} + \frac{1}{Z_1(f_s, k) + R_n}}, \quad (6)$$

$$u_2(t, f_s) = U_{const} + \sum_{k=1}^{50} |U_2(f_s, k)| \cdot \sin\{k \cdot \omega t + \text{Arg}[U_2(f_s, k)]\}. \quad (7)$$

Зависимости (4) – (7) являются основными составляющими математической модели исследуемой системы в данной постановке задачи.

Основные результаты исследования. На рис.8 приведены амплитудные частотные характеристики фильтра, полученные как зависимость модуля функции (6) от номера гармонической составляющей, деленной на период входного сигнала (при этом аргументом становится частота в герцах). Полученные графики наглядно показывают "расширение" полосы пропускания фильтра при увеличении аргумента функции пользователя - частоты среза. Необходимо отметить, что при использовании данной модели в качестве объекта исследования на лабораторной работе в ней могут применяться добавочные аргументы – сопротивление нагрузки, добротность катушек и др. (в данном варианте они постоянны).

На рис.9 приведены графики выходного напряжения фильтра.

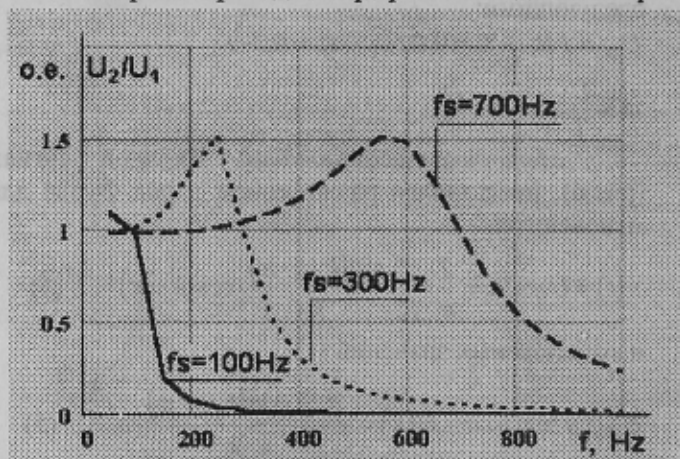


Рисунок 8 – Амплитудно-частотные характеристики фильтра при различных значениях частоты среза

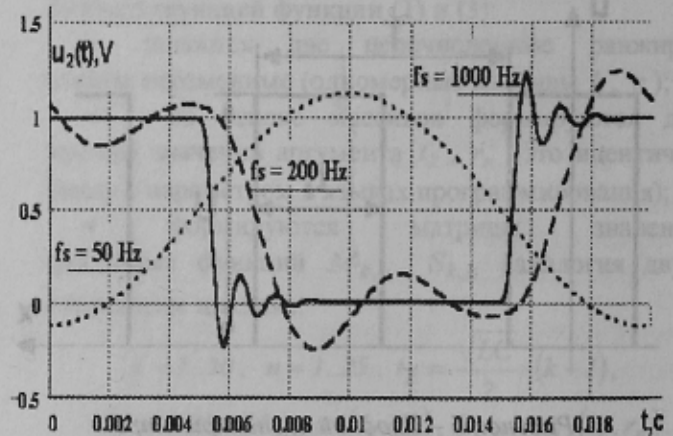


Рисунок 9 – Графики выходного напряжения фильтра при прямоугольном импульсе на входе при различных значениях частоты среза

**Пример III\***. Исследование поля потенциала шарового заземлителя, расположенного рядом с вертикальным обрывом является не только актуальной технической задачей, имеющей практическое значение, но также представляет интерес с точки зрения инженерного образования как один из методов изучения электромагнитного поля в реальной проводящей среде. Математическая система MathCAD [3, 4] позволяет не только решить эту задачу и провести ее всестороннее исследование, но также, что очень важно, представить результаты в наглядной форме, удобной для восприятия и изучения.

Постановка задачи. Данная программа предусматривает исследование поля потенциала одиночного шарового заземлителя, расположенного вблизи вертикального обрыва (рис.10), что с точки зрения граничных условий идентично полю двух смежно расположенных, одинаковых шаровых заземлителей.

Методика исследования. Граничные условия в данной системе останутся неизменными, если симметрично данному в задании электроду расположить другие такие же, причем плоскостями симметрии (рис.10) являются поверхность земли и поверхность обрыва. В этом случае пространство становится однородным и потенциал произвольной его точки определяется согласно принципу наложения как результат

воздействия всех четырех электродов. В качестве нулевого принят потенциал точки, удаленной в бесконечность. Симметрия рассматриваемого поля относительно всех координатных плоскостей позволяет выполнить исследование для любой одной четверти пространства. Основное практическое значение имеет исследование поля на поверхности земли (плоскость  $xOy$ ). Тем не менее, предлагаемая программа не ставит в этом смысле никаких ограничений.

Исходные данные:  $I$  – ток заземлителя, А;  $\gamma$  – удельная проводимость среды, См/м;  $h_1, h_2, r_0$  – геометрические параметры (рис. 10), м:

$$I = 300 \text{ А}; \quad \gamma = 1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{См}}{\text{м}};$$

$$h_1 = 1 \text{ м}; \quad h_2 = 1 \text{ м}; \quad r_0 = 0,1 \text{ м}.$$

Математическая модель. Потенциал произвольной точки однородного пространства, создаваемый шаровым заземлителем с током  $I$ , пропорционален величине тока и обратно пропорционален проводимости среды и расстоянию от электрода до точки наблюдения [6]. Поэтому математическая модель данного поля применительно к системе координат, представленной на рис. 10, может быть сформирована как:

- вектор обратных расстояний от  $k$ -того электрода до текущей точки с координатами  $x, y, z$ :

$$a(x, y, z) = \frac{I}{\sqrt{(x+h_2)^2 + y^2 + (z+h_1)^2}} + \frac{I}{\sqrt{(x+h_2)^2 + y^2 + (z-h_1)^2}} + \frac{I}{\sqrt{(x-h_2)^2 + y^2 + (z-h_1)^2}} + \frac{I}{\sqrt{(x-h_2)^2 + y^2 + (z+h_1)^2}}; \quad (8)$$

- функция пользователя, определяющая потенциал текущей точки с координатами  $x, y, z$ :

$$\Psi(x, y, z) = \frac{I}{4\pi \cdot \gamma} \cdot \sum_{i=1}^4 a(x, y, z)_i. \quad (9)$$

Дальнейшая задача, по сути, сводится к исследованию функции (9).

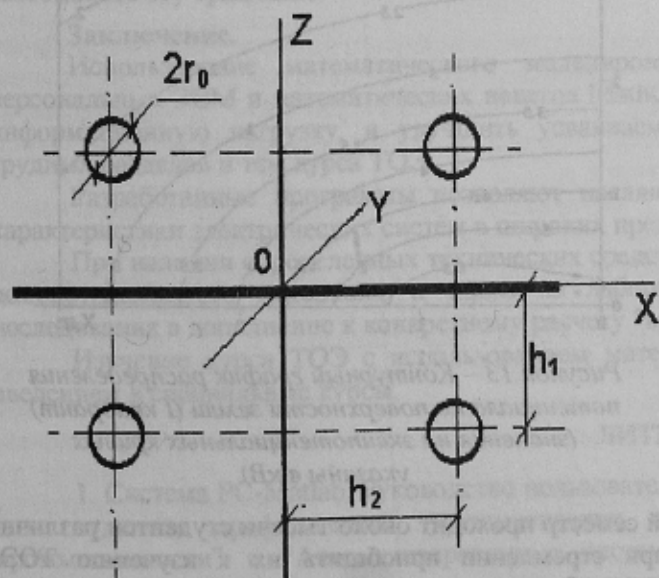


Рисунок 10 – Расчетная схема

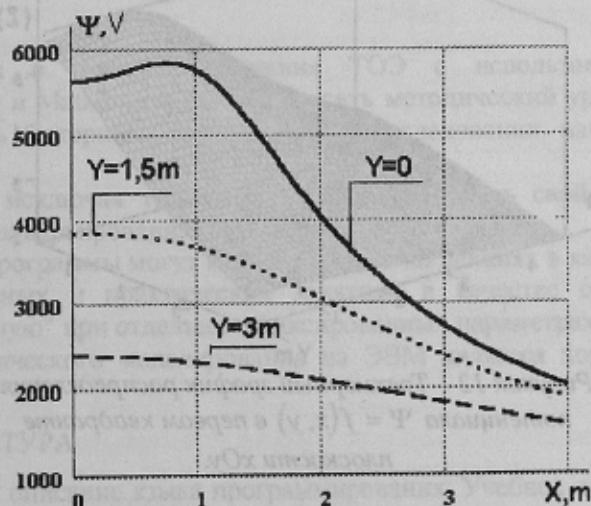


Рисунок 11 – Зависимость потенциала системы на поверхности земли для трех различных точек наблюдения

Основные результаты. На рис.11 приведены зависимость потенциала  $\Psi$  от  $x$  – координаты на поверхности земли ( $z=0$ ) для трех различных значений  $Y$  (0, 1,5 и 3 м):

1. Точки наблюдения находятся на поверхности земли непосредственно над линией расположения зарядов (ось  $x$  рис.10), максимальное значение потенциала соответствует положению “над электродом” и незначительно снижается в сторону обрыва ( $x=0$ ).

2. Точки наблюдения сдвинуты относительно начала оси  $x$  на 1,5 м ( $Y=1,5$  м). В этом случае наблюдается заметное снижение потенциала в области  $0 < x < 3$  м;

3. В случае  $Y=3$  м имеет место плавное снижение потенциала по сравнению с предыдущими вариантами.



Система MathCAD позволяет исследовать функцию (9) при помощи трехмерных графиков. Для этого, согласно [3], необходимо создать матрицу значений потенциала в требуемой области (при симметрии системы исследования выполняются только для одного квадранта), которая может быть ограничена следующими значениями переменных:

$$0 < x < 3\text{ м}, 0 < y < 3\text{ м}. \quad (10)$$

Далее формируются ранжированные переменные  $i, j$ , векторы  $x_i, y_j$ , которые, являясь аргументами функции (9), создают матрицу значений потенциала  $S_{i,j}$ :

$$i = 1..50; \quad j = 1..40; \quad x_i = \frac{3\text{ м}}{50} \cdot i; \quad y_j = \frac{3\text{ м}}{40} \cdot j; \quad S_{i,j} = \frac{\Psi(x_i, y_j, 0\text{ м})}{10^3},$$

после чего может включаться процедура построения трехмерного графика.

Для интервалов значений аргументов (10) представлен трехмерный график зависимости потенциала на поверхности земли (рис.12), который применительно к задачам теории поля является наиболее наглядной формой представления сложных исследуемых функциональных зависимостей, когда система MathCAD оказывается незаменимой. Двумерные графики (рис.11) можно интерпретировать как вертикальные сечения трехмерного графика (рис.12) при соответствующих значениях координаты  $Y$ .

Для строгой количественной оценки поля потенциала и анализа уровня потенциалов в различных фиксированных точках наблюдения рационально применение двумерного контурного графика (рис.13), линии равного потенциала которого можно получить в результате горизонтальных сечений трехмерного графика (рис.12) при различных значениях координаты по вертикальной оси.

Полученный контурный график (рис.13) позволяет дать более строгую количественную оценку поля потенциала, его градиента, так называемого "шагового напряжения", которая раскрывает саму физическую суть понятия "шаговое напряжение", и имеет большое практическое значение для определения степени опасности нахождения вблизи исследованного заземлителя. Для последних двух величин (градиента потенциала и шагового напряжения) может оказаться целесообразным формирование специальных функций пользователей.

Опыт показывает, что видение результатов исследований в широком диапазоне варьирования параметров электрической схемы с представлением этих результатов в графическом виде дает особенный эффект познания логики исследованного и его запоминания, что, естественно, закономерно.

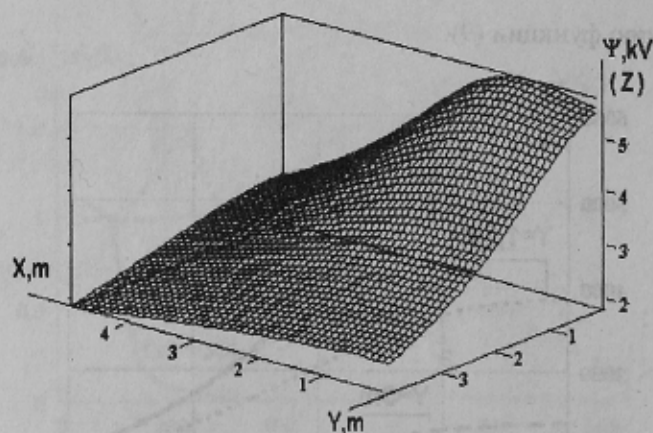


Рисунок 12 – Трехмерный график распределения потенциала  $\Psi = f(x, y)$  в первом квадранте плоскости  $xOy$ .

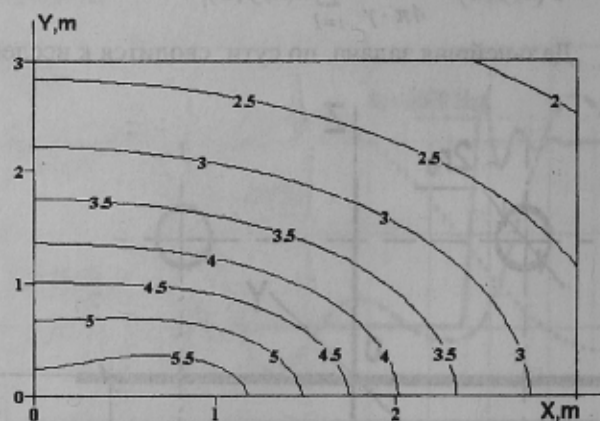


Рисунок 13 – Контурный график распределения потенциала на поверхности земли (I квадрант) (значения на эквипотенциальных кривых указаны в кВ)

Через лаборатории кафедры ТОЭ ДонГТУ каждый семестр проходит около тысячи студентов различных специальностей. Такой огромный поток студентов при стремлении приобщить их к изучению ТОЭ с применением ЭВМ требует соответствующей организации учебного процесса. Опрос студентов на потоках, где читается курс ТОЭ, показывает, что, к большому сожалению, современные персональные компьютеры в личном пользовании имеют лишь 5% студентов. В таком случае очень важным является создание компьютерных аудиторий, куда каждый студент имел бы доступ в удобное для него время с тем, чтобы выполнить необходимый ему объем расчетов по лабораторным, расчетно-графическим и курсовым работам. Итак, в первую очередь необходимо во всей полноте создать:

- методические пособия, методические указания к проведению соответствующих лабораторных и практических занятий с использованием персональных ЭВМ;
- программное обеспечение на дискетах или в базе данных ЭВМ;
- хорошо оборудованные компьютерные аудитории, расположенные в непосредственной близости от лабораторий кафедры ТОЭ;

• факультетские компьютерные аудитории, оборудованные новейшими ЭВМ и средствами вывода результатов выполненных расчетов и исследований, которые должны быть общедоступными для студентов после сдачи ими обязательного минимума как пользователей ЭВМ и получения необходимого в этом случае допуска.

Одним из вариантов решения этой задачи могла бы быть также организация компьютерных аудиторий на базе существующих лабораторий, где проводятся лабораторные работы (исследования), а также практические занятия. В этом есть то положительное, что преподаватель после дачи априорной информации, после решения "вручную" соответствующей задачи и определения возможных или рациональных диапазонов изменения воздействующих параметров, мог бы сформулировать студентам задание для выполнения его на ЭВМ. Студенты, используя соответствующее программное обеспечение (например, в виде отдельных файлов на дискетах), выполняют необходимые исследования. После этого (15-20 мин.) преподаватель, апеллируя к полученным результатам и их графическому отображению, мог бы проанализировать полученные результаты и сформулировать общие выводы.

Указанный методический прием особенно важно использовать из-за чрезвычайно малого времени, отводимого учебными программами на практические и лабораторные занятия. Кроме этого, преподаватели, отходя от общих теоретических постановок задач, преследуя практические цели, делают ТОЭ в сочетании с моделированием и исследованиями различных задач электротехники на математических моделях в большой степени привлекательной дисциплиной. Они показывают при этом, что ТОЭ есть инженерно-ориентирующий курс, а математическое моделирование электромагнитных процессов с использованием ЭВМ есть эффективное средство исследования электромагнитных цепей и электротехнических устройств различного назначения. Внедрение в вузовскую учебную практику преподавания ТОЭ с применением ЭВМ уже на третьем-пятом семестрах является хорошим введением в специальные курсы на последующих семестрах.

Здесь идет речь об университетах, в которых готовится основная масса специалистов инженерного корпуса для промышленности, сельского хозяйства и других отраслей. Элитные университеты в силу известных причин не имеют ряда ограничений, в то время как большая часть государственных технических университетов испытывает существенные трудности в финансовых средствах, в компьютеризации процесса обучения.

Для ускорения компьютеризации и совершенствования изучения курса ТОЭ следовало бы организовать, наладить межвузовские связи и обмен уже имеющимися наработками в методическом и программном обеспечении, имеющимся опытом организации и внедрения изучения курса ТОЭ с применением ЭВМ. В прошлом были регулярными ежегодные заседания (семинары) межвузовских методических советов по ТОЭ, на которых и обсуждались аналогичные вопросы и осуществлялась координация методических работ. Хорошо бы возобновить эту традицию.

#### **Заключение.**

Использование математического моделирования в процессе изучения ТОЭ с использованием персональных ЭВМ и математических пакетов MathCAD и Matlab позволяет повысить методический уровень, информационную нагрузку, и улучшить усваиваемость материала при изучении, исследовании наиболее трудных разделов и тем курса ТОЭ.

Разработанные программы позволяют наглядно, исключая трудоемкие расчеты, изучать свойства и характеристики электрических систем в широких пределах варьирования параметров.

При наличии определенных технических средств программы могут использоваться на лекциях в качестве демонстрационного материала, а также на лабораторных и практических занятиях в качестве средств исследования в дополнение к конкретному расчету "вручную" при отдельных фиксированных параметрах.

Изучение курса ТОЭ с использованием математического моделирования на ЭВМ является хорошим введением в специальные курсы.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Система PC-Matlab. Руководство пользователя и описание языка программирования: Учебное пособие для студентов профилизиаций "Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности" и "Автоматизированные системы обработки информации и управления". Часть 1 / А.Г.Бабенко, М.Г.Бабенко; Уральская госуд. горно-геол. академия. Кафедра автоматизации производственных процессов. - Екатеринбург: Изд. УГТГА, 1996, - 93с.
2. Низельник В.А., Чекавский Г.С. Возможности исследования и анализа переходных процессов в электрических цепях с использованием программного пакета Matlab 4.2 / Взрывозащищенное электрооборудование (исследование и разработки). Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. - Донецк, 1998. - С. 127-134.
3. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD Plus 7.0 Pro - М.: СК "Пресс", - 1998, 352с.
4. Очков В.Ф. MathCAD plus 6.0 для студентов и инженеров. - М.: ТОО фирма "Компьютер Пресс", 1996. - 238 с.
5. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. Учебник для вузов. - М., Энергия, 1969. - 424 с.
6. Атабеков Г.И. и др. Теоретические основы электротехники. Ч.2 и 3. Учебник для вузов. - М. - Л., Энергия, 1966. - 280 с.