

Задача 3(2). Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, сопротивление фаз обмоток которого R_1, R_2, X_1, X_2 , соединен треугольником и работает при напряжении $U_{ном}$ с частотой $f=50$ Гц. Число витков на фазу обмоток ω_1, ω_2 , число пар полюсов p . Определить: пусковые токи статора и ротора; пусковой вращающий момент; коэффициент мощности при пуске двигателя без пускового реостата; значение сопротивления пускового реостата, обеспечивающего максимальный пусковой момент; величину максимального пускового момента и коэффициент мощност при пуске двигателя с реостатом. При расчете током холостого хода пренебречь. Построить естественную механическую характеристику двигателя.

Данные для расчета приведены в табл.1.

Таблица 1 – Параметры трехфазного асинхронного двигателя

№ варианта	$U_H,$ B	$R_1,$ $Ом$	$R_2,$ $Ом$	$X_1,$ $Ом$	$X_2,$ $Ом$	ω_1	ω_2	p	$S_H,$ %
2	380	0,62	0,04	1,84	0,42	362	72	2	3,5

Решение

1. Для приведения обмотки ротора к обмотке статора определяем коэффициент трансформации

$$n = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{362}{72} = 5.028$$

Приведенные значения сопротивлений роторной обмотки

$$R'_2 = R_2 \cdot n^2 = 0.04 \cdot 5.028^2 = 1.01 \text{ Ом}$$

$$X'_2 = X_2 \cdot n^2 = 0.42 \cdot 5.028^2 = 10.62 \text{ Ом}$$

Сопротивления короткого замыкания

$$R_K = R_1 + R'_2 = 0.62 + 1.01 = 1.63 \text{ Ом}$$

$$X_K = X_1 + X'_2 = 1.84 + 10.62 = 12.46 \text{ Ом}$$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \sqrt{1.63^2 + 12.46^2} = 12.57 \text{ Ом}$$

При пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором

Пусковые токи

$$I_{1пуск} = \frac{U_\phi}{Z_K} = \frac{380}{12.57} = 30.23 \text{ A}$$

$$I_{2пуск} = n \cdot I_{1пуск} = 5.028 \cdot 30.23 = 152 \text{ A}$$

Пусковой момент

$$M_{пуск} = \frac{3 \cdot R_2 \cdot I_{2пуск}^2}{\Omega_0} = \frac{3 \cdot 0.04 \cdot 152^2}{157.1} = 17.65 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где

синхронная частота (частота вращения магнитного поля статора)

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин},$$

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157.1 \text{ 1/с.}$$

Пусковой коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{\text{пуск}} = \frac{R_K}{Z_K} = \frac{1.63}{12.57} = 0.130$$

Токи и вращающий момент при работе двигателя с номинальным скольжением $s_H = 0.035$

$$Z_H = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'}{s_H}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2} = \sqrt{\left(0.62 + \frac{1.01}{0.035}\right)^2 + (1.84 + 10.62)^2} = 32.0 \text{ Ом}$$

$$I_{1\text{ном}} = \frac{U_\Phi}{Z_H} = \frac{380}{32.0} = 11.88 \text{ А}$$

$$I_{2\text{ном}} = n \cdot I_{1\text{ном}} = 5.028 \cdot 11.88 = 59.7 \text{ А}$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{3 \cdot \frac{R_2}{s_{\text{ном}}} \cdot I_{2\text{ном}}^2}{\Omega_0} = \frac{3 \cdot \frac{0.04}{0.035} \cdot 59.7^2}{157.1} = 77.8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Критическое скольжение и критический (максимальный) момент

$$s_{\text{кр}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} = \frac{1.01}{\sqrt{0.62^2 + 12.46^2}} = 0.081$$

$$M_{\text{max}} = \frac{3U_\Phi^2}{2\Omega_0 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right]} = \frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 157.1 \cdot \left(0.62 + \sqrt{0.62^2 + 12.46^2} \right)} = 105.3 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Определяем сопротивление пускового реостата, из условия максимальности пускового вращающего момента ($s_{\text{кр}} = 1$)

Приведенное значение сопротивления пускового реостата

$$R'_p = X_K - R_2' = 105.3 - 1.01 = 104.3 \text{ Ом}$$

Значение сопротивления пускового реостата

$$R_p = \frac{R'_p}{n^2} = \frac{104.3}{5.028^2} = 4.13 \text{ Ом}$$

Пусковые токи при пуске двигателя с реостатом

$$Z_{\text{пуск}} = \sqrt{(R_K + R'_P)^2 + X_K^2} = \sqrt{(1.63 + 104.3)^2 + 12.46^2} = 106.66 \text{ Ом}$$

$$I_{1\text{пуск}} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\text{пуск}}} = \frac{380}{106.66} = 3.563 \text{ А}$$

$$I_{2\text{пуск}} = n \cdot I_{1\text{пуск}} = 5.028 \cdot 3.563 = 17.9 \text{ А}$$

Пусковой момент при пуске двигателя с реостатом

$$M_{\text{пуск}} = \frac{3 \cdot (R_2 + R'_P) \cdot I_{2\text{пуск}}^2}{\Omega_0} = \frac{3 \cdot 4.17 \cdot 17.9^2}{157.1} = 25.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Пусковой коэффициент мощности при пуске двигателя с реостатом

$$\cos \varphi_{\text{пуск}} = \frac{R_K + R'_P}{Z_{\text{пуск}}} = \frac{1.63 + 104.3}{106.66} = 0.993$$

2. Зависимость электромагнитного момента от скольжения $M = f(s)$

Зависимость электромагнитного момента двигателя от скольжения определяется формулой Клосса

$$M(s) = \frac{2M_{\text{max}} \cdot (1 + s_{KP})}{\frac{s}{s_{KP}} + \frac{s_{KP}}{s} + 2s_{KP}}, \quad (1)$$

где

$M_{\text{max}} = 105.3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – критический момент;

$s_K = 0.081$ – критическое скольжение.

Задавая значения скольжения от 0 до 1 по формуле

$$n(s) = n_1 \cdot (1 - s)$$

находим частоту вращения, а по формуле (1) находим электромагнитный момент.

Результаты расчетов сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные данные по формуле Клосса

s	0	$s_H = 0,035$	$s_K = 0,081$	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$n, \text{об/мин}$	1500	$n_H = 1447,5$	$n_K = 1378$	1425	1350	1200	900	600	300	0
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	$M_H = 78,3$	$M_K = 105,3$	94,9	103,2	75,0	43,0	29,6	22,5	$M_{II} = 18,1$

По данным таблицы 2 строим графики $M = f(s)$ и $n = f(M)$.

$M, Н·м$

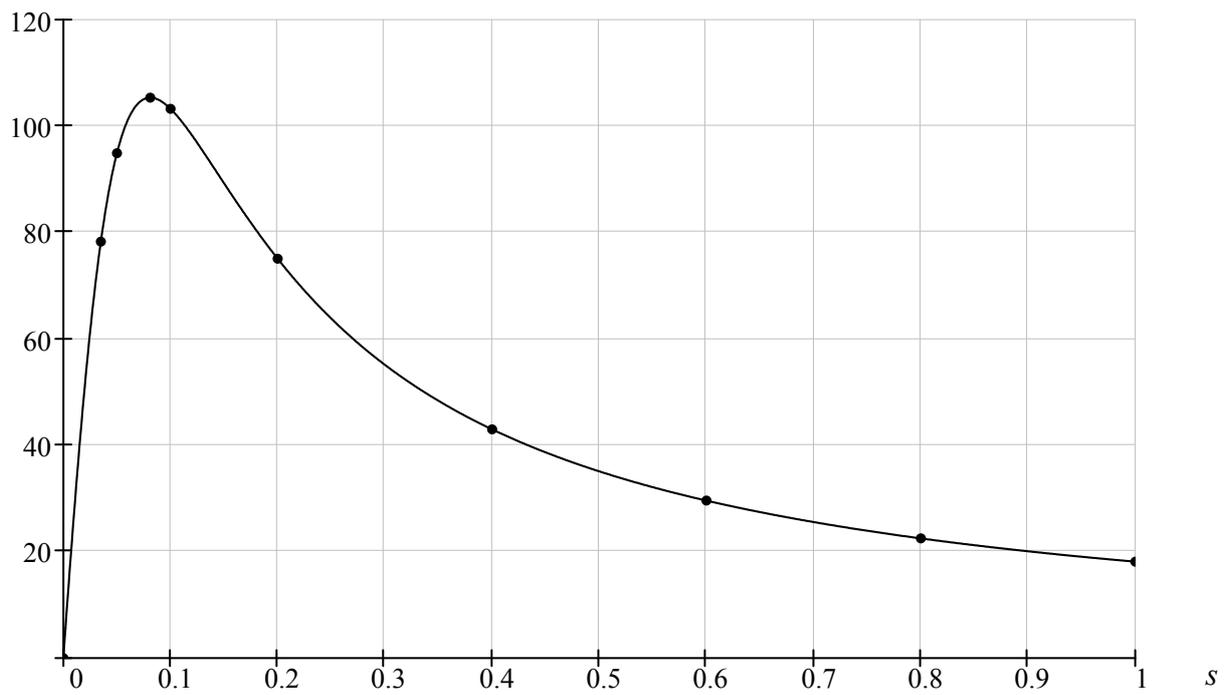


Рис. 1 – Зависимость $M = f(s)$

$n, об/мин$

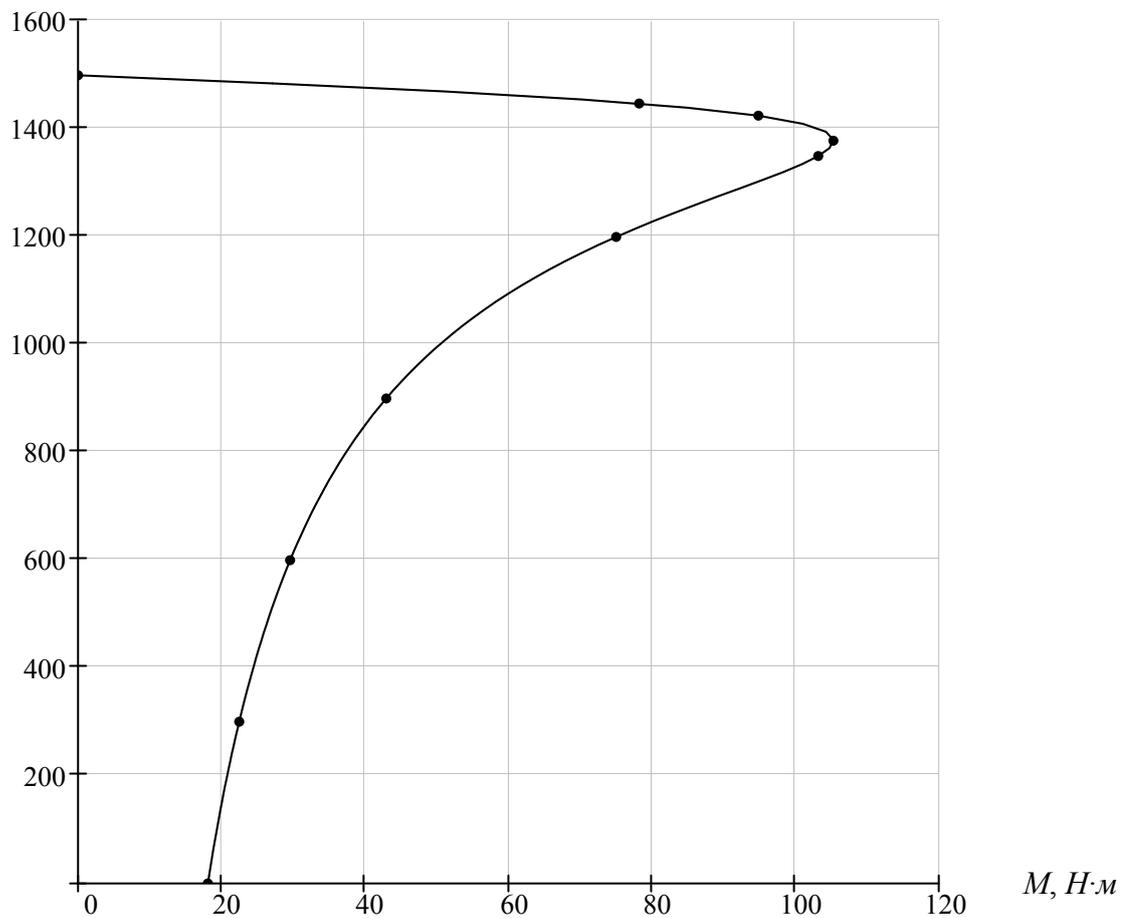


Рис. 2 – Зависимость $n = f(M)$