

Национальный исследовательский университет ИТМО
Факультет систем управления и робототехники

Расчетная работа
по дисциплине «Электрические машины»
на тему:
«Асинхронный двигатель»
Вариант 13 (двигатель 5АМ250М2)

Подготовил: Марухленко Даниил Сергеевич
Группа: R33352
Преподаватель: Маматов Александр Геннадьевич

Санкт-Петербург 2021г.

1 Задание

Для асинхронного трехфазного двигателя, выбранного из каталога:

- 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;
- Оформить отчёт с распечаткой использованной программы.

2 Данные для расчёта

$f = 50$ Гц Частота сети

$2p = 2$ Число пар полюсов двигателя

$m = 3$ Число фаз двигателя

$P_N = 90$ кВт номинальная механическая мощность

$n_N = 2955$ об/мин Номинальная частота вращения

$\eta_N = 93.5$ % КПД

$\cos\phi_{1N} = 0.93$ Коэффициент мощности

$I_N = 157$ А Номинальный ток при 380В

$M_n = 290$ Нм Номинальный момент

$k_s = 1.8$ Отношение пускового момента к номинальному моменту (кратность пускового момента)

$k_{si} = 7.0$ Отношение пускового тока к номинальному току (кратность пускового тока)

$\lambda = 2.7$ Отношение максимального момента к номинальному моменту (кратность максимального момента)

II Индекс механической характеристики

0.52 кг·м² Динамический момент инерции ротора

505 кг Масса

$1, 15$ Сервис-фактор

3 Решение

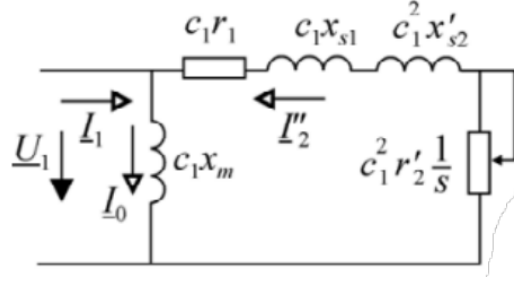


Рис. 1: Схема замещения двигателя

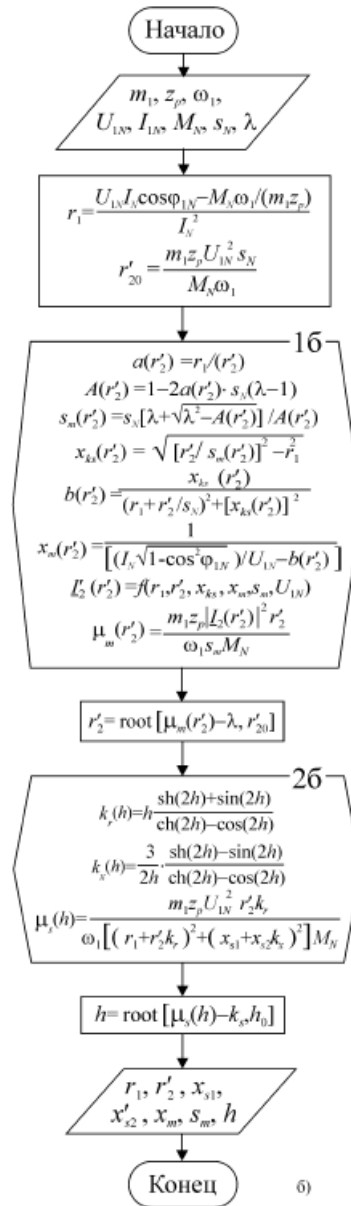


Рис. 2: Алгоритм расчёта параметров схемы замещения

$$U_{1N} = U_n / \sqrt{3} \approx 219.3931(\text{В})$$

$$I_{1N} = I_N = 157(\text{А})$$

$$\omega_1 = 2\pi f \approx 314.1593(\text{рад/с})$$

$$s_n = 1 - \frac{n_n}{n_1} \approx 0.015$$

Активное сопротивление статора r_1 можно определить по рассеиваемой на нём мощности $\Delta P_{1Cu} = m_1 I_{1N}^2 r_1$, которая равна разности потребляемой активной мощности $P_1 = m_1 U_{1N} I_{1N} \cos \phi_{1N}$ и электромагнитной мощности в номинальном режиме $P_{em} = M_N \omega_1 / z_p$

$$\begin{aligned} \Delta P_{1Cu} &= P_1 - P_{em} \\ r_1 &= \frac{U_{1N} I_{1N} \cos \phi_{1N} - M_N \omega_1 / (z_p m_1)}{I_{1N}^2} = 0.0675(\text{Ом}) \end{aligned}$$

Активное сопротивление ротора:

$$r'_{20} = \frac{m_1 z_p U_{1N}^2 s_N}{\omega_1 M_N} = 0.0238(\text{Ом})$$

Обе величины будут иметь приближенное, немного завышенное значение. Для поиска реального значения составим нелинейное уравнение и найдём его решение:

$$\begin{aligned} a(r'_2) &= r_1 / (r'_2) \\ A(r'_2) &= 1 - 2a(r'_2) \cdot s_N (\lambda - 1) \\ s_m(r'_2) &= \frac{s_N (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - A(r'_2)})}{A(r'_2)} \\ x_{ks}(r'_2) &= \sqrt{(r'_2 / s_m(r'_2))^2 - r_1^2} \\ b(r'_2) &= \frac{x_{ks}(r'_2)}{(r_1 + r'_2 / s_N)^2 + (x_{ks}(r'_2))^2} \\ x_m(r'_2) &= \frac{1}{(I_N \sqrt{1 - \cos^2 \phi_{1N}}) / U_{1N} - b(r'_2)} \\ I'_2(r'_2) &= f(r_1, r'_2, x_{ks}, x_m, s_m, U_{1N}) = \frac{U_{1N}}{\sqrt{(r_1 + r'_2 / s_m(r'_2))^2 + x_{ks}(r'_2)^2}} \\ \mu_m(r'_2) &= \frac{m_1 z_p |I_2(r'_2)|^2 r'_2}{\omega_1 s_m M_N} \\ r'_2 &= \text{root}(\mu_m(r'_2) - \lambda, r'_{20}) \end{aligned}$$

Проведя вычисления, получаем следующие значения:

$$r'_2 = 0.0212(\text{Ом})$$

$$a = 3.1850$$

$$A = 0.8376$$

$$s_m = 0.0938$$

$$b = 0.0962$$

$$x_{s1} = x'_{s2} = x_{ks}/2 = 0.1078(\text{Ом})$$

$$x_m = 5.9954(\text{Ом})$$

$$I'_2 = 35.2838(\text{А})$$

Далее произведем расчёт коэффициентов, зависящих от глубины паза:

$$\begin{aligned} k_r(h) &= h \frac{\text{sh } 2h + \sin 2h}{\text{ch } 2h - \cos 2h} \\ k_x(h) &= \frac{3}{2h} \frac{\text{sh } 2h + \sin 2h}{\text{ch } 2h - \cos 2h} \\ \mu_s(h) &= \frac{m_1 z_p U_{1N}^2 r'_2 k_r}{\omega_1 ((r_1 + r'_2 k_r(h))^2 + (x_{1\sigma} + x'_{2\sigma} k_x(h))^2) M_n} \\ h &= \text{root}(\mu_s(h) - k_s, h_0) \end{aligned}$$

Приблизительное значение h_0 примем равным 2, т.к. двигатель имеет мощность 90кВт. После расчётов имеем следующие значения:

$$h = 2.4322$$

$$k_r = 2.4004$$

$$k_x = 0.6275$$

Формулы для вычисления механической и электромеханической характеристик выглядят так:

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{m z_p U_{1N}^2 r'_2}{\omega s ((r_1 + r'_2/s)^2 + (x_{s1} + x'_{s2})^2)}; M_k(s) = \frac{m z_p U_{1N}^2 r'_2 k_r(s)}{\omega s ((r_1 + r'_2/s)^2 + (x_{s1} + x'_{s2} k_x(s))^2)} \\ I_2 &= \frac{U_{1N}}{\sqrt{(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_{s1} + x'_{s2})^2}}; I'_{2k} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{(r_1 + r'_2 k_r/s)^2 + (x_{s1} + x'_{s2} k_x)^2}}; \end{aligned}$$

Рабочие характеристики асинхронного двигателя представляют собой графически выраженные зависимости частоты вращения n_2 , КПД η , полезного момента (момента на валу) M_2 , коэффициента мощности $\cos \phi$, и тока статора I_1 от полезной мощности P_2 при $U_1 = \text{const}$ и $f_1 = \text{const}$.

$$\begin{aligned}\Delta P_{mc}, \Delta P_{ex}, \Delta P_{1Fe}(s) &\approx 0 \\ P_2 = P_{mc} - \Delta P_{mc} - \Delta P_{ex} &\approx m_1 I_2'^2 r_2' \frac{1-s}{s} \\ P_1 = P_2 + \Delta P_{1Cu} + \Delta P_{1Fe} + \Delta P_{2Cu} &\approx P_2 + m_1 I_1'^2 r_1 + m_1 I_2'^2 r_2' \\ I_1 = I_2' + \frac{U_{1N}}{c_{1(=1)} \cdot x_m} \\ \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \\ n_2 = n_N \cdot s \\ \cos \phi = \frac{P_1}{3U_{1N}I_{1N}}\end{aligned}$$

4 Графики механической и электромеханической характеристик с учетом и без учета вытеснения тока

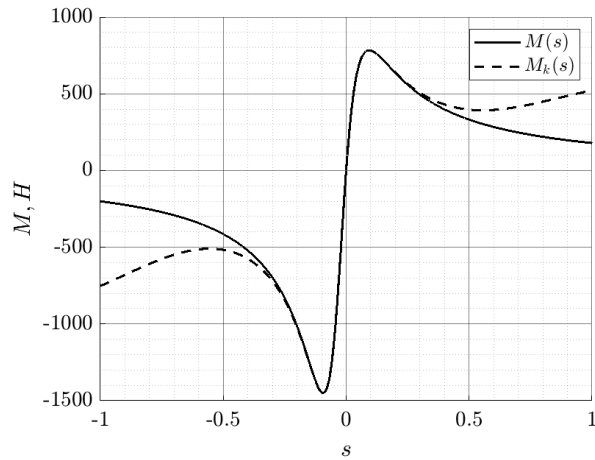


Рис. 3: Зависимость $M(s)$

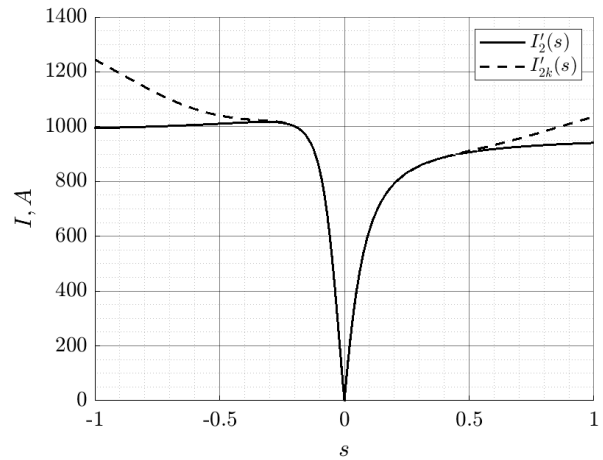


Рис. 4: Зависимость $I_2'(s)$

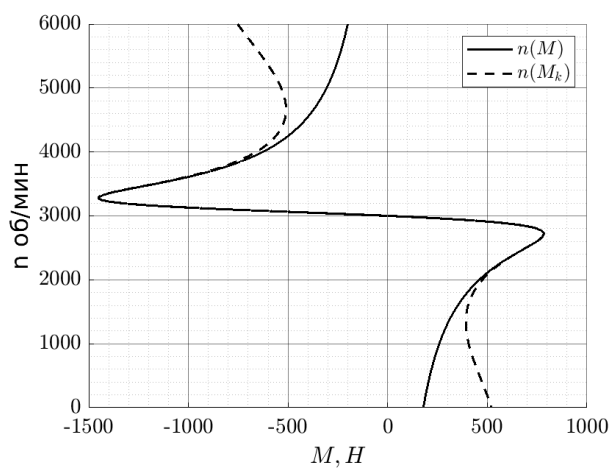


Рис. 5: Механическая характеристика

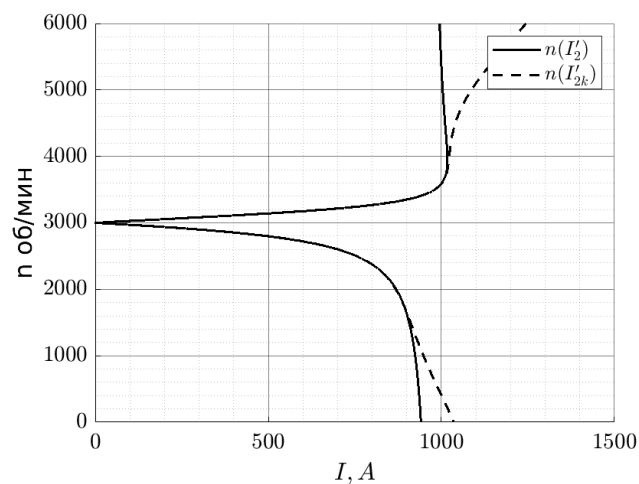


Рис. 6: Электромеханическая характеристика

5 Графики рабочей характеристики без учета вытеснения тока

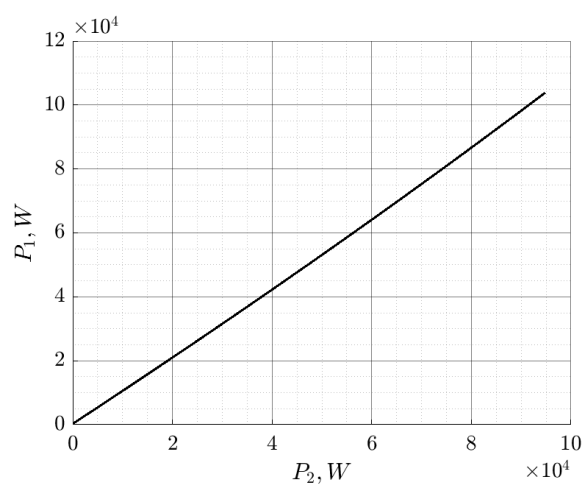


Рис. 7: Рабочая характеристика $P_1(P_2)$

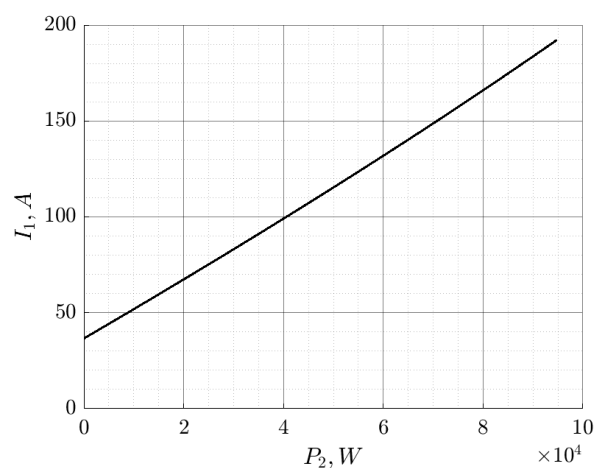


Рис. 8: Рабочая характеристика $I_1(P_2)$

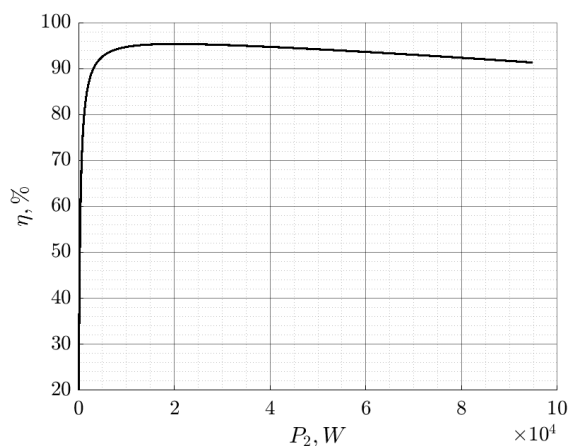


Рис. 9: Рабочая характеристика $\eta(P_2)$

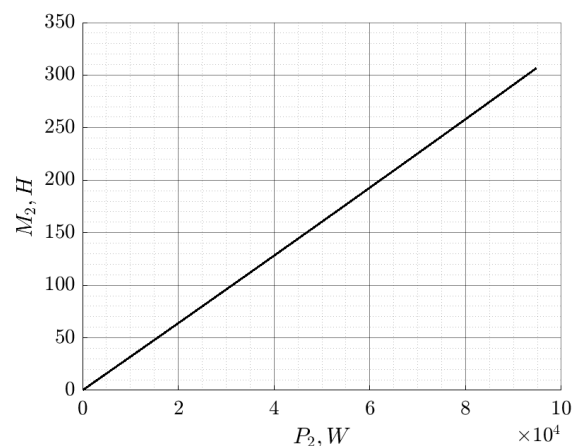


Рис. 10: Рабочая характеристика $M(P_2)$

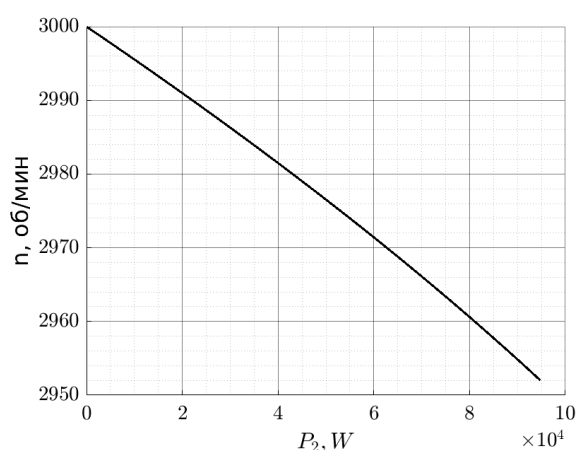


Рис. 11: Рабочая характеристика $n(P_2)$

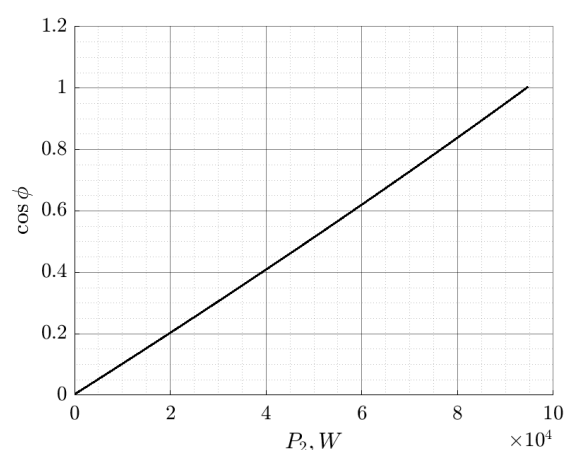


Рис. 12: Рабочая характеристика $\cos \phi(P_2)$

6 Графики рабочей характеристики с учетом вытеснения тока

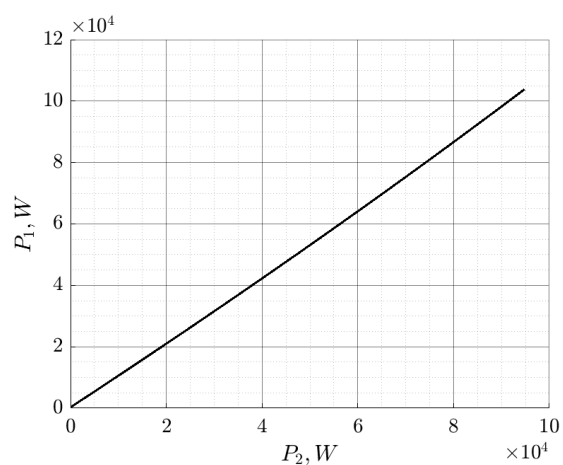


Рис. 13: Рабочая характеристика $P_1(P_2)$

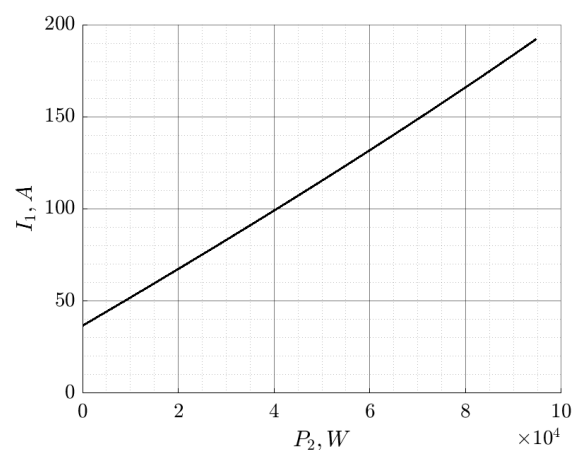


Рис. 14: Рабочая характеристика $I_1(P_2)$

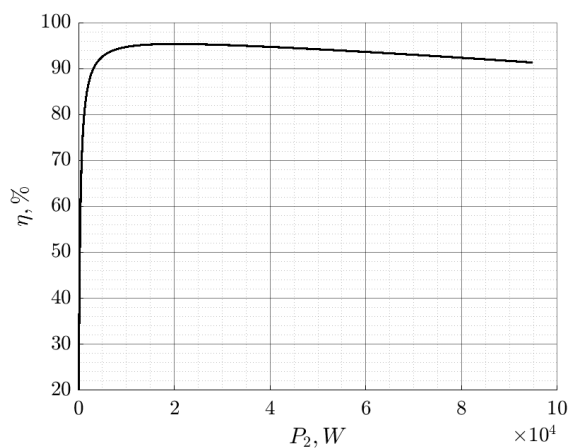


Рис. 15: Рабочая характеристика $\eta(P_2)$

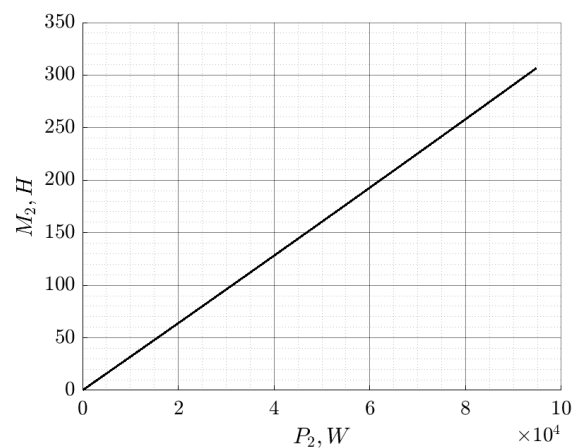


Рис. 16: Рабочая характеристика $M(P_2)$

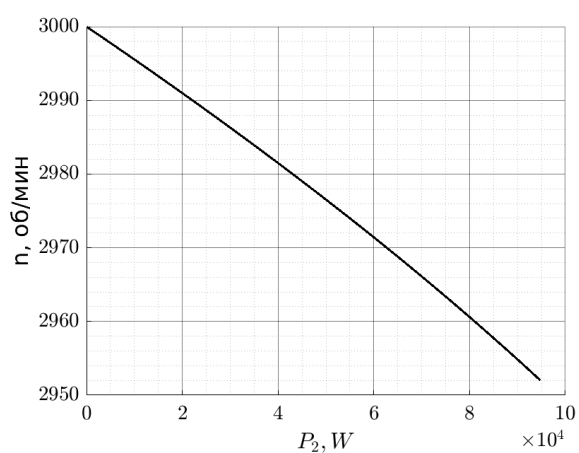


Рис. 17: Рабочая характеристика $n(P_2)$

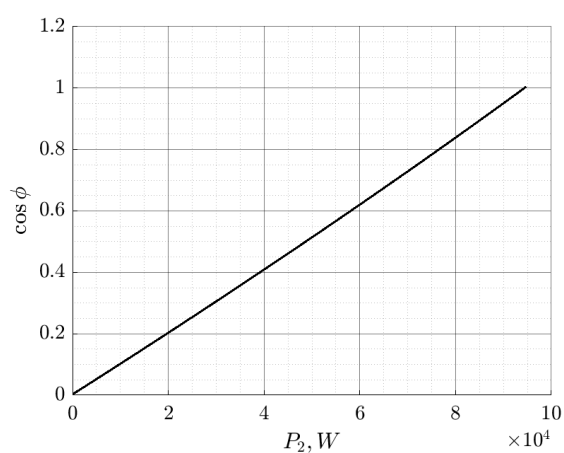


Рис. 18: Рабочая характеристика $\cos \phi(P_2)$

7 Ссылка на использованную программу

https://github.com/japersik/electrical_machines_design

