НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники

Электрические машины

Расчетная работа №2

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Вариант 8 (5A80MB2, ml1)

Студент: Кирбаба Д.Д.

Группа: R3338

Преподаватель: Усольцев А.А.

г. Санкт-Петербург

2023

# Задание

Для двигателя 5A80MB2, используя программу Matlab:

* определить параметры схемы замещения
* рассчитать и построить без учёта вытеснения тока и с учётом вытеснения
  + механическую и электромеханическую характеристики
  + рабочие характеристики
* сравнить результаты расчёта со справочными данными

# Исходные данные

Частота сети: Гц

Число пар полюсов двигателя:

Число фаз:

Номинальная механическая мощность:

Номинальная частота вращения: об/мин

КПД:

Коэффициент мощности:

Номинальный ток при В: А

Номинальный момент:

Отношение пускового момента к номинальному моменту (кратность пускового момента):

Отношение пускового тока к номинальному току (кратность пускового тока):

Отношение максимального момента к номинальному моменту (кратность максимального момента):

Индекс механической характеристики:

Динамический момент инерции ротора:

Масса:

Сервис-фактор:

![A picture containing white, design

Description automatically generated](data:image/png;base64,iVBORw0KGgoAAAANSUhEUgAAAGQAAABOCAYAAADW1bMEAAAAAXNSR0IArs4c6QAAAARnQU1BAACxjwv8YQUAAAAJcEhZcwAADsMAAA7DAcdvqGQAAADNSURBVHhe7dExAQAgDMCwgX/PwIGIHM1TAV3nmTD2bxANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQygzF5g4BJhBgAWrAAAAAElFTkSuQmCC)A picture containing diagram, font, line, white

Description automatically generated

Рисунок 1. Схема замещения асинхронного двигателя.

Активное сопротивление статора определяется по рассеваемой на нём мощности, которая равна разности потребляемой активной мощности и электромагнитной мощности в номинальном режиме.

![A picture containing white, design

Description automatically generated](data:image/png;base64,iVBORw0KGgoAAAANSUhEUgAAAGQAAABOCAYAAADW1bMEAAAAAXNSR0IArs4c6QAAAARnQU1BAACxjwv8YQUAAAAJcEhZcwAADsMAAA7DAcdvqGQAAADNSURBVHhe7dExAQAgDMCwgX/PwIGIHM1TAV3nmTD2bxANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQzANwTQE0xBMQygzF5g4BJhBgAWrAAAAAElFTkSuQmCC)A picture containing text, diagram, handwriting, plan

Description automatically generated

Рисунок 2. Алгоритм расчета параметров схемы замещения.

# Задание 1

Рассчитаем недостающие значения для определения параметров схемы замещения:

Рассеиваемая мощность , в то же время ,

где

Теперь с использованием справочным данных вычислим исходные завышенные значения активных сопротивлений статора и ротора соответственно:

Далее для расчета параметров используем функцию расчета, реализованную в Matlab, которая будет последовательно приближать завышенные значения к реальным.

Приведенный ток ротора при критическом скольжении был рассчитан по Т-образной схеме следующиим образом:

Все остальные формулы расписаны в приведенной блок-схеме в начале работы.

Программный код:

% initialization

TOL = 0.001;

Delta\_k = 10^(-4);

N = 10^(6);

k\_1 = 1;

k\_2 = 1;

mu\_m = 1;

delta\_mu = 1;

n = 0;

while (delta\_mu > TOL) && (n < N)

k\_2 = k\_2 - Delta\_k;

delta\_n = 1;

mu\_m = 1;

n = n + 1;

while (delta\_n > TOL) && (n < N)

k\_1 = k\_1 - Delta\_k;

n = n + 1;

% calculate rest paratemers (1a)

mu\_s = mu\_m;

a = k\_1 \* r\_10 / (k\_2 \* r\_20\_s);

A = 1 - 2 \* a \* s\_N \* (lambda - 1);

s\_m = s\_N \* (lambda + sqrt(lambda^2 - A)) / A;

x\_ks = sqrt((k\_2 \* r\_20\_s / s\_m)^2 - (k\_1 \* r\_10)^2);

x\_s2\_s = x\_ks / 2;

x\_s1 = x\_s2\_s;

b = x\_ks / ((k\_1 \* r\_10 + k\_2 \* r\_20\_s / s\_N)^2 + x\_ks^2);

x\_m = 1 / (I\_1N \* sqrt(1 - cosphi\_1N^2)/U\_1N - b);

I\_2\_s = U\_1N / sqrt((k\_1 \* r\_10 + k\_2 \* r\_20\_s/s\_m)^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s)^2);

mu\_m = m \* z\_p \* I\_2\_s^2 \* k\_2 \* r\_20\_s / (omega\_1 \* s\_m \* M\_N);

delta\_n = abs(mu\_m - mu\_s) / mu\_s;

delta\_mu = abs(mu\_m - lambda) / lambda;

end

end

r\_1 = k\_1 \* r\_10;

r\_2\_s = k\_2 \* r\_20\_s;

В итоге, получим следующие параметры:

Активное сопротивление статора:

Активное сопротивление ротора:

Критическое скольжение:

Индуктивное сопротивление ветви короткого замыкания:

Индуктивное сопротивление ветви намагничивания:

Приведенный ток ротора при критическом скольжении:

Относительное значение момента опрокидывания:

Сопротивления потоков рассеяния статора и ротора:

Теперь рассчитаем глубину паза, используя циклический программный код Matlab.

Начальное приближение выберем равным Так как двигатель маломощный.

Формулы для вычислений аналогичны предоставленным в блок-схеме в начале работы.

Программный код:

%% calculation of the coefficients for the slot depth

h\_0 = 0.5; % for low-powered machine

% h\_0 = 3; % for high-powered machine

h = h\_0;

mu\_s = 0;

n = 0;

delta\_s = 1;

Delta\_h = Delta\_k;

while (delta\_s > TOL) && (n < N)

h = h + Delta\_h;

n = n + 1;

k\_x = 3 / (2 \* h) \* (sinh(2\*h) - sin(2\*h))/(cosh(2\*h)-cos(2\*h));

k\_r = h \* (sinh(2\*h) + sin(2\*h))/(cosh(2\*h)-cos(2\*h));

mu\_s = m \* z\_p \* U\_1N^2 \* r\_2\_s \* k\_r / (omega\_1 \* ((r\_1 + r\_2\_s \* k\_r)^2 +(x\_s1 + x\_s2\_s \* k\_x)^2) \* M\_N);

delta\_s = abs(mu\_s - k\_s) / k\_s;

end

В результаты получим следующие значения:

Глубина паза:

Коэффициенты вытеснения:

Пусковой момент:

# Задание 2.1

Механическая характеристика без учета вытеснения тока:

С учетом вытеснения:

Построим графики зависимостей:

Программный код:

%% plots of the mechanical characteristic

% form points arrays

s\_data = linspace(-1, 1, 10^6);

n\_data = (1 - s\_data) .\* n\_1;

% without displacement current

M = m .\* z\_p .\* U\_1N.^2 .\* r\_2\_s ./ (omega\_1 .\* s\_data .\* ((r\_1 + r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s).^2));

% with displacement current

h\_data = h .\* abs(s\_data);

k\_r\_data = h\_data .\* (sinh(2 .\* h\_data) + sin(2 .\* h\_data)) ./ (cosh(2 .\* h\_data) - cos(2 .\* h\_data));

k\_x\_data = 3 ./ (2 .\* h\_data) .\* (sinh(2 .\* h\_data) - sin(2 .\* h\_data)) ./ (cosh(2 .\* h\_data) - cos(2 .\* h\_data));

M\_k = m .\* z\_p .\* U\_1N.^2 .\* r\_2\_s .\* k\_r\_data ./ (omega\_1 .\* s\_data .\* ((r\_1 + k\_r\_data .\* r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s .\* k\_x\_data).^2));

%% plot M(s) and M\_k(s)

plot(s\_data, M, '-', s\_data, M\_k, '--', 'LineWidth', 3)

grid on

xlabel('s')

ylabel('M, H \cdot м')

legend('M(s)', 'M\_k(s)')

%% plot n(M) and n(M\_k)

plot(M, n\_data, '-', M\_k, n\_data, '--', 'LineWidth', 3)

grid on

xlabel('M, H \cdot м')

ylabel('n, об/мин')

legend('n(M)', 'n(M\_k)')

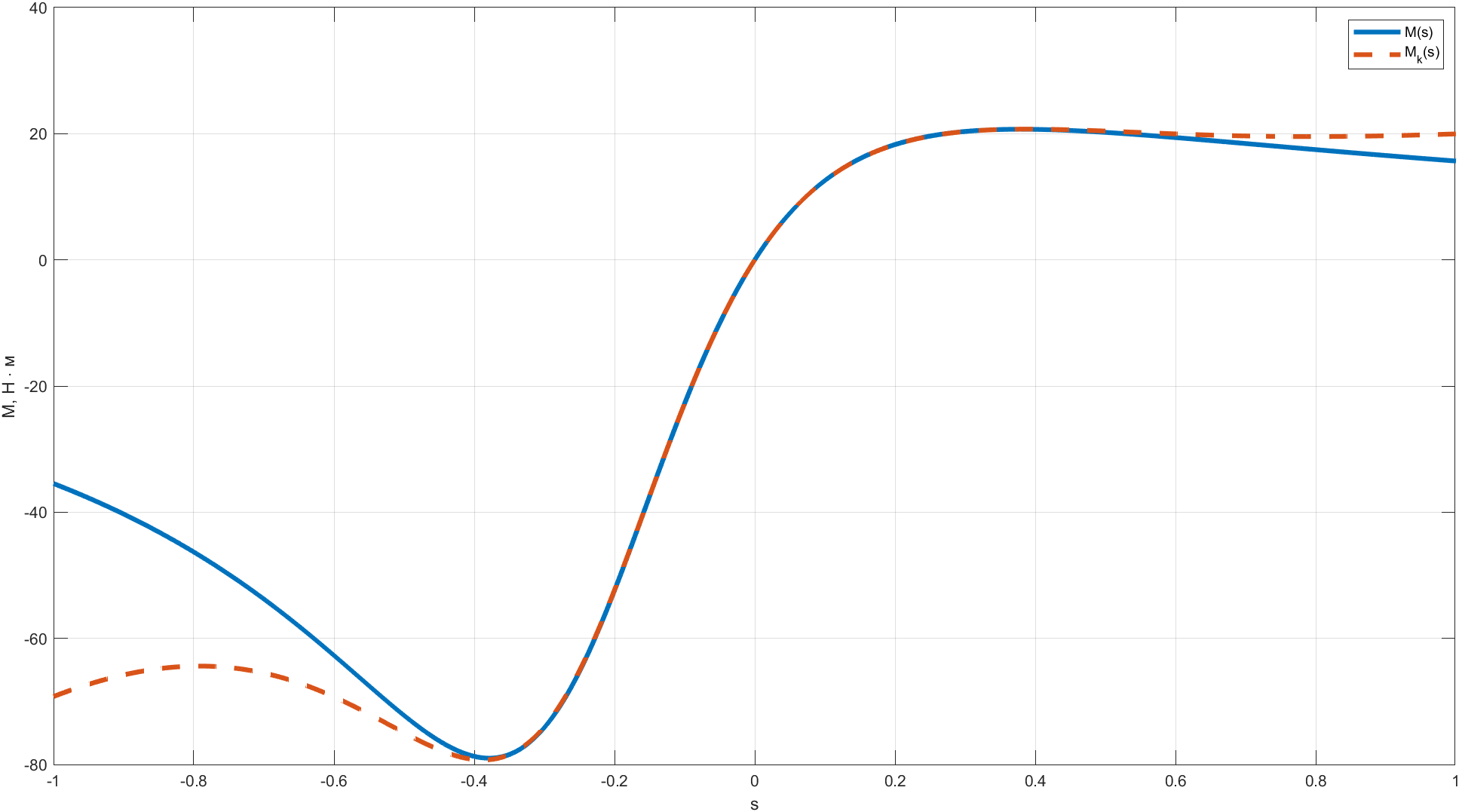


Рисунок 3. Зависимость вращающего момента от скольжения.

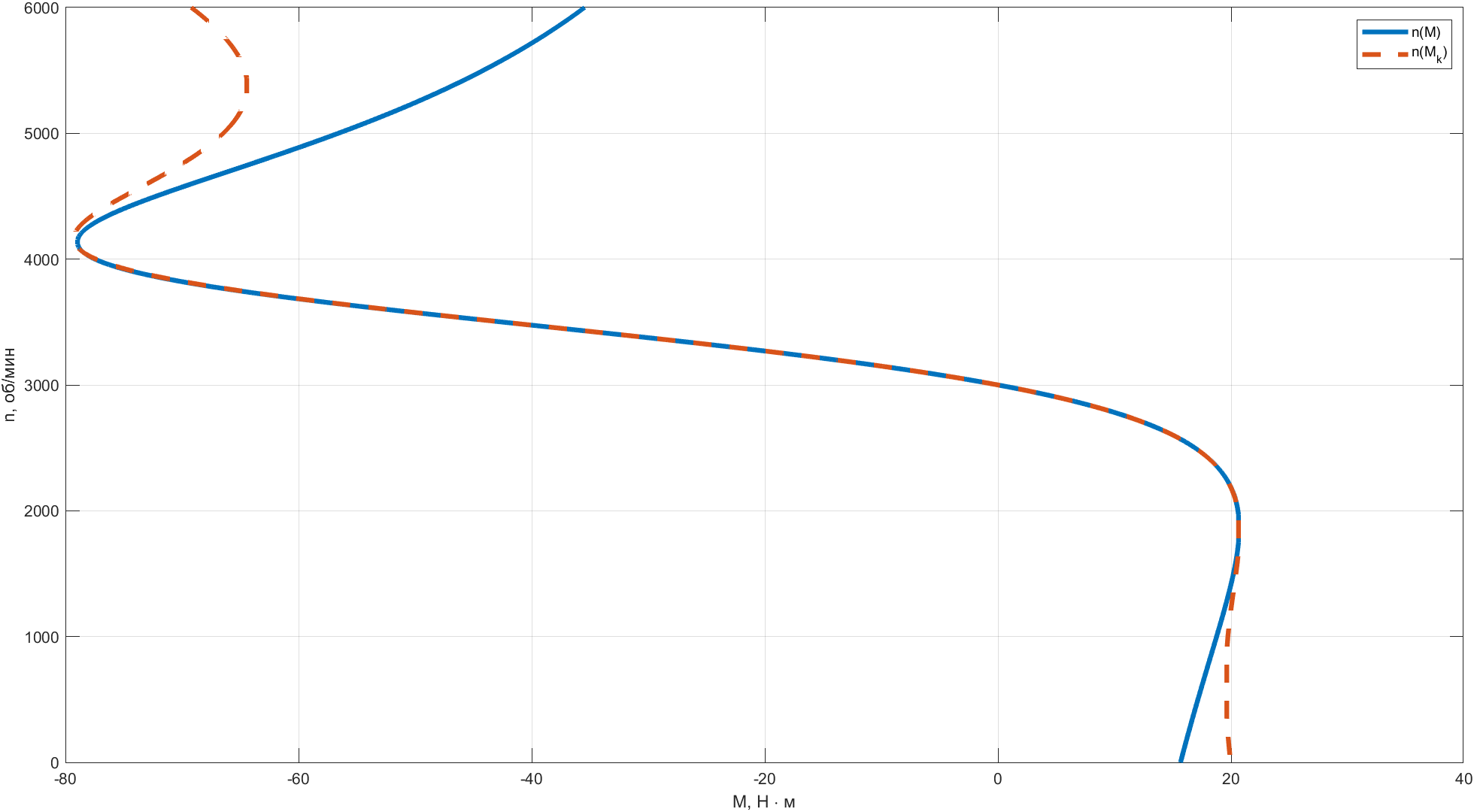


Рисунок 4. Зависимость скорости вращения от вращающего момента.

Электромеханическая характеристика без учета вытеснения тока:

С учетом вытеснения:

Построим графики зависимостей:

Программный код:

%% plots of the electromechanical characteristic

% without displacement current

I\_2 = U\_1N ./ sqrt((r\_1 + r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s)^2);

% with displacement current

I\_2k = U\_1N ./ sqrt((r\_1 + k\_r\_data .\* r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + k\_x\_data .\* x\_s2\_s).^2);

%% plot I\_2(s) and I\_2k(s)

plot(s\_data, I\_2, '-', s\_data, I\_2k, '--', 'LineWidth', 3)

grid on

xlabel('s')

ylabel('I, A')

legend('I\_2(s)', 'I\_{2k}(s)')

%% plot n(I\_2) and n(I\_2k)

plot(I\_2, n\_data, '-', I\_2k, n\_data, '--', 'LineWidth', 3)

grid on

xlabel('I, A')

ylabel('n, об/мин')

legend('n(I\_2)', 'n(I\_{2k})')

A picture containing line, plot, diagram, text

Description automatically generated

Рисунок 5. Зависимость силы тока ротора от скольжения.

A picture containing line, diagram, plot, text

Description automatically generated

Рисунок 6. Зависимость скорости вращения от силы тока ротора.

# Задание 2.2

Исследуем рабочие характеристики данного асинхронного двигателя.

К рабочим характеристикам относятся следующие зависимости:

Найдем аналитические зависимости:

Знаем, что

Но так как

То

Распишем

Сила тока статора

КПД

Скорость вращения ротора:

Коэффициент мощности

Теперь с помощью Matlab построим графики.

Программный код:

%% performance criteria

% form points arrays

s\_data = linspace(0, s\_N + 10^(-3), 10^6);

n\_data = (1 - s\_data) .\* n\_1;

h\_data = h .\* abs(s\_data);

k\_r\_data = h\_data .\* (sinh(2 .\* h\_data) + sin(2 .\* h\_data)) ./ (cosh(2 .\* h\_data) - cos(2 .\* h\_data));

k\_x\_data = 3 ./ (2 .\* h\_data) .\* (sinh(2 .\* h\_data) - sin(2 .\* h\_data)) ./ (cosh(2 .\* h\_data) - cos(2 .\* h\_data));

% formulas without displacement current

M = m .\* z\_p .\* U\_1N.^2 .\* r\_2\_s ./ (omega\_1 .\* s\_data .\* ((r\_1 + r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s).^2));

I\_2\_s = U\_1N ./ sqrt((r\_1 + r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s)^2);

I\_1 = I\_2\_s + U\_1N ./ x\_m;

P\_2 = m \* I\_2\_s.^2 \* r\_2\_s .\* (1 - s\_data) ./ s\_data;

P\_1 = P\_2 + m .\* I\_1.^2 \* r\_1 + m .\* I\_2\_s.^2 \* r\_2\_s;

eta = P\_2 ./ P\_1 .\* 100;

cosphi = P\_1 ./ (3 .\* U\_1N .\* I\_1N);

% formulas with displacement current

M\_k = m .\* z\_p .\* U\_1N.^2 .\* r\_2\_s .\* k\_r\_data ./ (omega\_1 .\* s\_data .\* ((r\_1 + k\_r\_data .\* r\_2\_s ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s .\* k\_x\_data).^2));

I\_2k\_s = U\_1N ./ sqrt((r\_1 + r\_2\_s .\* k\_r\_data ./ s\_data).^2 + (x\_s1 + x\_s2\_s .\* k\_x\_data).^2);

I\_1k = I\_2k\_s + U\_1N ./ x\_m;

P\_2k = m \* I\_2k\_s.^2 .\* r\_2\_s .\* (1 - s\_data) ./ s\_data;

P\_1k = P\_2k + m \* I\_1k.^2 \* r\_1 + m \* I\_2k\_s.^2 \* r\_2\_s;

eta\_k = P\_2k ./ P\_1k .\* 100;

cosphi\_k = P\_1k ./ (3 .\* U\_1N .\* I\_1N);

A picture containing line, text, screenshot, plot

Description automatically generated

Рисунок 7. Графики .

A picture containing text, line, plot, diagram

Description automatically generated

Рисунок 8. Графики .

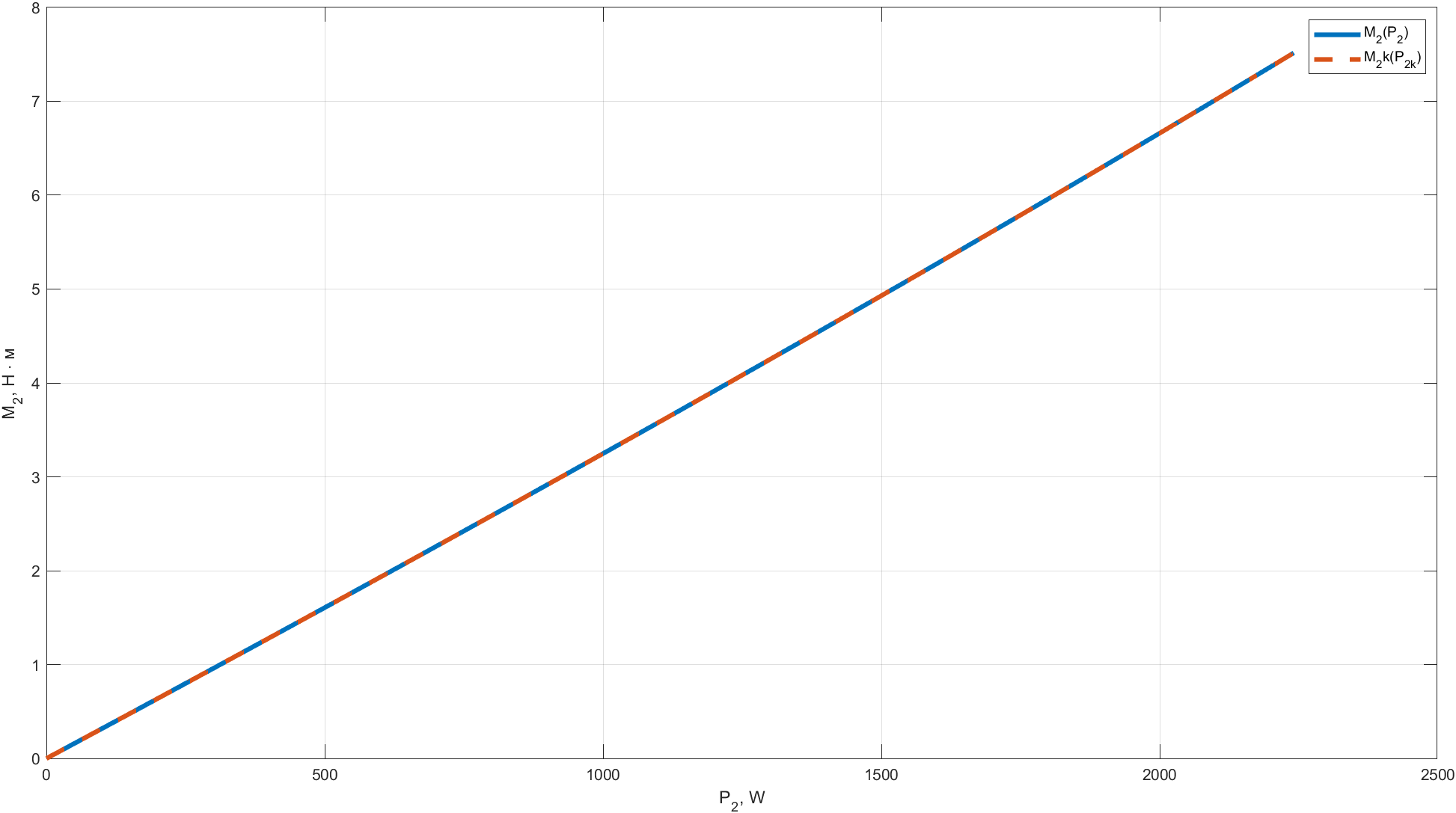


Рисунок 9. Графики .

A picture containing line, text, plot, diagram

Description automatically generated

Рисунок 10. Графики .

A picture containing line, plot, diagram, text

Description automatically generated

Рисунок 11. Графики .

A picture containing line, text, screenshot, plot

Description automatically generated

Рисунок 12. Графики .

# Задание 3

Чтобы сравнить результат расчетов со справочными данными проанализируем полученную механическую характеристику:

По документации:

Отметим точки пускового и максимального моментов на графике:

A picture containing text, line, diagram, plot

Description automatically generated

Рисунок 13. Механическая характеристика с отмеченными точками пускового и максимального моментов.

Вычислим эти же значения исходя из справочных данных:

Так как значения равны с некоторой погрешностью, то значит работа выполнена верно.

# Выводы

В данной расчетной работе были определены параметры схемы замещения двигателя 5А80МВ2 с помощью циклической программы Matlab (ml1). Расчет производился с заданной погрешностью и значения последовательно приближались к реальным.

Затем, по определенным параметрам были построены механическая, электромеханическая и рабочие характеристики двигателя.

В конце, было произведено сравнение результатов расчетов со справочными данными, а именно по полученной механической характеристике были расчитаны пусковой и максимальный момент двигателя, который достаточно хорошо приближают значения, заданные производителем. Исходя из этого был сделан вывод, что произведенные расчеты в данной работе верны.