**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра КСУ**

отчет

**по лабораторной работе №1**

**по дисциплине «Моделирование систем управления»**

Тема: Аппроксимация обратной кривой намагничивания электрической машины на основе метода наименьших квадратов

**Вариант 4**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студенты гр. 9491 |  | Лобазев Н.А.  Кустов Д.И.  Соколов М.О. |
| Преподаватель |  | Лукомская О.Ю. |

Санкт-Петербург

2023

**Цель работы:** аппроксимировать нелинейную зависимость *F*(*Ф*), заданную таблично, в промежуточных точках; аппроксимирующую функцию найти в виде полинома заданной степени; оценить зависимость точности аппроксимации от степени полинома*.*

Постановка задачи

Найдем некоторую функцию *р*(*Ф*), определенную на всем отрезке [0, *Ф*max], обладающую свойством *p*(*Фi*) ≈ *F*(*Фi*) в каждой *i*-й точке таблицы и аппроксимирующую таблицу в промежуточных точках. В данной работе использована функция *р*(*Ф*) в виде полинома заданной степени *n*:

*p(x) = c0 + c1x + … + cnxn ,*

где *x –* переменная.

Значение *n* выбирают из условия обеспечения требуемой точности. Чем больше *n*, тем выше точность аппроксимации. При заданном значении *п* полином *р* определяют его коэффициенты *c*0, …, *cn*. Метод наименьших квадратов (МНК) позволяет аналитически определить коэффициенты полинома, когда критерием точности является функционал вида

где *N* – количество точек в таблице. В выражении (1.1) разность

называется невязкой (*i*-й точки), поэтому значение функционала *I* есть сумма квадратов значений невязок по всем *N* точкам. Метод наименьших квадратов дает формулу для определения коэффициентов полинома, при которых значение функционала *I* будет наименьшим.

Исходные данные представлены в табл.1.

*Таблица 1. Кривые намагничивания*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F, Aw* | 0 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 |
| Ф/Фн | 0 | 0.66 | 0.93 | 1.18 | 1.38 | 1.5 | 1.6 | 1.67 | 1.79 |

**Результаты выполнения работы**

1. Запишем в таблицу значения *F(Ф)* в виде , где – нормированный магнитный поток , – нормированная МДС . Такое преобразование необходимо с целью обеспечения хорошей обусловленности матриц в формуле МНК. Аппроксимации подлежит таблица . Ее аппроксимирующий полином обозначим через . После нахождения этого полинома коэффициенты *р* легко определить путем перехода от к *Ф* и от к *F.*

Нормирование в программе:

R\_0 = 4;

i\_N = 100;

U\_N = i\_N \* R\_0;

U\_VN = U\_N; % 2 з-н Кирхгофа

r\_V = 97.2;

i\_VN = U\_VN / r\_V;

w = 3000; % число витков

k = 1000; % множитель для варианта 4

F\_N = i\_VN \* w % номинальная МДС

F = [0 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 5.0]' .\* k; % ненормированная МДС

F\_norm = F ./ F\_N; % нормированная МДС

*Таблица 2. Нормированные значения кривой намагничивания*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,0810 | 0,1215 | 0,1620 | 0,2025 | 0,2430 | 0,2835 | 0,3240 | 0,4050 |
|  | 0,0010 | 0,6610 | 0,9310 | 1,1810 | 1,3810 | 1,5010 | 1,6010 | 1,6710 | 1,7910 |
| *Таблица 3. Значения F(Ф) и p(Ф)* | | | | | | | | | | |
| Ф | 0 | 0,0066 | 0,0093 | 0,0118 | 0,0138 | 0,015 | 0,016 | 0,0167 | 0,0179 |
| *F/*1000*, Aw* | 0 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n=3 | 0,1454 | -0,2814 | 0,2603 | -0,0014 |  |  |  |  |  |
| n=5 | -0,0014 | 0,1628 | -0,4707 | 0,4731 | -0,0316 | 0.00004 |  |  |  |

Код программы:

%нормированные величины

% уравнение невязок в матричном виде для n = 3

G3\_norm = [];

G3\_norm(:,1) = Fi\_norm'.^0;

G3\_norm(:,2) = Fi\_norm'.^1;

G3\_norm(:,3) = Fi\_norm'.^2;

G3\_norm(:,4) = Fi\_norm'.^3;

C3\_norm = inv(G3\_norm'\*G3\_norm)\*(G3\_norm'\*F\_norm);

p3\_norm = [C3\_norm(4) C3\_norm(3) C3\_norm(2) C3\_norm(1)];

P3\_norm = polyval(p3\_norm, Fi\_norm); % оценивает полиномиальный p3\_norm в каждой точке в Fi\_norm

% функционал точности для n = 3

Jnorm3 = (F\_norm-G3\_norm\*C3\_norm)'\*(F\_norm-G3\_norm\*C3\_norm)

% уравнение невязок в матричном виде для n = 5

G5\_norm = [];

G5\_norm(:,1) = Fi\_norm'.^0;

G5\_norm(:,2) = Fi\_norm'.^1;

G5\_norm(:,3) = Fi\_norm'.^2;

G5\_norm(:,4) = Fi\_norm'.^3;

G5\_norm(:,5) = Fi\_norm'.^4;

G5\_norm(:,6) = Fi\_norm'.^5;

C5\_norm = inv(G5\_norm'\*G5\_norm)\*(G5\_norm'\*F\_norm);

p5\_norm = [C5\_norm(6) C5\_norm(5) C5\_norm(4) C5\_norm(3) C5\_norm(2) C5\_norm(1)];

P5\_norm = polyval(p5\_norm, Fi\_norm);

% функционал точности для n = 5

Jnorm5= (F\_norm-G5\_norm\*C5\_norm)'\*(F\_norm-G5\_norm\*C5\_norm)

% строим правый график

subplot(1, 2, 1); % одно окно по вертикали 2 по горизонтали, работаем с 1-ым окном

plot(Fi\_norm, F\_norm,'b\*', Fi\_norm, P3\_norm, 'r--', Fi\_norm, P5\_norm, 'g-.');

legend('F\_n\_o\_r\_m(Ф\_n\_o\_r\_m)', 'p(Ф\_n\_o\_r\_m) n=3', 'p(Ф\_n\_o\_r\_m) n=5');

title('нормированный случай');

xlabel('Ф\_n\_o\_r\_m');

ylabel('F\_n\_o\_r\_m');

grid on;

Значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов:

Для n = 3:

Для n = 5:

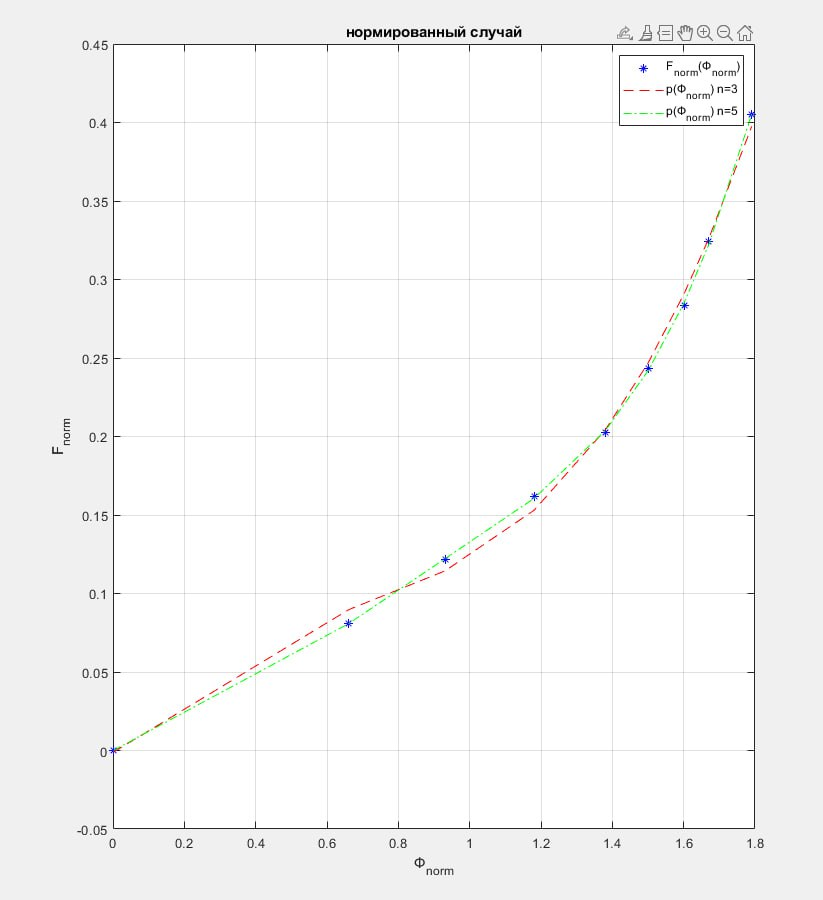


Рисунок 1 – Результат работы программы для полинома третьей степени и пятой степени

Вычисленные значения функционалов точности:

**I5 =**9.2690e-06

**I3 =** 3.4183e-04

Анализируя полученные данные, можем сделать вывод, что аппроксимация полиномом пятой степени значительно точнее, чем полиномом третьей степени.

1. Повторим все действия, но при этом значения кривой намагничивания будут ненормированные.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Таблица 5. Значения F(Ф) и p(Ф)* | | | | | | | | | | | | |
| Ф | 0 | 0,0066 | 0,0093 | | 0,0118 | 0,0138 | 0,015 | 0,016 | 0,0167 | 0,0179 |
| *F/*1000*, Aw* | 0 | 1 | | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 | |
|  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |
| р n=3/109 | 1,7953 | -0,0347 | | 0,0003 | -0,00002 |  |  |  |  |  | |
| р n=5/1011 | -1,7864 | 2,01 | | -0,0581 | 0,0006 | -0,00002 | 0,00003 |  |  |  | |

Код программы:

% ненормированные величины

% уравнение невязок в матричном виде для n = 3

G3 = [];

G3(:,1) = Fi'.^0;

G3(:,2) = Fi'.^1;

G3(:,3) = Fi'.^2;

G3(:,4) = Fi'.^3;

C3 = inv(G3'\*G3)\*(G3'\*F);

p3 = [C3(4) C3(3) C3(2) C3(1)];

P3 = polyval(p3, Fi);

% функционал точности для n = 3

Jnenorm3 = (F-G3\*C3)'\*(F-G3\*C3)

% уравнение невязок в матричном виде для n = 5

G5 = [];

G5(:,1) = Fi' .^ 0;

G5(:,2) = Fi' .^ 1;

G5(:,3) = Fi' .^ 2;

G5(:,4) = Fi' .^ 3;

G5(:,5) = Fi' .^ 4;

G5(:,6) = Fi' .^ 5;

C5 = inv(G5'\*G5)\*(G5'\*F);

p5 = [C5(6) C5(5) C5(4) C5(3) C5(2) C5(1)];

P5 = polyval(p5,Fi);

% функционал точности для n = 5

Jnenorm5 = (F-G5\*C5)'\*(F-G5\*C5)

% строим левый график

subplot(1, 2, 2); % работаем с 2-ым окном

plot(Fi, F, 'b\*', Fi, P3, 'r--', Fi, P5, 'g-.');

legend('F(Ф)', 'p(Ф) n=3', 'p(Ф) n=5');

title('ненормированный случай');

xlabel('Ф');

ylabel('F');

grid on;

Значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов:

Для n = 3:

Для n = 5:

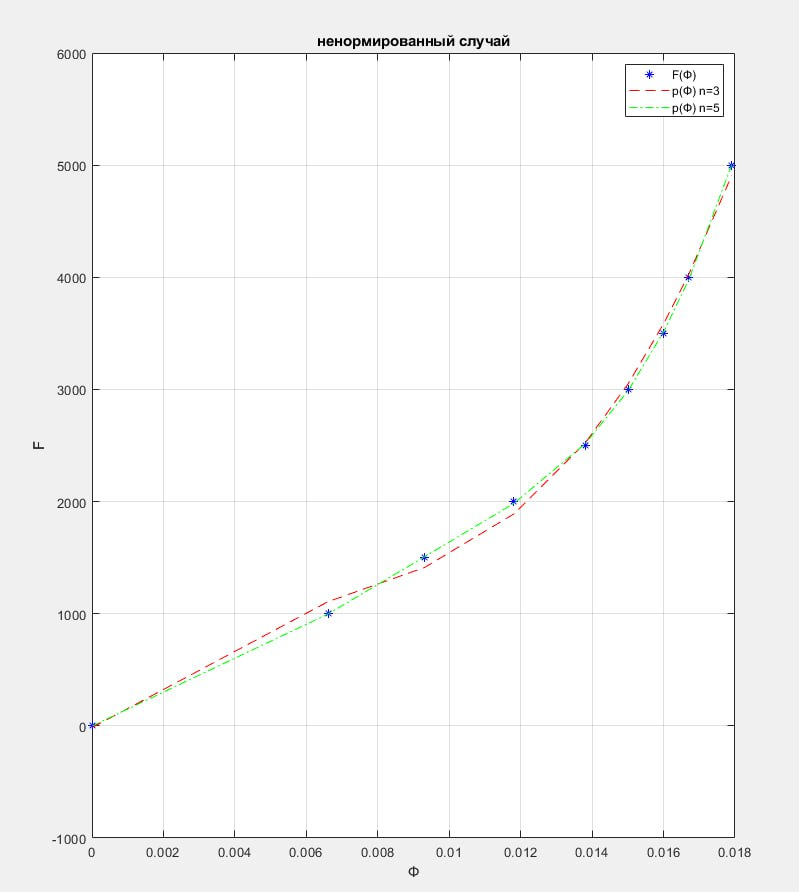


Рисунок 2 – Результат работы программы для полинома третьей степени и пятой степени

Вычисленные значения функционалов точности:

**I5** = 5.2100e+05

**I3** = 1.4127e+06

Анализируя полученные данные, можем сделать вывод, что аппроксимация полиномом пятой степени точнее, чем полиномом третьей степени.

**Вывод:**

В ходе выполнения лабораторной работы была сделана аппроксимация обратной кривой намагничивания электрической машины постоянного тока на основе метода наименьших квадратов.

В результате исследования получили, что аппроксимация полиномом пятой степени точнее во всех рассмотренных случаях: при нормированных и ненормированных значениях кривой намагничивания.

Кроме того, были рассчитаны значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов, магнитного потока Ф и магнитодвижущей силы F, сведенные в таблицы.