Литература:

1. Балсанова Л.Н. Применение информационных технологий в учебном процессе // Система планирования образовательных услуг в учреждениях профессионального образования Ханты-Мансийского АО – Югры. Ханты-Мансийск, 2010. 281 с.
2. Витенко М.Ю. Использование современных педагогических и информационных технологий в образовательном процессе для активизации творческого потенциала студентов Нижневартовского нефтяного техникума – филиала ГОУ ВПО «Югорский государственный университет» // Система планирования образовательных услуг в учреждениях профессионального образования Ханты-Мансийского АО – Югры. Ханты-Мансийск, 2010. 281 с.
3. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие для студ. пед. вузов и системы повыш. квалиф. пед.кадров /Е.С.Полат, М.Ю.Бухаркина и др.; под ред. Е.С.Полат. 2-е изд., стер.. М., 2005.
4. Подловилин А.В. Учебная среда образовательного учреждения // Система планирования образовательных услуг в учреждениях профессионального образования Ханты-Мансийского АО – Югры. Ханты-Мансийск, 2010. 281 с.
5. Симонов В.П. Педагогический менеджмент: учебное пособие. М.: Педагогическое общество, 1999. 430 с.

Майер Р.В.
Глазовский государственный педагогический институт
г. Глазов

Компьютерное моделирование при изучении электротехники

Изучение основ электротехники предусматривает расчет электрических цепей постоянного и переменного тока, изучение процессов в цепях с периодическими негармоническими ЭДС, переходных процессов, магнитных цепей и т.д. Для решения этих задач может быть использован компьютер. В статье предложены три компьютерные программы, позволяющие промоделировать два интересных процесса: 1) намагничивание ферромагнетика; 2) выпрямление переменного тока и сглаживание пульсаций.

1. Намагничивание ферромагнетика. При изучении кривой намагниченности $B(H)$ и петли гистерезиса анализируют следующий опыт. Ферромагнитный стержень вставляют в обмотку из n витков, которая подключена к источнику тока. Увеличивают силу тока I в обмотке, измеряют индукцию B магнитного поля. Затем уменьшают силу тока, пропускают ток в противоположном направлении, увеличивая и затем уменьшая его до нуля. Необходимо создать компьютерную модель намагничивания и перемагничивания ферромагнетика.

Рассмотрим двумерную модель ферромагнетика, состоящую из прямоугольной сетки N x M (кристаллической решетки), в узлах которой находятся атомы с магнитным моментом p. Сначала магнитное поле отсутствует, ферромагнетик полностью размагничен, магнитные моменты атомов ориентированы произвольно, образуя с осью OX случайные углы $\alpha_{i,j}$.

Если ось x сонаправлена с силовой линией магнитного поля, то среднее значение индукции:

$$B_{SR} = \mu_0 H + \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} p_{ij} \cos \alpha_{ij} ,$$

где $H = nI$ — напряженность магнитного поля, α_{ij} — угол между магнитным моментом $\vec{p}$ и осью OX. Индукция магнитного поля B_{ij} в данном узле сетки обусловлена внешним полем обмотки $\mu_0 H$ и магнитным полем, создаваемым соседними атомами. В проекции на ось OX:

$$B_{i,j} = \mu_0 H - a(\cos \alpha_{i-1,j} + \cos \alpha_{i+1,j} + \cos \alpha_{i,j-1} + \cos \alpha_{i,j+1}).$$

Со стороны магнитного поля на атом, находящийся в узле (i, j), действует вращающий момент $M_{VR} = B_{i,j} p \sin \alpha_{i,j}$. При повороте атома возникает момент “упругих сил”, препятствующий повороту. В результате действия этих моментов, а также сил внутреннего трения, атом поворачивается на $\Delta\alpha = kM_{VR}$, и угол $\alpha_{i,j}$ становится равным $\alpha_{i,j}^{t+1} = \alpha_{i,j}^{t} + \Delta\alpha + x$. Здесь x — небольшая случайная величина в интервале $[-0{,}1;\ 0{,}1]$, учитывающая хаотические колебания атомов в узлах кристаллической решетки. Давая случайное приращение x углу $\alpha_{i,j}$, мы как бы “встряхиваем” нашу модель, предоставляем возможность найти более “удачные” значения $\alpha_{i,j}$. Это важно еще и потому, что в анализируемой модели число атомов существенно меньше, чем в реальном ферромагнитном стержне.

Суть вычислительного эксперимента состоит в плавном увеличении напряженности магнитного поля и пересчете $\alpha_{i,j}$ у всех атомов с нахождением соответствующих средних значений индукции магнитного поля B_{SR}. В результате на плоскости B от H получится кривая намагниченности с характерным горизонтальным участком, соответствующим магнитному насыщению, когда магнитные моменты всех атомы ориентированы по полю. Для получения петли гистерезиса необходимо, чтобы напряженность поля H совершила одно гармоническое колебание.

Представленная ниже программа ПР–1 содержит цикл по времени t, в котором пересчитываются H, $\alpha_{i,j}$, B_{SR} и строится зависимость $B(H)$. Аналогичным образом можно промоделировать поляризацию сегнетоэлектриков.

```
uses crt, graph;                                  { ПР - 1 }
const dt=0.01; N=100; a=1; a1=0.02; pm=3.4; pi=3.14; M=200;
var i,j,DV,MV: integer;
Mvr,Mupr,H,S,B,Bsr,x,t,dal: real;
alfa: array[1..M,1..10] of real;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,'c:\bp\bgi'); Randomize;
For i:=1 to M do For j:=1 to 10 do
alfa[i,j]:=2*pi*random(100)/100;
Repeat t:=t+dt; H:=0.7*sin(0.0015*t*N);
  For i:=2 to M-1 do For j:=2 to 9 do begin
  If (i>1)and(i<100) then B:=a*H+a1*(cos(alfa[i-1,j])+
  cos(alfa[i+1,j])+cos(alfa[i,j-1])+cos(alfa[i,j+1]));
  Mvr:=B*pm*sin(alfa[i,j]); dal:=-0.01*Mvr;
  x:=random(200)/1000-0.1;
  alfa[i,j]:=alfa[i,j]+dal+x; end; S:=0;
  For i:=1 to M do For j:=1 to 10 do S:=S+pm*cos(alfa[i,j]);
  Bsr:=a*H+a1*S; line(0,240,640,240);
  circle(320+round(H*100),240-round(Bsr*2),1);
until (KeyPressed); CloseGraph;
END.
```

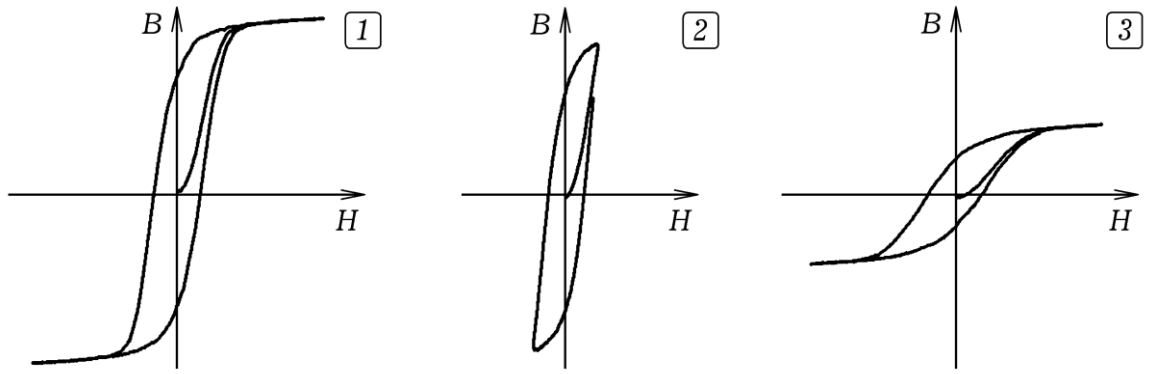

Рис. 1. Результаты моделирования магнитного гистерезиса.

<u>Задача 1.1.</u> Методами компьютерного моделирования изучите процесс намагничивания ферромагнетика, получите кривую намагниченности и петлю гистерезиса. Как изменятся результаты, если уменьшить амплитуду колебания тока через обмотку. Необходимо запустить программу ПР–1 и подождать пока на экране строится петля гистерезиса (рис. 1.1). Шаг по времени должен быть достаточно мал. При уменьшении амплитуды колебаний напряженности поля получается петля гистерезиса, изображенная на рис. 1.2.

<u>Задача 1.2.</u> С помощью компьютерной модели исследуйте зависимость формы петли гистерезиса от величины магнитного момента p атомов ферромагнетика. Если уменьшить магнитный момент атомов p в 2 – 3 раза (от 3,4 до 1,4), то уменьшится индукция магнитного поля, соответствующая насыщению, петля гистерезиса сожмется по вертикали (рис. 1.3).

2. Компьютерная модель выпрямителя с фильтром. Выпрямитель состоит из трансформатора, к вторичной обмотке которого подключен диод $VD1$ и резистор нагрузки R (рис. 2.1). Параллельно с резистором соединен

конденсатор C, сглаживающий пульсации. Создадим компьютерную модель выпрямителя, получим график зависимости тока $i_D(t)$ через диод и напряжения U_N на нагрузке от времени.

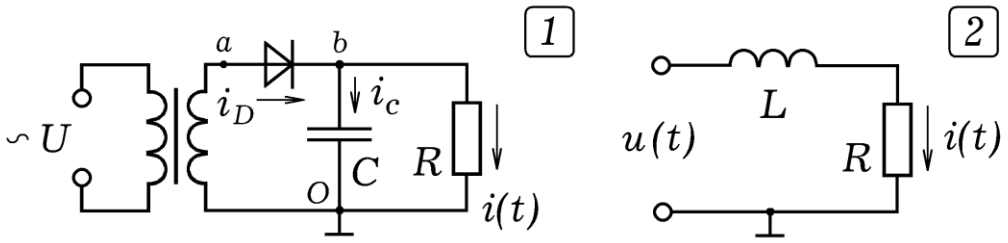

Рис. 2. Выпрямитель с емкостным фильтром. Индуктивный фильтр.

По первичной обмотке трансформатора течет ток $i_1(t) = I_m \sin(\omega \cdot t)$. ЭДС индукции во вторичной обмотке $e_2(t) = M di_1 / dt$. Будем считать, что $\varphi_O = 0$, тогда $\varphi_a = e_2(t)$. Диод имеет одностороннюю проводимость, его сопротивление равно:

$$R_D = \begin{cases} 500/(\varphi_a - \varphi_b), & \varphi_a \geq \varphi_b, \\ 10000, & \varphi_a < \varphi_b. \end{cases}$$

Через диод течет ток $i_D = (\varphi_a - \varphi_b) / R_D$. Токи через нагрузку и конденсатор равны $i_N = \varphi_b / R_N$ и $i_C = i_D - i_N$. За время Δt конденсатор увеличивает свой заряд на величину $\Delta q_C = i_C \Delta t$. Потенциал точки b равен напряжению на резисторе нагрузки $\varphi_b = q / C = i_N R_N = u_N$.

Теперь рассмотрим выпрямитель, к выходу которого подключен индуктивный фильтр, состоящий из катушки индуктивности L, включенной последовательно с нагрузкой R (рис. 2.2). Из второго закона Кирхгофа следует

$$u_2(t) = iR + L\frac{di}{dt},$$

где u_2 — пульсирующее напряжение, получающееся в результате выпрямления.

Для компьютерного моделирования работы выпрямителя с емкостным фильтром используется программа ПР–2. Она содержит цикл по времени, в котором вычисляются значения токов i_D, i_C, i_N и напряжений $u_2 = e_2$, u_N в последовательные моменты времени, и строятся соответствующие графики.

```
uses crt, graph;                                    { ПР - 2 }
const N1=1000; dt=0.0001; S=0.001; R=10; N2=1000;
M=0.6; r2=5; Rn=350; C=0.002;
var DV,MV,EC: integer;
q,e2,un,fia,Rd,i1,i11,t,id,ic,inag: real;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,'c:\bp\bgi');
Repeat t:=t+dt; i11:=i1;
  i1:=10*(1-0*exp(-t))*sin(t*10); e2:=M*(i1-i11)/dt;
  If e2>fia then Rd:=500/(e2-fia) else Rd:=10000;
  id:=(e2-fia)/Rd; inag:=fia/Rn; ic:=id-inag;
  q:=q+ic*dt; fia:=q/C; un:=inag*Rn;
  circle(10+round(150*t),240-round(60*id),2);
  circle(10+round(150*t),240-round(3*un),1);
  circle(10+round(150*t),240-round(3*e2),1);
until (t>70)or(KeyPressed); CloseGraph;
END.
```

Задача 2.1. Промоделируйте работу однополупериодного выпрямителя. Изучите зависимость амплитуды пульсаций выпрямленного напряжения от частоты f переменного напряжения, емкости C сглаживающего конденсатора и сопротивления R резистора нагрузки. Для решения задачи используется программа ПР–2, результат — на рис. 3.1. Изменяя частоту напряжения питания, емкость конденсатора и сопротивление нагрузки, можно установить, что при увеличении частоты f, емкости C и сопротивления R амплитуда пульсаций уменьшается.

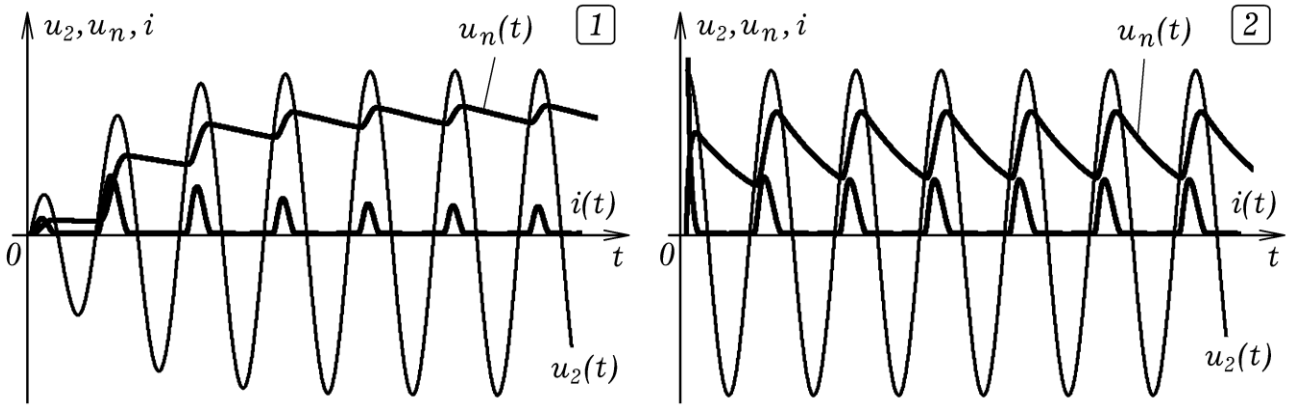

Рис. 3. Расчет работы выпрямителя с фильтром на компьютере.

<u>Задача 2.2.</u> Создайте компьютерную модель двухполупериодного выпрямителя с индуктивным фильтром, состоящим из катушки индуктивности, соединенной последовательно с нагрузкой. Допустим, однополярное пульсирующее напряжение $u_2(t)$ подается на индуктивный фильтр, состоящий из катушки индуктивности L, включенной последовательно с нагрузкой R (рис. 2.2). Из второго закона Кирхгофа следует, что $u_2(t) = iR + Ldi/dt$, где $u_2(t) = U_m |\sin \omega \cdot t|$. Перейдем к конечным разностям:

$$u_2^t = i^t R + L\frac{i^{t+1} - i^t}{\Delta t}, \qquad i^{t+1} = i^t + \frac{u^t - i^t R}{L}\Delta t.$$

Используется программа ПР–3, результаты моделирования представлены на рис. 4.

```
uses crt, graph;                                  { ПР - 3 }
const dt=0.00002; Rn=20; L=0.2; Mt=6000;
var DV,MV,EC : integer; u2,un,i,t,t1: real;
BEGIN DV:=Detect; InitGraph(DV,MV,'c:\bp\bgi');
Repeat t:=t+dt; u2:=20*abs(sin(314*t));
  i:=i+(u2-i*Rn)*dt/L; un:=i*Rn;
  circle(10+round(Mt*t),440-round(10*u2),1);
  circle(10+round(Mt*t),440-round(400*i),1);
  circle(10+round(Mt*t),440-round(10*un),2);
until (t>70)or(KeyPressed); CloseGraph;
END.
```

Задача 2.3. Методом компьютерного моделирования изучите зависимость амплитуды пульсаций от частоты напряжения, индуктивности катушки и сопротивления нагрузки. Проводя серию вычислительных экспериментов при различных частоте f, индуктивности L, сопротивлении R, можно убедиться в том, что при увеличении f и L и уменьшении R амплитуда пульсаций уменьшается.

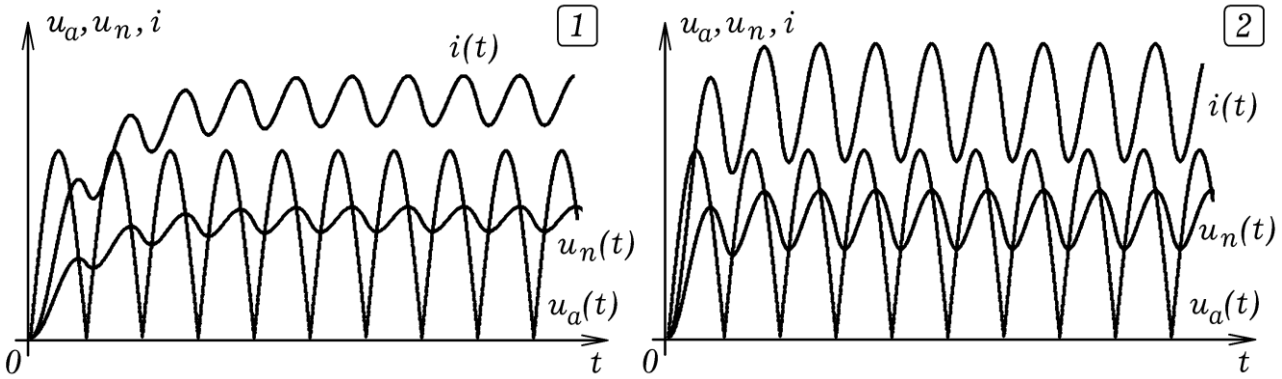

Рис. 4. Сглаживание пульсаций с помощью индуктивного фильтра.

Использование этих и аналогичных им компьютерных моделей на учебных занятиях, при выполнении курсовых и дипломных работ облегчает формирование наглядных образов и понимание сущности изучаемых процессов, позволяет освоить методы компьютерного моделирования.

Литература:

1. Майер Р.В., Кощеев Г.В. Учебные исследования по электротехнике и электронике / Под ред. Р.В.Майера. — Глазов: ГИЭИ, 2010. — 72 с. (Режим доступа: rmajer.narod.ru).
2. Майер Р.В. Компьютерное моделирование физических явлений. — Глазов: ГГПИ, 2009. — 112 с. (Режим доступа: maier-rv.glazov.net, komp-model.narod.ru).