

ГАЖК «Узбекистон темир йуллари»
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

Реферат

По теме «**Построение математической модели электрической схемы цепи управления ТЭД в программе MatLab**».

По предмету: Автоматизация и управление ЭПС

Выполнил
Ст. 4 курса гр. ЕМ-477
Грачёв Андрей

Ташкент 2010

ВВЕДЕНИЕ



На электровозе ВЛ10 установлено по восемь тяговых двигателей. Тяговые двигатели имеют последовательное возбуждение, опорно-осевое подвешивание, принудительную вентиляцию и мощность при часовом режиме 670 кВт. Вращающий момент от тягового двигателя на колесные пары передается двусторонней одноступенчатой цилиндрической косозубой передачей.

Для регулирования частоты вращения тяговых двигателей предусмотрены три вида их соединения: последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П). Кроме этого, на всех этих соединениях предусмотрена работа тяговых электродвигателей при ослабленном возбуждении с коэффициентами возбуждения 0,75, 0,55, 0,43, 0,36. Электрические цепи электровоза получают питание от контактного провода через токоприемники, обеспечивающие надежный токосъем при любых скоростях движения электровоза.

Тяговые электродвигатели

Режим работы тяговых электродвигателей (ТЭД)- двигательный или генераторный- а также способ их возбуждения определяется заданным типом ЭПС и поставленной задачей автоматического регулирования.

Номинальные величины напряжения $U_{дн}$, тока $I_{дн}$, частоты вращения n_n соответствуют часовому режиму при последовательном возбуждении с номинальным коэффициентом ослабления возбуждения β_n

Электромагнитные процессы в электрических цепях протекают значительно быстрее по сравнению с процессом изменения скорости движения ЭПС. Поэтому при проектировании САР тока тяговых электродвигателей можно считать скорость движения ЭПС постоянной, равной заданному значению v_0 , и уравнение равновесия моментов на валу ТЭД можно не рассматривать.

При независимом возбуждении ТЭД ЭПС постоянного тока в цепь якорей включают буферные реакторы. Эти реакторы предназначены для уменьшения скорости нарастания тока якорей в переходных режимах.

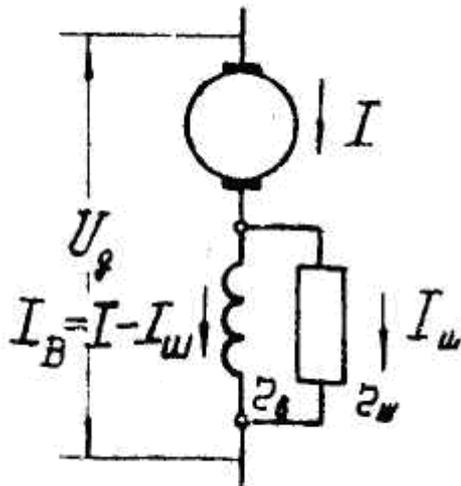


Рис 1.

ЗАДАЧА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА.

При ослаблении возбуждения происходит изменение величины тока в цепи. Для возможности оценки коммутационных условий при таких переходных процессах требуется знание изменения во времени тока двигателя $I(t)$, и потока $\Phi(t)$. Эти функции определяются изменением величины вихревых токов в массивных частях магнитопровода машины (станина и полюса) и величиной индуктивностей её обмоток.

Задачей инженерного расчета является исследование изменения тока и магнитного потока, происходящие во время ослабления возбуждения с тиристорным управлением.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ РАСЧЕТНАЯ СХЕМА, ЕЁ ОПИСАНИЕ,

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ.

Основные технические данные Электровоза ВЛ 10 необходимые для моделирования (двигателя ТЛ-2К1).

$U_{дн}=1500$ В- номинальное напряжение двигателя;

$I_{дн}=480$ А – номинальный ток двигателя;

$N_n=790$ об/мин – номинальная частота вращения;

$R_я=0.032$ Ом- сопротивление обмоток якоря;

$U_c=3600$ В – напряжение в сети.

$r_c=0.2$ активное сопротивление цепи;

$V=70$ км/ч скорость движения поезда;

$C_v=300$ км/ч*с конструкционная постоянная;

$r_{vx}=0.01$ Ом- активное сопротивление вихревых токов;

$L_c=0.006$ Гн – индуктивность сети;

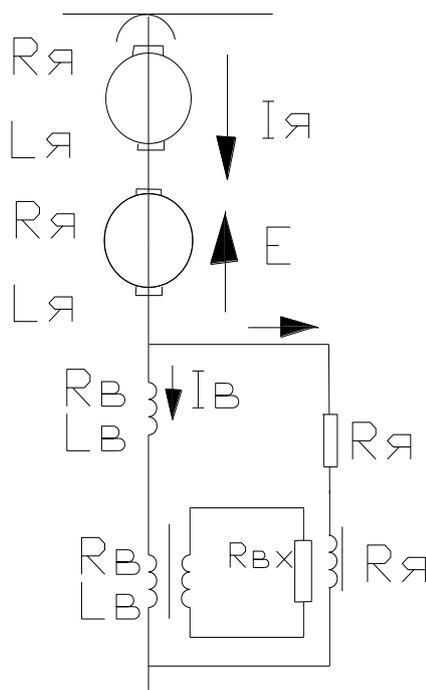
$L_я=0.003$ Гн – индуктивность обмоток якоря;

$p=6$ число пар полюсов;

$r_v=0.003$ Ом – сопротивление обмотки якоря;

$W_v=19$ число витков полюсной катушки;

Эквивалентная расчётная схема



Зависимость магнитного потока от тока:

I, А	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
C_v	7.3	11.	16.	20	22.	24.	26	27	28	2
Φ , А/м		8	2		9	8	.3	.5	.6	9.5

СОСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.

Система дифференциальных уравнений составляется по законам Кирхгофа
Уравнения равновесий напряжения, ЭДС, намагничивающих сил при последовательном возбуждении:

$$U_c = 2CV\dot{\hat{O}} + (2r_{\bar{y}} + r_c)i_{\bar{y}} + (2L_{\bar{y}} + L_c)di_{\bar{y}}/dt + 2r_{\hat{a}}i_{\hat{a}} + 2P_{\hat{a}}W_{\hat{a}}d\hat{O}/dt - \text{по цепи};$$

$$W_{\hat{a}}d\hat{O}/dt = r_{\hat{a}\hat{a}}i_{\hat{a}} - \text{по контуру вихревых токов};$$

$$d\hat{O}/dt = (f(i_{\hat{a}}) - \hat{O})/(W_{\hat{a}}k_{\hat{a}}/r_{\hat{a}\hat{a}}) - \text{цепи намагничивания};$$

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

Для математического решения задачи необходимо численно решить систему дифференциальных уравнений, т.е. решить задачу Коши, которая заключается в том, чтобы решить ОДУ вида $y'=f(x,y)$ при известных начальных условиях

$$Y(X_0) = Y_0$$

Для решения задачи Коши необходимо решить систему относительно первых производных и подставить известные численные значения и ранее вычисленные величины.

Получаем систему из 2-х дифференциальных уравнений первого порядка:

$$d\hat{O}/dt = ((f(i_{\hat{a}}) - \hat{O})r_{\hat{a}\hat{a}})/k_{\hat{a}}$$

$$di/dt = (Uc - 2(r_{\bar{y}} + 2r_c + r_{\hat{a}})i_{\bar{y}} - 2\tilde{N}_vU\hat{O} - 2pW_vd\hat{O}/dt)/(2(L_a + 2L_c))$$

Начальные условия:

$$i_{\bar{y}}(t) = 190 \text{ А};$$

$$\hat{O}(t) = 0,132 \text{ А} \cdot \tilde{n};$$

Таким образом, на данном этапе сформулирована задача Коши (имеется система дифференциальных уравнений, разрешенных относительно производных, и начальные значения тока якоря и магнитного потока). Ввиду громоздкости полученной системы решать ее наиболее целесообразно численными методами, одним из которых является метод Рунге-Кутты.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ МЕТОДОВ РУНГЕ-КУТТА, ФОРМУЛЫ 2-ГО, 4-ГО ПОРЯДКОВ, ПОГРЕШНОСТИ НА ШАГЕ, НА ИНТЕРВАЛЕ. ВЫВОД ФОРМУЛ 2-ГО ПОРЯДКА.

Рассмотрим задачу Коши для дифференциального уравнения первого порядка.

Найти решение уравнения

$$y' = f(x, y), \quad (1)$$

Удовлетворяющего начальному условию $y(x_0) = y_0$.

Предположим, что функция $f(x, y)$ имеет непрерывные частные производные вплоть до p -го порядка включительно в окрестности точки (x_0, y_0) . Тогда, как известно, решение $y(x)$ задачи Коши (1) имеет непрерывные производные вплоть до $(p + 1)$ -го порядка включительно в окрестности этой точки. Требуется найти приближенное решение задачи (1) на отрезке $[x_0, x_0 + T]$.

Разобьем отрезок $[x_0, x_0 + T]$ точками $x_i = x_0 + i \cdot h$ ($i=1, 1, \dots, N-1$) на N частей с постоянным шагом $h = \frac{T}{N}$ (N – четное). Эти точки называются узлами сетки. Обозначим: $y(x_i)$ – значение точного решения $y(x)$ задача (1) в точке x_i ;

y_i – приближенное решение задачи (1) в точке x_i , вычисленное с точностью ϵ :

$$y_i \approx y(x_i).$$

Точное решение задачи (1) $y = y(x)$ можно записать по формуле Тейлора в виде:

$$y(x_{i+1}) = y(x_i) + hf(x_i, y_i) + \dots + h^p \frac{y^{(p)}(x_i)}{p!} + O(h^{p+1}). \quad (2)$$

Так, при $p = 1$ формула (2) примет вид:

$$y(x_{i+1}) = y(x_i) + hf(x_i, y(x_i)) + O(h^2). \quad (3)$$

Отбрасывая члены порядка $O(h^2)$ и полагая $y(x_i) \approx y_i$, получим формулы метода Эйлера приближенного решения задачи (1):

$$y_{i+1} = y_i + hf(x_i, y_i), \quad i=0, 1, \dots, N-1. \quad (4)$$

Рассмотрим геометрическую интерпретацию метода Эйлера. Выберем полюс в точке $P(-1,0)$ и построим точки $A_0(0, f(x_0, y_0))$ и $M_0(x_0, y_0)$. Угловым коэффициентом луча PA_0 будет равен $f(x_0, y_0)$. Проведем из точки M_0 прямую, параллельную лучу PA_0 , до пересечения с прямой $x = x_1$ в некоторой точке $M_1(x_1, y_1)$.

Очевидно, $y_1 = y_0 + hf(x_0, y_0)$ - приближение по методу Эйлера. Построим точку $A_1(0, f(x_1, y_1))$. Проведем через точку M_1 прямую, параллельную лучу PA_1 , до пересечения с прямой $x = x_2$ в точке $M_2(x_2, y_2)$. Получим y_2 - приближенное решение по методу Эйлера на втором шаге - и так далее.

Погрешность формулы (4) на каждом шаге - $o(h^2)$, погрешность за N шагов - $o(h^2 N) = o\left(\frac{T^2}{N}\right) = o(h)$. при увеличении числа N ошибка убывает медленно.

Для получения более точной расчетной формулы положим в формуле (3)

$$f(x_i, y(x_i)) \approx \frac{1}{2}[f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1})] \quad (5)$$

и примем

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2}[f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1})]. \quad (6)$$

Эти формулы называются формулами Эйлера – Коши. Пусть $i = 0$, тогда $y_1 = y_0 + \frac{h}{2}[f(x_0, y_0) + f(x_1, y_1)]$. Для этих формул схема вычисления такова:

1) Находим первое приближение (грубое): $y_1 = y_0 + hf(x_0, y_0)$;

2) Вычисляем $f(x_1, y_1)$;

3) Вычисляем $\frac{1}{2}[f(x_0, y_0) + f(x_1, y_1)]$;

4) Находим второе приближение (уточненное):

$$y_0 + \frac{h}{2}[f(x_0, y_0) + f(x_1, y_1)].$$

Эту схему называют схемой с пересчетом.

Погрешность формулы (6) на каждом шаге имеет порядок $o(h^3)$. После T шагов $o\left(\frac{T^3}{N^2}\right) = o(h^2)$, т. е. с ростом N ошибка убывает значительно быстрее.

Метод пересчета поддается дальнейшему уточнению, результатом которого является широко применяемые сейчас в вычислительной практике методы Рунге – Кутты. Популярным среди этих методов является метод четвертого порядка, соответствующие формулы которого имеют вид:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \quad i = 0, 1, \dots, \quad (7)$$

где

$$k_1 = f(x_i, y_i);$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \cdot k_1\right);$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \cdot k_2\right);$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + h \cdot k_3).$$

На каждом шаге вычислений необходимо четыре раза применить схему пересчета, вычисляя правую часть уравнения (1).

Основная идея методов Рунге – Кутта была предложена математиком Рунге (1895 г.) и развита математиком Кутта (1901 г.) и другими. Идея использовалась для построения приближенного решения задачи (1) в виде:

$$y_{i+1} = y_i + h\varphi(x_i, y_i, h), \quad i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (8)$$

где функция $\varphi(x_i, y_i, h)$ определяется так, чтобы погрешность приближенного решения y_{i+1} имела возможно более высокий порядок малости в сравнении с шагом h и не содержала производных от $f(x, y)$.

Поставим задачу построить вычислительную схему порядка $o(h^p)$. Пусть функция $\varphi(x, y, h)$ имеет вид:

$$\varphi(x, y, h) = c_1 f(x, y) + c_2 f(x + ha, y + hbf(x, y)), \quad (9)$$

где c_1, c_2, a, b - неизвестные постоянные.

Запишем формулу Тейлора для функции двух переменных $\varphi(x, y, h)$, ограничивших членами порядка h с центром в точке (x_i, y_i) :

$$\varphi(x_i, y_i, h) = c_1 f(x_i, y_i) + c_2 f(x_i, y_i) + c_2 \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} ha + c_2 \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} hbf(x_i, y_i) + O(h^3).$$

Тогда приближенное решение задачи (1) можно записать в виде:

$$y_{i+1} = y_i + h \cdot (c_1 f(x_i, y_i) + c_2 f(x_i, y_i) + c_2 \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} ha + c_2 \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} hbf(x_i, y_i)).$$

(11)

В то же время вычислительную схему заданного порядка $o(h^p)$ можно построить по формуле Тейлора (2). Значение входящих в (2) производных вычисляются из уравнения (1) последовательным дифференцированием:

$$y'(x_i) = f(x_i, y_i);$$

$$y''(x_i) = \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} + \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} f(x_i, y_i). \quad (12)$$

Тогда формулу Тейлора (2) можно записать в виде:

$$y(x_{i+1}) = y(x_i) + hf(x_i, y_i) + \frac{h^2}{2} \left(\frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} + \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} f(x_i, y_i) \right) + O(h^3). \quad (13)$$

Сравнивая выражения (11) и (13), получаем систему из трех уравнений относительно неизвестных c_1, c_2, a, b :

$$\begin{cases} c_1 + c_2 = 1 \\ c_2 a = \frac{1}{2} \\ c_2 b = \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (14)$$

Принято полагать $c_2 = \frac{1}{2}$. Тогда $c_1 = \frac{1}{2}$, $a = b = 1$ и формулы приближенного решения имеют вид:

$$\begin{cases} y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2}(k_1 + k_2) \\ k_1 = f(x_i, y_i) \\ k_2 = f(x_i + h, y_i + hk_1). \end{cases} \quad (15)$$

Погрешность вычислений на каждом шаге $O(h^{p+1}) = O(h^3)$, за N шагов

$O(h^3 N) = O\left(\frac{T^3}{N^3} \cdot N\right) = O(h^2)$. это вычислительная схема - формулы Рунге – Кутта

второго порядка ($p=2$). С помощью аналогичных рассуждений для функции $\varphi(x, y, h)$ были получены формулы метода Рунге – Кутта четвертого порядка (7), где погрешность вычислений на каждом шаге $O(h^{p+1}) = O(h^5)$, после N

шагов $O\left(\frac{T^5}{N^4}\right) = O(h^4)$ [1], [2].

Построение электрической схемы математической модели цепи управления ТЭД в программе MatLab

Система Math Lab была создана специалистами фирмы Mathworks Inc. Как язык программирования высокого уровня для технических вычислений, она вобрала в себя не только передовой опыт развития современной компьютерной реализации численных методов, накопленный за последние три, четыре десятилетия, но и весь опыт становления математики за всю историю человечества. Особенно тщательно в Math Lab проработаны алгоритмы матричных операций лежащие в основе большинства средств моделирования сложных систем. Эти высокоэффективные алгоритмы и реализующие их программные коды получили широкую известность и признание во всём мире, превратив систему Math Lab в одну из самых мощных и эффективных инструментов для создания разнообразных программных комплексов, предназначенных для решения научно-технических задач.

Одним из самых важных и по достоинству оценённых качеств системы Math Lab является возможность её модификации с целью решения всё новых и новых задач, которые в изобилии появляются благодаря прогрессу в науке, технике и образовании. Это достигается, прежде всего, созданием ряда пакетов расширения системы охватывающих многие новые и практически – полезные направления компьютерной математики, У системы Math Lab число пакетов более многих десятков, а документация по ним насчитывает десятки тысяч страниц. Система Math Lab имеет открытую архитектуру, что даёт пользователю полный доступ к её кодам на гибком и мощном языке программирования этой системы. Он является одним из лучших и высокоэффективных языков программирования для создания удобных и очень наглядных средств анализа, идентификации, построения и моделирования систем.

Описание основных используемых функций и операторов системы MatLab.

GLOBAL – (список переменных) придает указанным в списке (рабочей области) переменным статус глобальных.

ODE23 – интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 2(3) с автоматическим выбором шага.

ODE45 – интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4(5) с автоматическим выбором шага.

PLOT – оператор построения графиков по данным вектора или матрицы.

FIGURE – создает отдельное окно для графика.

PAUSE – оператор, который прекращает ход вычислительного процесса и ожидает нажатие любой клавиши для продолжения.

END – оператор заканчивает FOR, WHILE и IF.

DISP – DISP(X) выводит матрицу на экран.

Программа математического моделирования электромагнитных процессов, происходящих в цепи ТЭД с тиристорным управлением при ослабленном возбуждении.

Программа в системе MatLab.

Основная программа:

```
clear all
format long e
global R2 IV CF Uc R1 C L1 L2 KFR rvx Wv
Uc=3600;
rc=0.2;
V=70;
Cv=300;
rvx=0.01;
Lc=0.006;
Ly=0.003;
p=6;
ry=0.032;
rv=0.003;
Wv=19;
L1=2*p*Wv;L2=2*(Ly+2*Lc);
R1=2*(ry+2*rc+rv);
C=2*Cv*V;
IV=[0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 700];
CF=[0 7.3 11.8 16.2 20 22.9 24.8 26.3 27.5 28.6 29.5 30.2 30.8 31.7];
APR=polyfit(IV,CF,3);
KFR=[3*APR(1) 2*APR(2) APR(3)];
[T1,Y1]=ode23(@dav1,[0 0.01],[190 0.32]);
figure(1);plot(T1,Y1(:,1),'r','LineWidth',3);grid;
figure(2);plot(T1,Y1(:,2),'g','LineWidth',3);grid;
```

Подпрограмма вычисления правых частей Д.У.:

```
function PR=dav1(t,y)
PR=zeros(2,1);
global R2 IV CF Uc R1 C L1 L2 KFR rvx Wv
KF=polyval(KFR,y(2));
PR(1)=((spline(IV,CF,y(2))-y(1))*rvx)/KF*Wv;
PR(2)=(Uc-R1*y(2)-C*y(1)-L1*PR(1))/L2;
```

График зависимости магнитного потока по времени

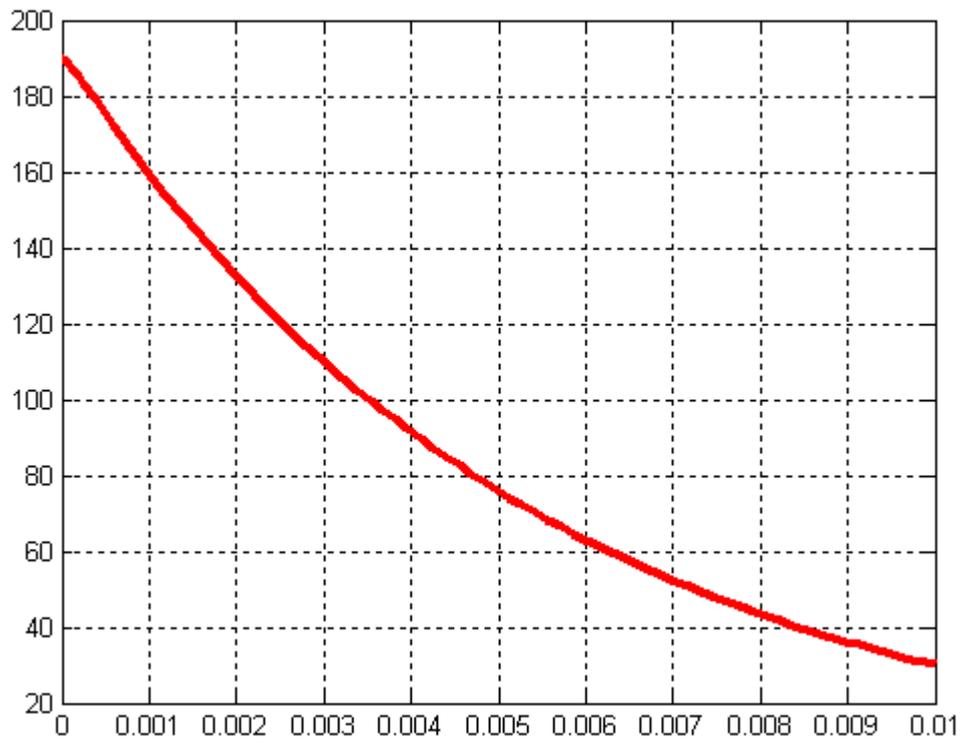
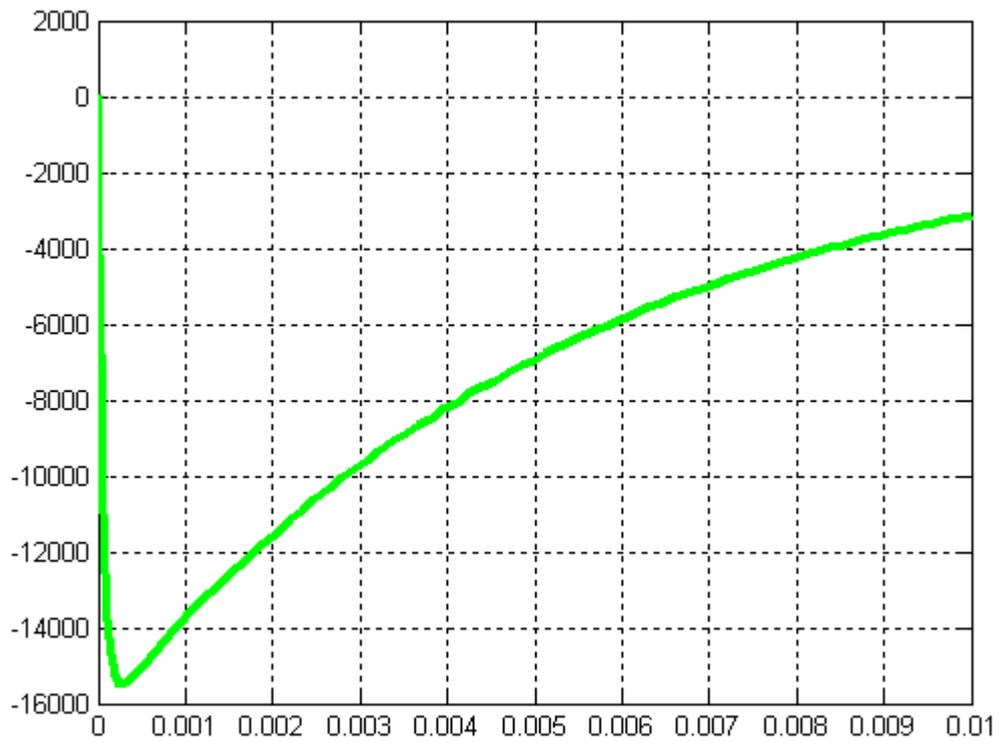


График зависимости времени от тока



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электровозы ВЛ10 и ВЛ 10у. Руководство по эксплуатации/ Под редакцией О. А. Кикнадзе – М.: Транспорт, 1981-519с.

2. Вашакидзе Л.С., Корольков Е.П. и др. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих процессы электромеханических моделей. Методические указания. - СПб.: ПГУПС, 1992г.

Здьяконов В. П. Справочник по применению системы PC MatLab. М.: Фмзмалит, 1993г.