

diplom-electro.ru

Содержание

Введение	4
1 Выбор основных размеров двигателя	5
2 Расчет обмоток статора и ротора	7
3 Расчет магнитной цепи, потерь и КПД	17
4 Построение и расчет круговой диаграммы	30
5 Расчет параметров и построение рабочих и пусковых характеристик	34
6 Тепловой расчет	40
7 Определение расходов активных материалов и показателей их использования	43
Заключение	45
Список использованных источников	46

Введение

Согласно заданию необходимо спроектировать трехфазный асинхронный электродвигатель типа 4А315М2

Исходные данные для проектирования двигателя

Номинальная мощность $P_{2\text{НОМ}} = 200$ кВт

Номинальный КПД $\eta_{\text{НОМ}} = 0,961$ о. е.

Коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,93$ о. е.

Кратность пускового момента $M_{\text{П*}} = 2,1$ о. е.

Кратность пускового тока $I_{\text{П*}} = 7,3$ о. е.

Число пар полюсов $p = 1$

Номинальная частота $f_1 = 50$ Гц

Номинальное напряжение $U_{1\text{НОМ}} = 380$ В

Конструктивное исполнение - IM1001

Исполнение по способу защиты - IP44

1 Выбор основных размеров двигателя

Частота вращения определяется по формуле:

$$n_1 = 60 \cdot \frac{f_1}{p} \quad (1.1)$$

$$n_1 = 60 \cdot \frac{50}{1} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

По [1, табл. 9.1] при заданной мощности и числе полюсов находим стандартную высоту вращения $h = 315$ мм

Наружный диаметр статора по [1, табл. 9.8] для данной оси вращения

$$D_a = 0,59 \text{ м}$$

Внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a \quad (1.2)$$

$$D = 0,52 \cdot 0,59 = 0,307 \text{ м}$$

где K_D по [1, табл. 9.9] $K_D = 0,52$

Полюсное деление

$$\tau = \pi \cdot \frac{D}{2p} \quad (1.3)$$

$$\tau = 3,14 \cdot \frac{0,307}{2} = 0,482 \text{ м}$$

Расчетная мощность по (9.4)

$$P' = P_{2\text{НОМ}} \cdot 10^3 \cdot \frac{K_e}{\cos\varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} \quad (1.4)$$

$$P' = 200 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,96}{0,9 \cdot 0,96} = 222222,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

где K_e по [1, рис. 9.20]; η и $\cos\varphi$ — по [1, рис. 9.21]

$$K_e = 0,96; \cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,9; \eta_{\text{НОМ}} = 0,96$$

Электромагнитные нагрузки предварительно по [1, рис. 9.22]

$$A = 50000 \frac{\text{А}}{\text{м}}; B_\delta = 0,75 \text{ Тл}$$

Обмоточный коэффициент (предварительно для двухслойной обмотки)

$$k_{\text{об}} = 0,9$$

Коэффициент формы поля

$$k_B = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11$$

Синхронная угловая скорость вала двигателя

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60} \quad (1.5)$$

$$\Omega = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{3000}{60} = 314,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Расчетная длина магнитопровода по (9.6)

$$\ell_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{об} \cdot A \cdot B_\delta} \quad (1.6)$$
$$\ell_\delta = \frac{222222,2}{1,11 \cdot 0,307^2 \cdot 314,2 \cdot 0,9 \cdot 50000 \cdot 0,75} = 0,2 \text{ м}$$

В асинхронных двигателях, длина сердечников которых не превышает 250...300 мм, радиальные вентиляционные каналы не делают. Сердечники

шихтуются в один пакет. Для такой конструкции $\ell_{ст1} = \ell_\delta = 0,2 \text{ м}$

Конструктивная длина сердечника статора $\ell_1 = \ell_{ст1} = 0,2 \text{ м}$

Проверка правильности выбора размеров двигателя

$$\lambda = \frac{\ell_\delta}{\tau} \quad (1.7)$$
$$\lambda = \frac{0,2}{0,482} = 0,41$$

Значение λ находится в допустимых пределах [1,рис. 9.25].

2 Расчет обмоток статора и ротора

По [1, табл. 9.11] зубцовое деление при прямоугольных полуоткрытых пазах статора

$$t_{z1\max} = 0,028 \text{ м}; t_{z1\min} = 0,02 \text{ м}$$

Число пазов статора по (9.16)

$$Z_{1\min} = \pi \cdot \frac{D}{t_{z1\max}} \quad (2.1)$$

$$Z_{1\min} = 3,14 \cdot \frac{0,307}{0,028} = 34$$

$$Z_{1\max} = \pi \cdot \frac{D}{t_{z1\min}} \quad (2.2)$$

$$Z_{1\max} = 3,14 \cdot \frac{0,307}{0,02} = 48$$

В асинхронных двигателях как правило применяют обмотки с целым числом q , поэтому принимаем $Z_1 = 48$

тогда

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} \quad (2.3)$$

$$q = \frac{48}{2 \cdot 3} = 8$$

где число фаз $m = 3$

Обмотка двухслойная концентрическая $n_{\text{сл}} = 2$

Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_{z1} = \pi \cdot \frac{D}{2p \cdot m \cdot q} \quad (2.4)$$

$$t_{z1} = 3,14 \cdot \frac{0,307}{2 \cdot 3 \cdot 8} = 0,0201 \text{ м} = 20,1 \text{ мм}$$

Номинальный ток обмотки статора (по 9.18)

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}} \cdot 10^3}{m \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} \quad (2.5)$$

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,96} = 203,05 \text{ А}$$

Число эффективных проводников в пазу, предварительно при условии $a = 1$ по (9.17)

$$u'_\pi = \pi \cdot D \cdot \frac{A}{I_{1\text{НОМ}} \cdot Z_1} \quad (2.6)$$
$$u'_\pi = 3,14 \cdot 0,307 \cdot \frac{50000}{203,05 \cdot 48} = 4,9 \text{ шт}$$

Принимаем число параллельных ветвей $a = 2$ шт
тогда по (9.19)

$$u_\pi = a \cdot u'_\pi \quad (2.7)$$
$$u_\pi = 2 \cdot 4,9 = 9,8 \text{ шт принимаем } 10 \text{ шт}$$

Окончательные значения:

число витков в фазе по (9.20)

$$w_1 = u_\pi \cdot \frac{Z_1}{2 \cdot a \cdot m} \quad (2.8)$$
$$w_1 = 10 \cdot \frac{48}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 40 \text{ шт}$$

линейная нагрузка по (9.21)

$$A = 2 \cdot I_{1\text{НОМ}} \cdot w_1 \cdot \frac{m}{\pi \cdot D} \quad (2.9)$$
$$A = 2 \cdot 203,05 \cdot 40 \cdot \frac{3}{3,14 \cdot 0,307} = 50527 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

магнитный поток по (9.22)

$$\Phi = K_e \cdot \frac{U_{1\text{НОМ}}}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot K_{\text{об1}} \cdot f_1} \quad (2.10)$$
$$\Phi = 0,99 \cdot \frac{380}{4 \cdot 1,11 \cdot 40 \cdot 0,957 \cdot 50} = 0,0443 \text{ Вб}$$

индукция в магнитном зазоре

$$B_\delta = \rho \cdot \frac{\Phi}{D \cdot \ell_\delta} \quad (2.11)$$
$$B_\delta = 1 \cdot \frac{0,0443}{0,307 \cdot 0,2} = 0,721 \text{ Тл}$$

где при $q = 8$ по [1, табл. 3.16]

$$K_{p1} = 0,957$$

Расчетный шаг по [1, (3.9)]

$$y_{\text{расч}} = 2 \cdot (q + 1) \quad (2.12)$$

$$y_{\text{расч}} = 2 \cdot (8 + 1) = 18$$

Принимаем шаг обмотки $y = 18$

Укорочение шага [1, 3.12]

$$\beta = \frac{y}{\tau_1} \quad (2.13)$$

$$\beta = \frac{18}{24} = 0,75$$

$$\tau_1 = \frac{Z_1}{2p} \quad (2.14)$$

$$\tau_1 = \frac{48}{2} = 24$$

Коэффициент укорочения (3.6)

$$k_{y1} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta\right) \quad (2.15)$$

$$k_{y1} = \sin\left(\frac{3,14}{2} \cdot 0,75\right) = 0,924$$

$$K_{об1} = K_{p1} \cdot k_{y1} \quad (2.16)$$

$$K_{об1} = 0,957 \cdot 0,924 = 0,884$$

для $D_a = 0,272$ м по [1, рис. 9.20] $K_e = 0,99$

Предварительно принимаем произведение линейной нагрузки на плотность

тока [1, рис. 9.27] $AJ_1 = 190 \cdot 10^9 \frac{A^2}{m^3}$

Плотность тока в обмотке статора (предварительно) по (9.25):

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A} \quad (2.17)$$

$$J_1 = \frac{190 \cdot 10^9}{50527} = 3,76 \cdot 10^{-6} \frac{A}{m^2} = 3,76 \frac{A}{mm^2}$$

Площадь поперечного сечения эффективного проводника (предварительно)

по (9.24)

$$q_{эф} = \frac{I_{1НОМ}}{a \cdot J_1} \quad (2.18)$$

$$q_{\text{эф}} = \frac{203,05}{2 \cdot 3,76} = 27 \text{ мм}^2$$

В машинах мощностью более 100 кВт для придания катушкам большей механической прочности их выполняют из прямоугольного провода и укладывают в пазы с параллельными стенками.

Выбираем число элементарных проводников $n_{\text{эл}} = 2$

$$q_{\text{эл}} = \frac{q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}} \quad (2.19)$$

$$q_{\text{эл}} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ мм}^2$$

Расчет размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора

Обмотка из прямоугольного провода укладывается в прямоугольные пазы (рис. 9.28). Боковые стенки таких пазов параллельны, поэтому зубцы статора имеют трапециевидальное сечение, и индукция в них неравномерна.

Принимаем предварительно по [1, табл. 9.12] при $2p=2$

Индукция в зубце статора $B_{z\text{max}} = B_{z1} = 1,6 \text{ Тл}$

Индукция в ярме статора $B_a = 1,4 \text{ Тл}$

где коэффициент заполнения сердечника сталью [1, табл. 9.13] при $h=315$ $K_c = 0,95$

тогда минимальная ширина зубца по (9.29)

$$b_{z1\text{min}} = B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot \frac{\ell_{\delta}}{B_{z\text{max}} \cdot \ell_{\text{ст1}} \cdot K_c} \quad (2.20)$$

$$b_{z1\text{min}} = 0,721 \cdot 0,0201 \cdot \frac{0,2}{1,6 \cdot 0,2 \cdot 0,95} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Ширина паза предварительно по (9.32)

$$b_{\text{п}} = t_{z1} - b_{z1\text{min}} \quad (2.21)$$

$$b_{\text{п}} = 0,0201 - 9,5 \cdot 10^{-3} = 0,0106 \text{ м} = 10,6 \text{ мм}$$

Ширина проводника b должна быть меньше ширины паза на толщину всей изоляции с учетом допусков, т. е. корпусной, витковой (если она устанавливается в данной конструкции) и проводниковой, а также припусков на сборку сердечников, тогда по (9.35)

$$b'_{эл} = 0.5 \cdot (b_{п} - 2 \cdot b_{из} - \Delta b) \quad (2.22)$$

$$b'_{эл} = 0.5 \cdot (10,6 - 2 \cdot 1,1 - 0,3) = 4,05 \text{ мм}$$

где по [1,табл. 3.9] $b_{из} = 1,1 \text{ мм}$

по [1,табл. 9.14] $\Delta b = 0,3 \text{ мм}$; $\Delta h = 0,3 \text{ мм}$

По [1, П 3.2] выбираем провод прямоугольного сечения ПЭТП

$$1 \times \frac{0,8 \times 2}{0,92 \times 2,12}$$

Расчетное сечение проволоки $q_{эл} = 8,897 \text{ мм}^2$

Окончательное сечение эффективного проводника

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} \quad (2.23)$$

$$q_{эф} = 8,897 \cdot 4 = 35,588 \text{ мм}^2$$

Ориентируясь на [1,табл. 3.9], составляем таблицу заполнения паза статора.

Размеры паза в штампе [1,рис. 9.76, а] принимаем с учетом припусков [1, табл. 9.14]

Таблица 2.1-Заполнение паза статора

Наименование	Размер, мм	
	по ширине паза	по высоте паза
Обмоточный провод изолированный 2,36x4,12	4,12·2=8,2	2,36·10=23,6
Пазовая изоляция и допуск на укладку	2,2	4,5
Всего на паз без клина	10,4	28,1
Припуск	0,3	0,3
Всего на паз с учетом припусков	10,7	28,4

Ширина шлица паза выбирается из условия обеспечения свободной укладки полукатушек в паз

$$b_{ш} = 0.5 \cdot b_{п} + 1 \quad (2.24)$$

$$b_{ш} = 0.5 \cdot 10,7 + 1 = 6,4 \text{ мм}$$

Высоту шлица и высоту клиновой части паза выполняют в пределах

$h_{ш} = 0,6 \dots 0,8$ мм и $h_{к} = 2,5 \dots 3,5$ мм принимаем $h_{ш} = 0,8$ мм; $h_{к} = 3$ мм

Окончательное сечение эффективного проводника

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} \quad (2.25)$$

$$q_{эф} = 8,897 \cdot 2 = 17,794 \text{ мм}^2$$

Плотность тока в обмотке статора (окончательно) по (9.27)

$$J_1 = \frac{I_{1ном}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} \quad (2.26)$$

$$J_1 = \frac{203,05}{2 \cdot 8,897 \cdot 2} = 5,706 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Расчет ротора

Воздушный зазор по [1, рис. 9.31] $\delta = 1,4$ мм

Число пазов ротора по [1, табл. 9.18] $Z_2 = 38$

пазы ротора выполняем без скоса $\beta_{ск} = 0$; $k_{ск} = 1$

Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta \quad (2.27)$$

$$D_2 = 307 - 2 \cdot 1,4 = 304,2 \text{ мм} = 0,3042 \text{ м}$$

Длина магнитопровода ротора $\ell_{ст2} = \ell_{ст1} = 0,2$ м

Зубцовое деление ротора

$$t_{z2} = \pi \cdot \frac{D_2}{Z_2} \quad (2.28)$$

$$t_{z2} = 3,14 \cdot \frac{304,2}{38} = 25,1 \text{ мм} = 0,0251 \text{ м}$$

В двигателях с высотой оси вращения более 250 мм сердечники крепят на валу с помощью шпонки. Тогда по (9.102) внутренний диаметр сердечника ротора : $D_j = D_B = 0,1298$ м

$$D_B = k_B \cdot D_a \quad (2.29)$$

$$D_B = 0,22 \cdot 0,59 = 0,1298 \text{ м}$$

где по [1, табл. 9.19] коэффициент $k_B = 0,22$

В большинстве двигателей с высотой оси вращения $h > 250$ мм выполняют аксиальные каналы в целях некоторого улучшения условий охлаждения ро-

тора и снижения его массы и момента инерции. Принимаем расположение каналов в один ряд $m_{k2} = 1$ шт

Принимаем 12 аксиальных каналов с диаметром $d_{k2} = 0,03$ м по (9.58)

$$k_i = 0.2 + 0.8 \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \quad (2.30)$$

$$k_i = 0.2 + 0.8 \cdot 0,9 = 0,92$$

по (9.66)

$$v_i = 2 \cdot m \cdot w_1 \cdot \frac{K_{061}}{Z_2 \cdot k_{\text{СК}}} \quad (2.31)$$

$$v_i = 2 \cdot 3 \cdot 40 \cdot \frac{0,884}{38 \cdot 1} = 5,58$$

Ток в обмотке ротора по (9.57)

$$I_2 = k_i \cdot I_{1\text{НОМ}} \cdot v_i \quad (2.32)$$

$$I_2 = 0,92 \cdot 203,05 \cdot 5,58 = 1042,38 \text{ А}$$

Плотность тока в стержне литой клетки принимаем $J_2 = 3,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

Площадь поперечного сечения стержня (предварительно) по (9.68)

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} \quad (2.33)$$

$$q_c = \frac{1042,38}{3,5} = 297,8 \text{ мм}^2$$

Принимаем трапециевидные закрытые пазы [1, рис. 9.40, б] с размерами шлица паза

$$b_{\text{ш}} = 1,5 \text{ мм}; h_{\text{ш}} = 0,7 \text{ мм}; h'_{\text{ш}} = 1 \text{ мм}$$

Принимаем допустимую индукцию в зубцах ротора по [1, табл. 9.12]

$$B_{z2} = 1,7 \text{ Тл}$$

Допустимая ширина зубца по (9.75)

$$b_{z2\text{доп}} = B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot \frac{\ell_{\delta}}{B_{z2} \cdot \ell_{\text{СТ2}} \cdot K_c} \quad (2.34)$$

$$b_{z2\text{доп}} = 0,721 \cdot 25,1 \cdot \frac{0,2}{1,7 \cdot 0,2 \cdot 0,97} = 10,97 \text{ мм}$$

принимаем $b_{z2} = b_{z2\text{доп}} = 11 \text{ мм}$

где коэффициент заполнения сердечника сталью [1, табл. 9.13] при оксидировании $K_c = 0,97$

Определяем размеры грушевидного паза ротора по [1, 9.76-9.78]

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{ш} - 2 \cdot h'_{ш}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} \quad (2.35)$$

$$b_1 = \frac{3,14 \cdot (304,2 - 2 \cdot 0,7 - 2 \cdot 1) - 38 \cdot 11}{3,14 + 38} = 10,2 \text{ мм}$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}}} \quad (2.36)$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{10,2^2 \cdot \left(\frac{38}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 297,8}{\frac{38}{3,14} + \frac{3,14}{2}}} = 4,1 \text{ мм}$$

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} \quad (2.37)$$

$$h_1 = (10,2 - 4,1) \cdot \frac{38}{2 \cdot 3,14} = 36,9 \text{ мм}$$

Полная высота паза ротора

$$h_{\pi} = \frac{b_1 + b_2}{2} + h_1 + h_{ш} + h'_{ш} \quad (2.38)$$

$$h_{\pi} = \frac{10,2 + 4,1}{2} + 36,9 + 0,7 + 1 = 45,8 \text{ мм}$$

Уточняем ширину зубцов ротора по формулам [1, табл. 9.20]

$$b'_{z2} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2 \cdot (h_{ш} + h'_{ш}) \cdot b_1}{Z_2} - b_1 \quad (2.39)$$

$$b'_{z2} = 3,14 \cdot \frac{304,2 - 2 \cdot (0,7 + 1) \cdot 10,2}{38} - 10,2 = 13,8 \text{ мм}$$

$$b''_{z2} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2 \cdot h_{\pi} + b_2}{Z_2} - b_2 \quad (2.40)$$

$$b''_{z2} = 3,14 \cdot \frac{304,2 - 2 \cdot 45,8 + 4,1}{38} - 4,1 = 13,8 \text{ мм}$$

$$b_{z2} = b'_{z2} = b''_{z2} = 13,8 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения стержня по (9.79)

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 \quad (2.41)$$

$$q_c = \frac{3,14}{8} \cdot (10,2^2 + 4,1^2) + \frac{1}{2} \cdot (10,2 + 4,1) \cdot 36,9 = 311,3 \text{ мм}^2$$

Плотность тока в стержне

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} \quad (2.42)$$

$$J_2 = \frac{1042,38}{311,3} = 3,35 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Плотность тока в стержне определяем по (9.70) и (9.71)

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{p}{Z_2}\right) \quad (2.43)$$

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(3,14 \cdot \frac{1}{38}\right) = 0,165$$

$$I_{\text{кл}} = \frac{I_2}{\Delta} \quad (2.44)$$

$$I_{\text{кл}} = \frac{1042,38}{0,165} = 6317,45 \text{ А}$$

Плотность тока в замыкающих кольцах

$$J_{\text{кл}} = 0,85 \cdot J_2 \quad (2.45)$$

$$J_{\text{кл}} = 0,85 \cdot 3,35 = 2,85 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Замыкающие кольца литой обмотки обычно выполняют с поперечным сечением в виде неправильной трапеции, прилегающей своим большим основанием к торцу ротора.

Площадь поперечного сечения кольца по (9.72)

$$q_{\text{кл}} = \frac{I_{\text{кл}}}{J_{\text{кл}}} \quad (2.46)$$

$$q_{\text{кл}} = \frac{6317,45}{2,85} = 2216,6 \text{ мм}^2$$

Размеры короткозамыкающих колец:

$$h_{\text{кл}} = 1,25 \cdot h_{\text{п}} \quad (2.47)$$

$$h_{\text{кл}} = 1,25 \cdot 45,8 = 57 \text{ мм}$$

$$b_{\text{кл}} = \frac{q_{\text{кл}}}{h_{\text{кл}}} \quad (2.48)$$

$$b_{\text{кл}} = \frac{2216,6}{57} = 39 \text{ мм}$$

$$q_{\text{кл}} = h_{\text{кл}} \cdot b_{\text{кл}} \quad (2.49)$$

$$q_{\text{кл}} = 57 \cdot 39 = 2223 \text{ мм}^2$$

$$D_{\text{кл.ср}} = D_2 - h_{\text{кл}} \quad (2.50)$$

$$D_{\text{кл.ср}} = 304,2 - 57 = 247 \text{ мм}$$

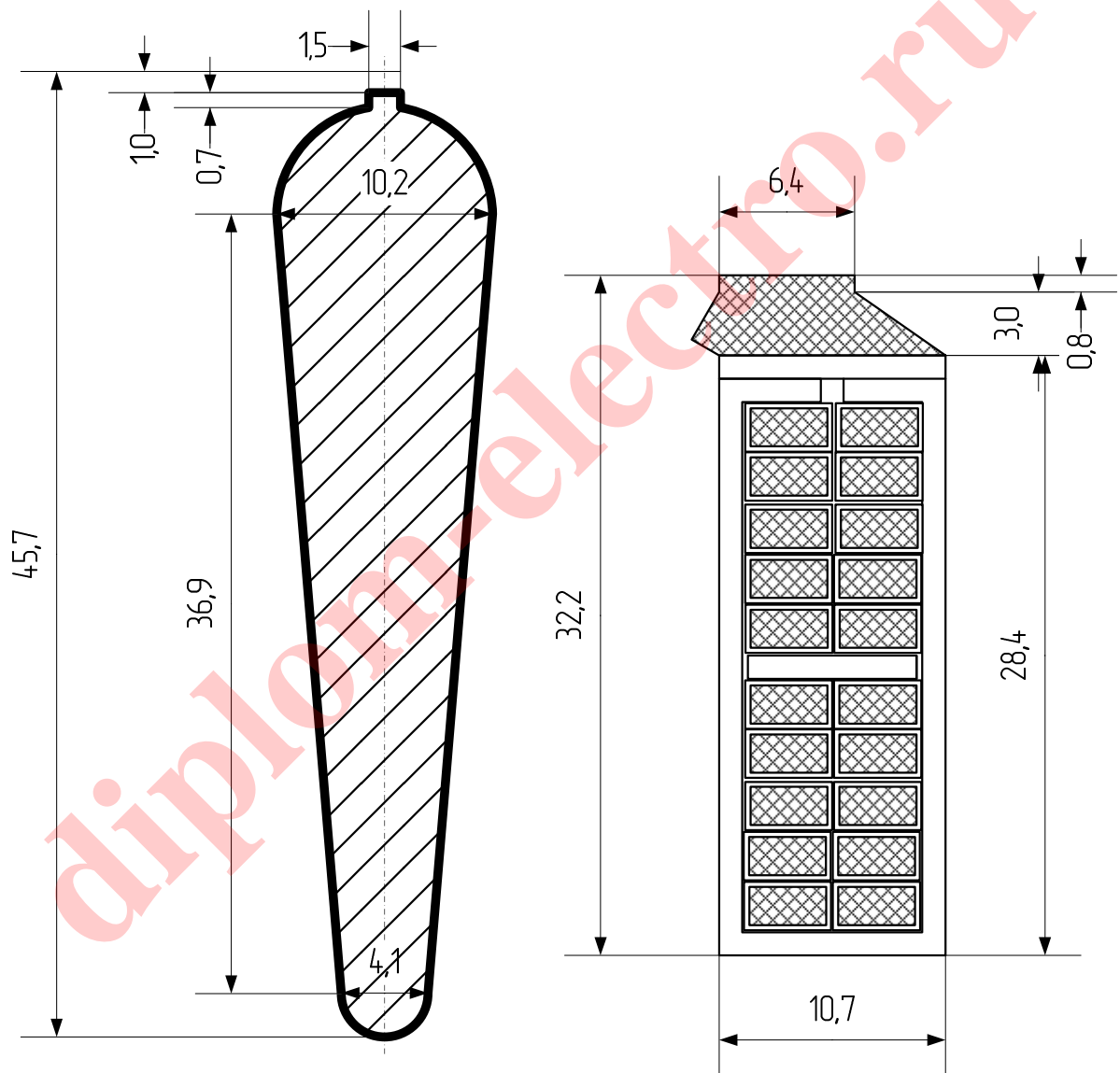


Рисунок 2.1-Пазы статора и ротора спроектированного двигателя

3 Расчет магнитной цепи, потерь и КПД

Расчет магнитной цепи

Магнитопровод из стали 2314; толщина листов 0,5 мм.

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{\text{III}}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{\text{III}}}{\delta}} \quad (3.1)$$

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{4}{1,4}\right)^2}{5 + \frac{4}{1,4}} = 1,04$$

по (4.15)

$$k_\delta = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \cdot \delta} \quad (3.2)$$

$$k_\delta = \frac{20,1}{20,1 - 1,04 \cdot 1,4} = 1,08$$

Магнитное напряжение воздушного зазора по (9.103)

$$F_\delta = 1,59 \cdot 10^6 \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$F_\delta = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,721 \cdot 1,4 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} = 1733,34 \text{ А}$$

Расчетная высота зубца статора $h_{z1} = h_{\text{II}} = 0,0582 \text{ м}$

Расчетная индукция в зубцах статора (9.105)

$$B_{sz1} = B_\delta \cdot t_{z1} \cdot \frac{\ell_\delta}{b_{z1} \cdot \ell_{\text{ст1}} \cdot K_c} \quad (3.4)$$

$$B_{sz1} = 0,721 \cdot 20,1 \cdot \frac{0,2}{9,9 \cdot 0,2 \cdot 0,95} = 1,54 \text{ Тл}$$

По [1, П. 1.7] для расчетной индукции B_{z1} находим $H_{z1} = 1090 \frac{\text{А}}{\text{м}}$

Магнитное напряжение зубцовой зоны статора по (9.104)

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} \quad (3.5)$$

$$F_{z1} = 2 \cdot 0,0582 \cdot 1090 = 126,9 \text{ А}$$

Расчетная высота зубца ротора

$$h_{z2} = h_{\text{II}} - 0,1 \cdot b_2 \quad (3.6)$$

$$h_{z2} = 0,046 - 0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,0456 \text{ м} = 45,6 \text{ мм}$$

Расчетная индукция в зубцах ротора (9.109)

$$B'_{z2} = B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot \frac{\ell_{\delta}}{b_{z2} \cdot \ell_{ст2} \cdot K_c} \quad (3.7)$$
$$B'_{z2} = 0,721 \cdot 25,1 \cdot \frac{0,2}{11 \cdot 0,2 \cdot 0,97} = 1,7 \text{ Тл}$$

по [1, П. 1.7] для расчетной индукции B'_{z2} находим $H_{z2} = 2180 \frac{\text{А}}{\text{м}}$

Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора по (9.108)

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} \quad (3.8)$$
$$F_{z2} = 2 \cdot 0,0456 \cdot 2180 = 198,8 \text{ А}$$

Коэффициент насыщения зубцовой зоны по (9.115)

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} \quad (3.9)$$
$$k_z = 1 + \frac{126,9 + 198,8}{1733,34} = 1,19$$

Расчетная высота ярма статора по (9.118)

$$h'_a = \frac{D_a - D}{2} - h_{\pi} \quad (3.10)$$
$$h'_a = \frac{0,59 - 0,307}{2} - 0,0582 = 0,0833 \text{ м}$$

Длина средней магнитной силовой линии в ярме статора по (9.119)

$$L_a = \pi \cdot \frac{D_a - h'_a}{2p} \quad (3.11)$$
$$L_a = 3,14 \cdot \frac{0,59 - 0,0833}{2} = 0,7959 \text{ м}$$

Индукция в ярме статора по (9.117)

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_a \cdot \ell_{ст1} \cdot K_c} \quad (3.12)$$
$$B_a = \frac{0,0443}{2 \cdot 0,0833 \cdot 0,2 \cdot 0,95} = 1,4 \text{ Тл}$$

по [1, П.1.6] для расчетной индукции находим $H_a = 895 \frac{\text{А}}{\text{м}}$

Магнитное напряжение ярма статора по (9.116)

$$F_a = L_a \cdot H_a \quad (3.13)$$

$$F_a = 0,7959 \cdot 895 = 712,33 \text{ A}$$

Расчетная высота ярма ротора по (9.124)

$$h'_j = \frac{2+p}{3.2 \cdot p} \cdot \left(\frac{D_2}{2} - h_{\pi} \right) - \frac{2}{3} \cdot m_{k2} \cdot d_{k2} \quad (3.14)$$

$$h'_j = \frac{2+1}{3.2 \cdot 1} \cdot \left(\frac{0,304}{2} - 0,046 \right) - \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 0,03 = 0,0794 \text{ м} = 79,4 \text{ мм}$$

Высота ярма ротора для двухполюсных двигателей с непосредственно посадкой сердечника ротора на вал определяется по (9.126)

$$h_j = \frac{D_2 - D_B}{2} - h_{\pi} \quad (3.15)$$

$$h_j = \frac{0,3042 - 0,1298}{2} - 0,046 = 0,0412 \text{ м}$$

Длина средней магнитной силовой линии в ярме ротора по (9.125)

$$L_j = 2 \cdot h_j \quad (3.16)$$

$$L_j = 2 \cdot 0,0412 = 0,0824 \text{ м}$$

Расчетная индукция в ярме ротора по (9.122)

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot \ell_{ст2} \cdot K_c} \quad (3.17)$$

$$B_j = \frac{0,0443}{2 \cdot 0,0794 \cdot 0,2 \cdot 0,97} = 1,44 \text{ Тл}$$

по [1, П.1.6] находим $H_j = 985 \frac{\text{A}}{\text{м}}$

Магнитное напряжение ярма ротора по (9.121)

$$F_j = L_j \cdot H_j \quad (3.18)$$

$$F_j = 0,2686 \cdot 985 = 264,57 \text{ A}$$

Магнитное напряжение на пару полюсов (по 9.128)

$$F_{\pi} = F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j \quad (3.19)$$

$$F_{\pi} = 1733,34 + 126,9 + 198,8 + 712,33 + 264,57 = 3035,94 \text{ A}$$

Коэффициент насыщения магнитной цепи по (9.129)

$$k_{\mu} = \frac{F_{\pi}}{F_{\delta}} \quad (3.20)$$

$$k_{\mu} = \frac{3035,94}{1733,34} = 1,75$$

Намагничивающий ток по (9.130)

$$I_{\mu} = p \cdot \frac{F_{\mu}}{0,9 \cdot m \cdot w_1 \cdot K_{061}} \quad (3.21)$$

$$I_{\mu} = 1 \cdot \frac{3035,94}{0,9 \cdot 3 \cdot 40 \cdot 0,884} = 31,8 \text{ А}$$

Относительное значение по (9.131)

$$I_{*\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_{1НОМ}} \quad (3.22)$$

$$I_{*\mu} = \frac{31,8}{203,05} = 0,157$$

Параметры рабочего режима

Для класса нагревостойкости изоляции F расчетная температура $v_{\text{расч}} = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Для медных проводников обмотки статора сопротивление

$$\rho_{115} = \frac{10^{-6}}{41} = 2,439 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

В проводниках обмотки статора асинхронных машин эффект вытеснения тока проявляется незначительно из-за малых размеров элементарных проводников. Поэтому коэффициент увеличения активного сопротивления фазы обмотки от действия эффекта вытеснения тока принимаем $k_R = 1$

Относительное укорочение шага обмотки $\beta = 0,75$

Средняя ширина катушки по (9.138)

$$b_{\text{кт}} = \pi \cdot \frac{D + h_{\text{п}}}{2p} \cdot \beta \quad (3.23)$$

$$b_{\text{кт}} = 3,14 \cdot \frac{0,307 + 0,0582}{2} \cdot 0,75 = 0,43 \text{ м}$$

Катушки из прямоугольного провода
длина лобовой части витка

$$m = \frac{b + S}{t_{z1}} \quad (3.24)$$

$$m = \frac{0,025 + 3,5 \cdot 10^{-3}}{0,0201} = 1,418 \text{ м}$$

ширина меди катушки в лобовой части $b = 0,025 \text{ м}$

Допустимое расстояние между медью проводников соседних катушек по [1,табл. 9.24] $S = 0,0065 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Зубцовое деление статора $t_{z1} = 0,0201 \text{ м}$

По выражениям (9.142)-(9.143) определяем

$$K_L = 1 \quad (3.25)$$

$$K_{\text{ВЫЛ}} = 0,5 \cdot K_L \cdot m \quad (3.26)$$

$$K_{\text{ВЫЛ}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 1,418 = 0,709$$

Вылет прямолинейной части катушек из паза по [1,табл. 9.24] $B = 0,04 \text{ м}$

Длина лобовой части по (9.139)

$$\ell_L = K_L \cdot b_{\text{КТ}} + 2 \cdot B + h_{\text{П}} \quad (3.27)$$

$$\ell_L = 1 \cdot 0,43 + 2 \cdot 0,04 + 0,0582 = 0,568 \text{ м}$$

Длина вылета лобовой части катушки по (9.140)

$$\ell_{\text{ВЫЛ}} = K_{\text{ВЫЛ}} \cdot b_{\text{КТ}} + B + 0,5 \cdot h_{\text{П}} \quad (3.28)$$

$$\ell_{\text{ВЫЛ}} = 0,709 \cdot 0,43 + 0,04 + 0,5 \cdot 0,0582 = 0,374 \text{ м}$$

Длина пазовой части равна конструктивной длине сердечников машины

$$\ell_{\text{П}} = \ell_1 = 0,2 \text{ м}$$

Средняя длина витка обмотки

$$\ell_{\text{СР}} = 2 \cdot (\ell_{\text{П}} + \ell_L) \quad (3.29)$$

$$\ell_{\text{СР}} = 2 \cdot (0,2 + 0,568) = 1,536 \text{ м}$$

Общая длина проводников фазы обмотки статора

$$L_1 = \ell_{\text{СР}} \cdot w_1 \quad (3.30)$$

$$L_1 = 1,536 \cdot 40 = 61,44 \text{ м}$$

Активное сопротивление обмотки статора по (9.132)

$$r_1 = k_R \cdot \rho_{115} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot 10^{-6} \cdot a} \quad (3.31)$$

$$r_1 = 1 \cdot 2,439 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{61,44}{17,794 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 0,042 \text{ Ом}$$

Относительное значение

$$r_{1*} = r_1 \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} \quad (3.32)$$

$$r_{1*} = 0,042 \cdot \frac{203,05}{380} = 0,022 \text{ о. е.}$$

Для литой алюминиевой обмотки ротора $\rho_{115} = \frac{10^{-6}}{20,5} = 4,878 \cdot \frac{10^{-8}\text{Ом}}{\text{м}}$

Сопротивление стержня по (9.169)

$$r_c = \rho_{115} \cdot \frac{\ell_{\text{ст}2}}{q_c \cdot 10^{-6}} \quad (3.33)$$

$$r_c = 4,878 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,2}{311,3 \cdot 10^{-6}} = 3,134 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

Сопротивление участка замыкающего кольца, заключенного между двумя соседними стержнями

$$r_{\text{кл}} = \rho_{115} \cdot \pi \cdot D_{\text{кл.ср}} \cdot \frac{10^{-3}}{Z_2 \cdot q_{\text{кл}} \cdot 10^{-6}} \quad (3.34)$$

$$r_{\text{кл}} = 4,878 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 247 \cdot \frac{10^{-3}}{38 \cdot 2223 \cdot 10^{-6}} = 4,481 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}$$

Активное сопротивление фазы обмотки ротора по (9.168)

$$r_2 = r_c + 2 \cdot \frac{r_{\text{кл}}}{\Delta^2} \quad (3.35)$$

$$r_2 = 3,134 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 4,481 \cdot \frac{10^{-7}}{0,165^2} = 6,426 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{p}{Z_2}\right) \quad (3.36)$$

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(3,14 \cdot \frac{1}{38}\right) = 0,165$$

Приводим сопротивление ротора к числу витков обмотки статора по (9.172), (9.173):

$$r'_2 = r_2 \cdot 4 \cdot m \cdot \frac{(w_1 \cdot k_{061})^2}{Z_2 \cdot k_{\text{CK}}^2} \quad (3.37)$$

$$r'_2 = 6,426 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 3 \cdot \frac{(40 \cdot 0,884)^2}{38 \cdot 1^2} = 0,101 \text{ Ом}$$

Относительное значение

$$r'_{2*} = r'_2 \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} \quad (3.38)$$

$$r'_{2*} = 0,101 \cdot \frac{203,05}{380} = 0,054 \text{ о. е.}$$

Далее определяем индуктивные сопротивления обмоток

$$K'_\beta = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot \beta) \quad (3.39)$$

$$K'_\beta = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot 0,75) = 0,813$$

$$K_\beta = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot K'_\beta) \quad (3.40)$$

$$K_\beta = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot 0,813) = 0,86$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния статора по табл.

9.26, (см. рис. 9.50, б)

$$\lambda_{\text{п1}} = \frac{h_2 - h_0}{3 \cdot b_{\text{п}}} \cdot K_\beta + \left(\frac{h_1}{b_{\text{п}}} + 3 \cdot \frac{h_{\text{к}}}{b_{\text{п}} + 2 \cdot b_{\text{ш}}} + \frac{h_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}}} \right) \cdot K'_\beta + \frac{h_0}{4 \cdot b_{\text{п}}} \quad (3.41)$$

$$\lambda_{\text{п1}} = \frac{27 - 1,4}{3 \cdot 10,7} \cdot 0,86 + \left(\frac{0,9}{10,7} + 3 \cdot \frac{3}{10,7 + 2 \cdot 6,4} + \frac{0,8}{6,4} \right) \cdot 0,813 + \frac{1,4}{4 \cdot 10,7} = 1,2$$

$$h_0 = 1 + \frac{0,2 + 0,6}{2} = 1,4 \text{ мм}; \quad h_{\text{к}} = 3 \text{ мм}$$

$$h_1 = 0,5 + \frac{0,2 + 0,6}{2} = 0,9 \text{ мм}$$

$$h_2 = b_{\text{п}} - 2 \cdot 0,7 \quad (3.42)$$

$$h_2 = 28,4 - 2 \cdot 0,7 = 27 \text{ мм}$$

$$b_{\text{п}} = 10,7 \text{ мм}$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния статора по

(9.159)

$$\lambda_{\text{л1}} = 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_{\delta}} \cdot (\ell_{\text{л}} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau) \quad (3.43)$$

$$\lambda_{л1} = 0.34 \cdot \frac{8}{0.2} \cdot (0.568 - 0.64 \cdot 0.75 \cdot 0.482) = 4.578$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмоток статора по (9.160)

$$\lambda_{д1} = t_{z1} \cdot \frac{10^3}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \varepsilon_1 \quad (3.44)$$

$$\lambda_{д1} = 0.0201 \cdot \frac{10^3}{12 \cdot 1.4 \cdot 1.08} \cdot 1.02 = 1.13$$

При полузакрытых или полуоткрытых пазах статора с учетом скоса пазов по (9.176) $k'_{ск} = 1.3$

$$\varepsilon = 2 \cdot k'_{ск} \cdot K_{\beta} - k_{об1}^2 \cdot \left(\frac{t_{z2}}{t_{z1}}\right)^2 \cdot (1 + \beta_{ск}^2) \quad (3.45)$$

$$\varepsilon = 2 \cdot 1.3 \cdot 0.86 - 0.884^2 \cdot \left(\frac{25.1}{20.1}\right)^2 \cdot (1 + 0^2) = 1.02$$

Расчетная длина магнитопровода для обмотки статора по (9.153)

$$l'_{\delta} = \ell_1 - 0.5 \cdot n_k \cdot b_k \quad (3.46)$$

$$l'_{\delta} = 0.2 - 0.5 \cdot 0 \cdot 0.01 = 0.2$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора по (9.152)

$$x_1 = 15.8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{l'_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{п1} + \lambda_{л1} + \lambda_{д1}) \quad (3.47)$$

$$x_1 = 15.8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{40}{100}\right)^2 \cdot \frac{0.2}{1 \cdot 8} \cdot (1.2 + 4.578 + 1.13) = 0.218$$

Относительное значение

$$x_{1*} = x_1 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} \quad (3.48)$$

$$x_{1*} = 0.218 \cdot \frac{203.05}{380} = 0.116$$

При расчете номинального режима двигателя во всех формулах

$$\text{ем } k_d = 1$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора по

[1, табл. 9.27]

$$\lambda_{п2} = \frac{h_0}{3 \cdot b_1} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_1^2}{8 \cdot q_c}\right)^2 + 0.66 - \frac{b_{ш}}{2 \cdot b_1} \cdot k_{д} + \frac{h_{ш}}{b_{ш}} \quad (3.49)$$

$$\lambda_{п2} = \frac{38,54}{3 \cdot 10,2} \cdot \left(1 - \frac{3,14 \cdot 10,2^2}{8 \cdot 311,3}\right)^2 + 0.66 - \frac{1,5}{2 \cdot 10,2} \cdot 1 + \frac{0,7}{1,5} = 2,004$$

$$h_0 = h_1 + 0.4 \cdot b_2 \quad (3.50)$$

$$h_0 = 36,9 + 0.4 \cdot 4,1 = 38,54 \text{ мм}$$

$$I_2 = 1042,38 \text{ А}$$

Коэффициент приведения токов в кольце к току в стержне

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{p}{Z_2}\right) \quad (3.51)$$

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(3,14 \cdot \frac{1}{38}\right) = 0,165$$

Расчетная длина магнитопровода для обмотки ротора по (9.154)

$$l'_\delta = \ell_{ст2} - 0.5 \cdot n_k \cdot b_k \quad (3.52)$$

$$l'_\delta = 0,2 - 0.5 \cdot 0 \cdot 0 = 0,2$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния ротора по (9.178)

$$\lambda_{л2} = 2.3 \cdot \frac{D_{кл.ср}}{Z_2 \cdot l'_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg\left(4.7 \cdot \frac{D_{кл.ср}}{h_{кл} + 2 \cdot b_{кл}}\right) \quad (3.53)$$

$$\lambda_{л2} = 2.3 \cdot \frac{0,247}{38 \cdot 0,2 \cdot 0,165^2} \cdot \lg\left(4.7 \cdot \frac{0,247}{0,057 + 2 \cdot 0,039}\right) = 2,566$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора по (9.180)

$$\lambda_{д2} = t_{z2} \cdot \frac{\varepsilon_2}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \quad (3.54)$$

$$\lambda_{д2} = 25,1 \cdot \frac{0,99}{12 \cdot 1,4 \cdot 1,08} = 1,37$$

$$\Delta_{z2} = 0,01$$

$$\varepsilon_2 = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\pi \cdot \frac{p}{Z_2}\right)^2 - \frac{\Delta_{z2}}{1 - \left(\frac{p}{Z_2}\right)^2} \quad (3.55)$$

$$\varepsilon_2 = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(3,14 \cdot \frac{1}{38}\right)^2 - \frac{0,01}{1 - \left(\frac{1}{38}\right)^2} = 0,99$$

$$\lambda_{\text{СК}} = 0$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора по (9.177)

$$x_2 = 7.9 \cdot f_1 \cdot l'_8 \cdot 10^{-6} \cdot (\lambda_{\text{П2}} + \lambda_{\text{Л2}} + \lambda_{\text{Д2}} + \lambda_{\text{СК}}) \quad (3.56)$$

$$x_2 = 7.9 \cdot 50 \cdot 0.2 \cdot 10^{-6} \cdot (2.004 + 2.566 + 1.37 + 0) = 4.69 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

Приводим сопротивление фазы обмотки ротора к числу витков статора по (9.172) и (9.183):

$$x'_2 = x_2 \cdot 4 \cdot m \cdot \frac{(w_1 \cdot k_{\text{об1}})^2}{Z_2 \cdot k_{\text{СК}}^2} \quad (3.57)$$

$$x'_2 = 4.69 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 3 \cdot \frac{(40 \cdot 0.884)^2}{38 \cdot 1^2} = 0.185 \text{ Ом}$$

Относительное значение

$$x'_{2*} = x'_2 \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} \quad (3.58)$$

$$x'_{2*} = 0.185 \cdot \frac{203.05}{380} = 0.099$$

Расчет потерь

Потери в стали основные по (9.187)

$$P_{\text{ст.осн}} = \rho_{1,0/5,0} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 \cdot (k_{\text{да}} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{\text{дз}} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1}) \quad (3.59)$$

$$P_{\text{ст.осн}} = 2 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^2 \cdot (1.6 \cdot 1.4^2 \cdot 196.51 + 1.8 \cdot 1.6^2 \cdot 40.99) = 1610.27 \text{ Вт}$$

для стали 2314 по [1, табл. 9.28] $\rho_{1,0/5,0} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$

Удельная масса стали

$$\gamma_{\text{ст}} = 7.8 \cdot 10^3 = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

Масса стали ярма статора по (9.188)

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{\text{ст1}} \cdot K_c \cdot \gamma_{\text{ст}} \quad (3.60)$$

$$m_a = 3.14 \cdot (0.59 - 0.0833) \cdot 0.0833 \cdot 0.2 \cdot 0.95 \cdot 7800 = 196.51 \text{ кг}$$

Масса стали зубцов статора по (9.189)

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot 10^{-3} \cdot Z_1 \cdot \ell_{ст1} \cdot K_c \cdot \gamma_{ст} \quad (3.61)$$

$$m_{z1} = 0,0582 \cdot 9,9 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 0,2 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 40,99 \text{ кг}$$

Для машин мощностью меньше 250 кВт можно принять $k_{да} = 1,6$; $k_{дз} = 1,8$

Поверхностные потери в роторе по (9.194)

$$P_{пов2} = p_{пов2уд} \cdot (t_{z2} - b_{ш}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{ст2} \cdot 10^{-3} \quad (3.62)$$

$$P_{пов2} = 362,68 \cdot (25,1 - 1,5) \cdot 38 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 65,05 \text{ Вт}$$

Удельные поверхностные потери по (9.192)

$$p_{пов2уд} = 0,5 \cdot k_{02} \cdot \left(Z_1 \cdot \frac{n_0}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_{z1} \cdot 10^3)^2 \quad (3.63)$$

$$p_{пов2уд} = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left(48 \cdot \frac{3000}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,148 \cdot 0,0201 \cdot 10^3)^2 = 362,68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

В этих выражениях $k_{01(02)}$ — коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов статора (ротора) на удельные потери, принимаем

$$k_{02} = 1,5$$

Для определения поверхностных потерь вначале находят амплитуду пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора по (9.190)

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} \quad (3.64)$$

$$B_{02} = 0,19 \cdot 1,08 \cdot 0,721 = 0,148 \text{ Тл}$$

Для зубцов ротора определяем отношение $\frac{b_{ш}}{\delta} = 2,9$

тогда по [1, рис. 9.53] находим $\beta_{02} = 0,19$

Пульсационные потери в зубцах ротора по (9.200)

$$P_{пул2} = 0,11 \cdot \left(Z_1 \cdot \frac{n_0}{1000} \cdot B_{пул2} \right)^2 \cdot m_{z2} \quad (3.65)$$

$$P_{пул2} = 0,11 \cdot \left(48 \cdot \frac{3000}{1000} \cdot 0,049 \right)^2 \cdot 28,84 = 157,9 \text{ Вт}$$

Для определения пульсационных потерь вначале находится амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов по (9.196)

$$B_{пул2} = \gamma_1 \cdot \frac{\delta}{2 \cdot t_{z2}} \cdot B'_{z2} \quad (3.66)$$

$$W_{\text{пул2}} = 1,04 \cdot \frac{1,4}{2 \cdot 25,1} \cdot 1,7 = 0,049 \text{ Тл}$$

Масса стали зубцов ротора по (9.201)

$$m_{z2} = Z_2 \cdot h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot 10^{-3} \cdot \ell_{\text{ст2}} \cdot K_c \cdot \gamma_{\text{ст}} \quad (3.67)$$

$$m_{z2} = 38 \cdot 0,0456 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 28,84 \text{ кг}$$

Поверхностные и пульсационные потери в статорах двигателей с короткозамкнутыми или фазными роторами со стержневой обмоткой обычно малы, так как в пазах таких роторов пульсации индукции в воздушном зазоре над головками зубцов статора незначительны. Поэтому расчет этих потерь в статорах таких двигателей не проводят. $P_{\text{пов1}} = 0 \text{ Вт}$; $P_{\text{пул1}} = 0 \text{ Вт}$

Суммарные добавочные потери в стали по (9.202)

$$P_{\text{ст.доб}} = P_{\text{пов1}} + P_{\text{пул1}} + P_{\text{пов2}} + P_{\text{пул2}} \quad (3.68)$$

$$P_{\text{ст.доб}} = 0 + 0 + 65,05 + 157,9 = 223 \text{ Вт}$$

Полные потери в стали по (9.203)

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб}} \quad (3.69)$$

$$P_{\text{ст}} = 1610,27 + 223 = 1833,3 \text{ Вт}$$

Механические потери по (9.210)

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \left(\frac{n_0}{10}\right)^2 \cdot D_a^4 \quad (3.70)$$

$$P_{\text{мех}} = 1 \cdot \left(\frac{3000}{10}\right)^2 \cdot 0,59^4 = 10905,6 \text{ Вт}$$

для двигателей с $2p = 2$

$$K_T = 1 \quad (3.71)$$

Электрические потери в статоре при холостом ходе приближенно по (9.219)

$$P_{\text{э1хх}} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 \quad (3.72)$$

$$P_{\text{э1хх}} = 3 \cdot 31,8^2 \cdot 0,042 = 127,4 \text{ Вт}$$

Ток холостого хода двигателя по (9.217)

$$I_{\text{хх}} = \sqrt{I_{\text{хха}}^2 + I_{\text{ххр}}^2} \quad (3.73)$$

$$I_{xx} = \sqrt{11,286^2 + 31,8^2} = 33,743 \text{ A}$$

где активная составляющая тока холостого хода по (9.218)

$$I_{xxa} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{э1xx}}{m \cdot U_{1ном}} \quad (3.74)$$
$$I_{xxa} = \frac{1833,3 + 10905,6 + 127,4}{3 \cdot 380} = 11,286 \text{ A}$$

Реактивная составляющая тока холостого хода по (9.220) $I_{xxp} = I_{\mu} = 31,8 \text{ A}$

Ток холостого хода в относительных единицах

$$I_{xx*} = \frac{I_{xx}}{I_{1ном}} \quad (3.75)$$
$$I_{xx*} = \frac{33,743}{203,05} = 0,17 \text{ о. е.}$$

Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos\varphi_{xx} = \frac{I_{xxa}}{I_{xx}} \quad (3.76)$$
$$\cos\varphi_{xx} = \frac{11,286}{33,743} = 0,334 \text{ о. е.}$$

4 Построение и расчет круговой диаграммы

При построении диаграммы вектор напряжения $U_{1ном}$ направляют по оси ординат OB_1 . Из начала координат строят вектор тока синхронного холостого хода $OA_0 = \frac{1}{m_1} I_0$ – под углом φ_0 к оси ординат $\varphi_0 = \arccos \frac{I_{0a}}{I_0}$. Точку A_0 , удобно найти, отложив по вертикальной и горизонтальной осям ее координаты, соответственно равные I_{0a} и I_{0p} .

Через точку A_0 проводят линии $A_0F_0 \parallel OB$ и A_0F под углом 2γ к оси ординат. Из-за малости γ построение угла $\angle F_0A_0F$ удобно выполнять следующим образом. В произвольной точке F'_0 прямой A_0F_0 восстанавливают перпендикуляр к линии A_0F_0 и откладывают на нем отрезок

$$|F'_0F''_0| = |A_0F'_0| \operatorname{tg} 2\gamma \approx |A_0F'_0| 2 \operatorname{tg} \gamma;$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r_1 x_{12} + r_{12} x_1}{r_{12}(r_1 + r_{12}) + x_{12}(x_1 + x_{12})}$$

Линия A_0F определяет положение диаметра круговой диаграммы. Отложив на ней отрезок $|A_0O'| = 0,5D_K$, проводят окружность с центром O' радиусом $0,5D_K$. Через произвольную точку F_1 диаметра A_0F' проводят линию

$$(F_1F_1) \perp (A_0F) \text{ и откладывают на ней отрезки } |F_1F_2| = |A_0F_1| \frac{r_1}{X_{K1}}$$

$|F_1F_3| = |A_0F_1| \frac{r_{K1}}{X_{K1}}$. Через точку A_0 и точки F_2 и F_3 , проводят прямые до пересечения их с окружностью соответственно в точках A_2 и A_3 . На оси ординат откладывают отрезок $|OA_1| = P_0/m_p$, где $P_0 = P_{ст} + 3I_0^2 r_1 + P_{мех}$, и через точку A_1 проводят $|A_1A'_0| \parallel BO$. Точку A'_0 соединяют с точками O и A_3 . На этом построение круговой диаграммы заканчивается. Круговая диаграмма спроектированного двигателя представлена на листе 1 графической части проекта по (9.184)

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m \cdot I_{\mu}^2} \quad (4.1)$$

$$r_{12} = \frac{1610,27}{3 \cdot 31,8^2} = 0,53 \text{ Ом}$$

$$r_{12*} = r_{12} \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} \quad (4.2)$$

$$r_{12*} = 0,53 \cdot \frac{203,05}{380} = 0,28$$

по (9.185)

$$x_{12} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{I_{\mu}} - x_1 \quad (4.3)$$

$$x_{12} = \frac{380}{31,8} - 0,218 = 11,73 \text{ Ом}$$

$$x_{12*} = x_{12} \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} \quad (4.4)$$

$$x_{12*} = 11,73 \cdot \frac{203,05}{380} = 6,27$$

$$\gamma = \arctg \left(\frac{r_1 \cdot x_{12} - r_{12} \cdot r'_2}{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (r'_2 + x_{12})} \right) \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \arctg \left(\frac{0,042 \cdot 11,73 - 0,53 \cdot 0,101}{0,53 \cdot (0,042 + 0,53) + 11,73 \cdot (0,101 + 11,73)} \right) = \\ &= 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 0,18^\circ \end{aligned}$$

Т.к $\gamma < 1^\circ$, то расчет производим по приближенным формулам

по (9.223)

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} \quad (4.6)$$

$$c_1 = 1 + \frac{0,218}{11,73} = 1,019$$

Круговая диаграмма асинхронного двигателя изображена на листе 2 графической части проекта. Исходными данными для ее построения являются:

Ток холостого хода двигателя $I_{\text{хх}} = 33,743 \text{ А}$

где активная составляющая тока холостого хода $I_{\text{хха}} = 11,286 \text{ А}$

реактивная составляющая тока холостого хода $I_{\text{ххр}} = 31,8 \text{ А}$

Сопротивления короткого замыкания

$$x_{k1} = x_1 + c_1 \cdot x'_2 \quad (4.7)$$

$$x_{k1} = 0,218 + 1,019 \cdot 0,185 = 0,407 \text{ Ом}$$

$$r_{k1} = r_1 + c_1 \cdot r'_2 \quad (4.8)$$

$$r_{k1} = 0,042 + 1,019 \cdot 0,101 = 0,145 \text{ Ом}$$

Диаметр рабочего круга принимаем $D_k = 250 \text{ мм}$

Масштаб по току

$$m_I = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{c_1 \cdot x_{k1} \cdot D_k} \quad (4.9)$$

$$m_I = \frac{380}{1,019 \cdot 0,407 \cdot 250} = 3,665 \text{ А/мм}$$

принимаем $m_I = 4 \text{ А/мм}$

уточняем диаметр рабочего круга

$$D_k = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{m_I \cdot x_{k1} \cdot c_1} \quad (4.10)$$

$$D_k = \frac{380}{4 \cdot 0,407 \cdot 1,019} = 229 \text{ мм}$$

Масштаб по мощности

$$m_P = 3 \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot m_I \quad (4.11)$$

$$m_P = 3 \cdot 380 \cdot 4 = 4560 \text{ Вт/мм}$$

Масштаб момента

$$m_M = \frac{m_P}{\Omega} \quad (4.12)$$

$$m_M = \frac{4560}{314,2} = 14,513 \text{ Нм/мм}$$

$$OA_0 = \frac{1}{m_I} \cdot I_{xx} \quad (4.13)$$

$$OA_0 = \frac{1}{4} \cdot 33,743 = 8,4 \text{ мм}$$

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{I_{xxa}}{I_{xx}}\right) \quad (4.14)$$

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{11,286}{33,743}\right) = 70,46^\circ$$

$$|F_0F_1| = |A_0F_1| \cdot \frac{r_1}{x_{K1}} \quad (4.16)$$

$$|F_0F_1| = 140 \cdot \frac{0,042}{0,407} = 14,4 \text{ мм}$$

$$|F_1F_3| = |A_0F_1| \cdot \frac{r_{K1}}{x_{K1}} \quad (4.17)$$

$$|F_1F_3| = 140 \cdot \frac{0,145}{0,407} = 49,9 \text{ мм}$$

Определим положение точки соответствующей номинальному режиму двигателя на круговой диаграмме.

$$P_0 = P_{ст} + 3 \cdot I_{xx}^2 \cdot r_1 + P_{мех} \quad (4.18)$$

$$P_0 = 1833,3 + 3 \cdot 33,743^2 \cdot 0,042 + 10905,6 = 12882,4 \text{ Вт}$$

$$|OA_1| = 1 \cdot \frac{P_0}{m_p} \quad (4.19)$$

$$|OA_1| = 1 \cdot \frac{12882,4}{4560} = 2,8 \text{ мм}$$

5 Расчет параметров и построение рабочих и пусковых характеристик

Окружность диаметром D_K и с центром O' является геометрическим местом концов векторов тока статора двигателя при различных скольжениях. Точка окружности A_0 определяет положение конца вектора тока I_0 при синхронном холостом ходе, а точка A'_0 — при реальном холостом ходе двигателя. Отрезок OA'_0 определяет ток $I_{x,x}$, а угол $\angle A'_0OB_1 = \cos \varphi_{к.з.}$. Точка A_2 окружности определяет положение конца вектора тока при коротком замыкании ($s = 1$), отрезок OA_3 — ток $I_{к.з.}$, а угол $\angle A_3OB_1 = \cos \varphi_{к.з.}$. Точка A_2 определяет положение конца вектора тока при $s = \infty$.

Промежуточные точки на дуге окружности A_0A_3 определяют положение концов векторов тока I_1 при различных нагрузках в двигательном режиме ($0 < s \leq 1$). Ось абсцисс диаграммы OB является линией первичной мощности P_1 . Линией электромагнитной мощности $P_{эм}$ или электромагнитных моментов $M_{эм}$ является линия A_0A_2 . Линией полезной мощности на валу (вторичной мощности P_2) является линия A'_0A_3 . По круговой диаграмме для тока статора, которому соответствует точка A на окружности, можно рассчитать необходимые для построения рабочих характеристик данные.

Для построения рабочих характеристик вначале находят положение на окружности точки A_n , которая соответствует номинальному режиму работы. Для этого, исходя из заданной номинальной мощности $P_{2ном}$, рассчитывают длину отрезка $|E'F_n| = P_{2ном} / m_p$ и откладывают на линии $F_1F' \perp A_0F$ от точки ее пересечения E' с линией полезной мощности A'_0A_3 . Через точку F_n проводят $F_nA_n \parallel A'_0A_3$. Точки пересечения F_nA_n с окружностью A_n и A'_n определяют положение концов вектора тока I_1 при мощности $P_{2ном}$. Точка A_n , ближайшая к A'_0 , соответствует номинальному режиму, точка A'_n — режиму неустойчивой работы двигателя (при $s > s_{кр}$).

Наметив на дуге A_0A_n несколько точек a_1, a_2, a_3, \dots , определяют соответствующие каждой из них данные $I_1, P_2, \cos \varphi, \eta, M, s$.

По круговой диаграмме для тока статора, которому соответствует точка А на окружности, можно рассчитать необходимые для построения рабочих характеристик данные:

ток статора, А, $I_1 = m_1 |OA|$;

ток ротора, А, $I_2 = m_1 |A_0A|$;

первичную мощность, Вт, $P_1 = m_p |AN|$, где $AN \perp OB$;

электромагнитную мощность, Вт, $P_{эм} = m_p |AC|$, где $AC \perp A_0F$;

электромагнитный момент $M_{эм} = m_m |AC|$;

полезную мощность, Вт, $P_2 = m_p |AE|$;

Для построения шкалы коэффициента мощности $\cos\phi$ проводим из точки О как из центра, подходящим радиусом окружность и построим на вертикальной оси шкалу $\cos\phi$ принимая точку пересечения этой оси с указанной окружностью за $\cos\phi = 1$. Точку пересечения этой окружности с вектором тока I_1 или его продолжением снесем на вертикальную ось и отсчитаем значение $\cos\phi$ при данном значении тока, т. е. для данной точки круговой диаграммы.

Для построения шкалы КПД произведем на круговой диаграмме следующие построения: 1) удлиним линию полезной мощности на валу влево до пересечения с горизонтальной осью или ее продолжением в точке а и вправо до некоторой точки с'; 2) проведем линию с'б, параллельную диаметру O_kA , и линию с'd, параллельную горизонтальной оси длиной с'б. Линия с'd будет являться шкалой коэффициента полезного действия. Проводя линию из точки а через точку на окружности А до точки пересечения f со шкалой КПД можно определить КПД для данной точки круговой диаграммы как $\eta = c'f/bc'$.

Для построения шкалы скольжения проведем через точку $A_2(s = \pm\infty)$ окружности касательную A_2R , которая перпендикулярна радиусу $O'B$. Через некоторую точку L на прямой OB проведем прямую LQ, параллельную A_2R . Точка Q на прямой LQ определяется как точка пересечения этой прямой с прямой A_2Q , проходящей через точку $A_3(s = 1)$. Для нахождения скольжения для точки А на окружности необходимо провести линию A_2A , точка пересечения

чения которой со шкалой скольжения M , укажет на значение скольжения.

$$s = LM/LQ$$

Находим на окружности положение точке A_H

$$|E'F_H| = \frac{P_{2\text{НОМ}} \cdot 10^3}{m_P} \quad (5.1)$$

$$|E'F_H| = \frac{200 \cdot 10^3}{4560} = 43,9 \text{ мм}$$

Определяем номинальный КПД $|c'd| = 286 \text{ мм}$; $|c'f| = 250 \text{ мм}$

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{|c'f|}{|c'd|} \quad (5.2)$$

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{250}{286} = 0,87 \text{ о. е.}$$

Определяем номинальный коэффициент мощности

$$\cos\varphi_{\text{НОМ}} = \frac{94}{100} = 0,94 \text{ о. е.} \quad (5.3)$$

Определяем номинальный ток $|OA_H| = 54 \text{ мм}$

$$I_{1H} = |OA_H| \cdot m_I \quad (5.4)$$

$$I_{1H} = 54 \cdot 4 = 216 \text{ А}$$

Определяем номинальное скольжение $|LM| = 8,5 \text{ мм}$; $|LQ| = 150 \text{ мм}$

$$s = \frac{|LM|}{|LQ|} \quad (5.5)$$

$$s = \frac{8,5}{150} = 0,057 \text{ о. е.}$$

Определяем номинальный момент $|A_H N_H| = 50 \text{ мм}$

$$P_1 = |A_H N_H| \cdot m_P \quad (5.6)$$

$$P_1 = 50 \cdot 4560 = 228000 \text{ Вт}$$

$$|A_H N_H| = 47 \text{ мм}$$

$$M_H = |A_H N_H| \cdot m_M \quad (5.7)$$

$$M_H = 47 \cdot 14,513 = 682,111 \text{ Нм}$$

Определяем полезную мощность $|A_H E_H| = 44 \text{ мм}$

$$P_2 = |A_H E_H| \cdot m_P \quad (5.8)$$

$$P_2 = 44 \cdot 4560 = 200640 \text{ Вт}$$

Аналогичные построения производим для нескольких других точек на окружности $|A_M C'| = 103 \text{ мм}$

$$M_{кр} = \frac{|A_M C'|}{|A_H N_H|} \quad (5.9)$$

$$M_{кр} = \frac{103}{47} = 2,19 \text{ о. е.}$$

$$|A_3 C''| = 52 \text{ мм}$$

$$M_{п} = \frac{|A_3 C''|}{|A_H N_H|} \quad (5.10)$$

$$M_{п} = \frac{52}{47} = 1,11 \text{ о. е.}$$

$$|0A_2| = 203 \text{ мм}$$

$$I_{п} = |0A_2| \cdot m_I \quad (5.11)$$

$$I_{п} = 203 \cdot 4 = 812 \text{ А}$$

$$I_{п*} = \frac{I_{п}}{I_{1H}} \quad (5.12)$$

$$I_{п*} = \frac{812}{216} = 3,76 \text{ о. е.}$$

Результаты расчета рабочих характеристик сводим в таблицу.

Таблица 5.1-Рабочие характеристики асинхронного двигателя рассчитанные по круговой диаграмме

Параметр	Ед. изм.	Значение в точках				
		1	2	3	4	НОМ
s	о. е.	0,011	0,022	0,033	0,045	0,056
КПД	о. е.	0,77	0,85	0,87	0,88	0,88
cosφ	о. е.	0,83	0,92	0,94	0,94	0,94
I ₁	А	60	96	136	176	216
P ₂	кВт	45,6	86,64	127,68	164,16	200
P ₁	кВт	59,28	100,32	145,92	186,96	228

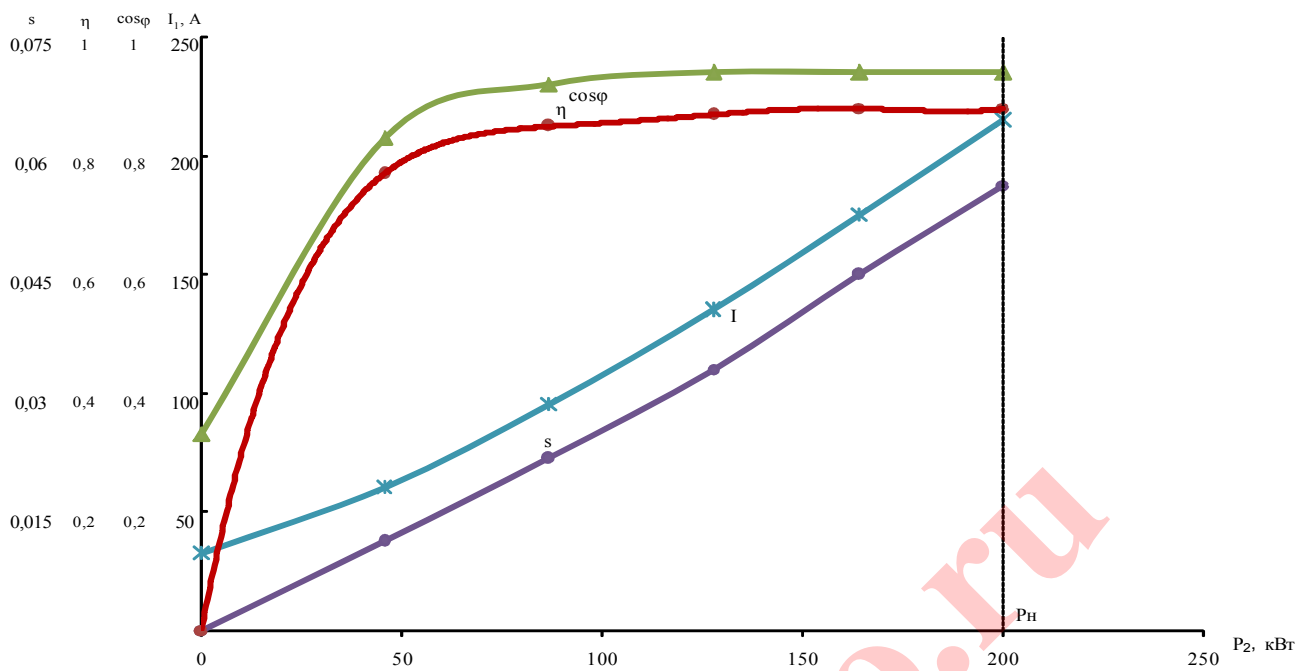


Рисунок 5.1-Рабочие характеристики асинхронного двигателя рассчитанные по круговой диаграмме

Пусковые характеристики двигателя также определяем по круговой диаграмме. Отметим, что пусковой момент рассчитанный таким образом значительно меньше реального, так как не учитывается эффект вытеснения тока.

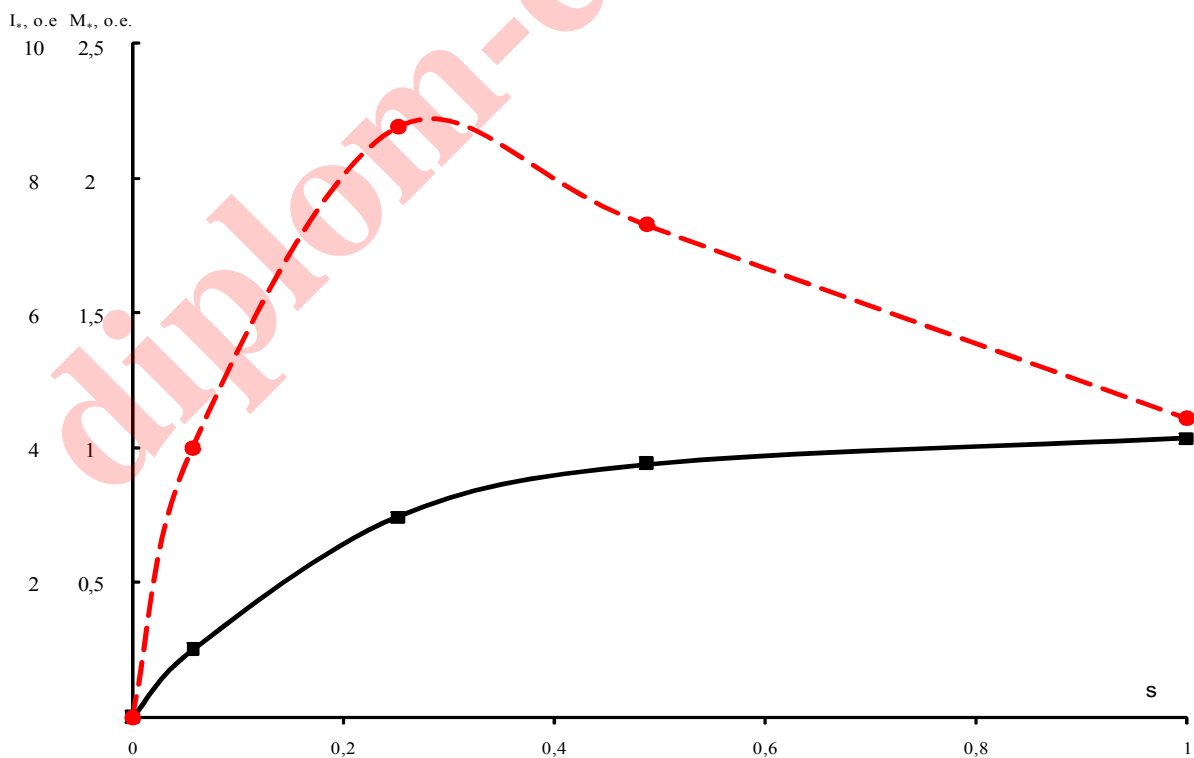


Рисунок 5.2-Пусковые характеристики асинхронного двигателя рассчитанные по круговой диаграмме

6 Тепловой расчет

Тепловой расчет

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя по (9.315)

$$\Delta u_{\text{пов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{ЭП}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot \ell_1 \cdot \alpha_1} \quad (6.1)$$

$$\Delta u_{\text{пов1}} = 0,22 \cdot \frac{1649,9 + 1610,27}{3,14 \cdot 0,307 \cdot 0,2 \cdot 130} = 28,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где по [1,табл. 9.35] $K = 0,22$

по (9.313)

$$P'_{\text{ЭП}} = k_p \cdot P_{\text{Э1}} \cdot 2 \cdot \frac{\ell_1}{\ell_{\text{ср}}} \quad (6.2)$$

$$P'_{\text{ЭП}} = 1,07 \cdot 5921 \cdot 2 \cdot \frac{0,2}{1,536} = 1649,9 \text{ Вт}$$

где из расчета рабочих характеристик находим при номинальном

нии $P_{\text{Э1}} = 5921 \text{ Вт}$

Определяем по [1,рис. 9.67] $\alpha_1 = 130 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot ^\circ\text{C}$

для обмоток с изоляцией класса нагревостойкости F $k_p = 1,07$; $\lambda_{\text{ЭКВ}} =$

$$0,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора по (9.316)

$$\Delta u_{\text{изп1}} = \frac{P'_{\text{ЭП}}}{Z_1 \cdot \Pi_{\text{п1}} \cdot \ell_1} \cdot \left(\frac{b_{\text{из}}}{\lambda_{\text{ЭКВ}}} + \frac{(b_1 + b_2)}{16 \cdot \lambda''_{\text{ЭКВ}}} \right) \cdot 10^{-3} \quad (6.3)$$

$$\Delta u_{\text{изп1}} = \frac{1649,9}{48 \cdot 0,139 \cdot 0,2} \cdot \left(\frac{0,4}{0,16} + \frac{(10,6 + 17,8)}{16 \cdot 1,5} \right) \cdot 10^{-3} = 4,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где расчетный периметр поперечного сечения паза статора, равный для полу-закрытых трапецеидальных пазов

$$\Pi_{\text{п1}} = 2 \cdot h_{\text{п.к}} + b_1 + b_2 \quad (6.4)$$

$$\Pi_{\text{п1}} = 2 \cdot 55,3 + 10,6 + 17,8 = 139 \text{ мм} = 0,139 \text{ м}$$

$$\frac{d_{\text{эл}}}{d_{\text{из}}} = \frac{2,5}{2,6} = 0,96 \quad (6.5)$$

по [1, рис. 9.69] для $\frac{d}{d_{из}}$ определяем $\lambda''_{ЭКВ} = 1,5 \frac{Вт}{м^2} \cdot ^\circ C$

Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей по (9.319)

$$\Delta u_{из.л1} = \frac{P'_{эл1}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_{л1} \cdot \ell_l} \cdot \left(\frac{b_{из.л1}}{\lambda''_{ЭКВ}} + \frac{h_{п}}{12 \cdot \lambda''_{ЭКВ}} \right) \cdot 10^{-3} \quad (6.6)$$

$$\Delta u_{из.л1} = \frac{4339,1}{2 \cdot 48 \cdot 0,139 \cdot 0,568} \cdot \left(\frac{0,05}{0,16} + \frac{58,2}{12 \cdot 1,5} \right) \cdot 10^{-3} = 2,03 \text{ } ^\circ C$$

где по (9.314)

$$P'_{эл1} = k_p \cdot P_{э1} \cdot 2 \cdot \frac{\ell_l}{\ell_{ср}} \quad (6.7)$$

$$P'_{эл1} = 1,07 \cdot 5921 \cdot 2 \cdot \frac{0,526}{1,536} = 4339,1 \text{ Вт}$$

$$b_{из.л1} = 0,05 \text{ мм}; \quad \Pi_{л1} = \Pi_{п1} = 0,139 \text{ м}$$

Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя по (9.320)

$$\Delta u_{пов.п1} = \frac{K \cdot P'_{эл1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot \ell_{выл} \cdot \alpha_1} \quad (6.8)$$

$$\Delta u_{пов.п1} = \frac{0,22 \cdot 4339,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,307 \cdot 0,1218 \cdot 130} = 31,25 \text{ } ^\circ C$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя по (9.321)

$$\Delta u'_{пов.п1} = \frac{(\Delta u_{пов1} + \Delta u_{изп1}) \cdot 2 \cdot \ell_1 + (\Delta u_{из.п1} + \Delta u_{из.л1}) \cdot 2 \cdot \ell_l}{\ell_{ср}} \quad (6.9)$$

$$\Delta u'_{пов.п1} = \frac{(28,6 + 4,55) \cdot 2 \cdot 0,2 + (4,55 + 2,03) \cdot 2 \cdot 0,568}{1,536} = 13,5 \text{ } ^\circ C$$

Превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой окружающей среды по (9.322)

$$\Delta u_B = \frac{\Sigma P'_B}{S_{кор} \cdot \alpha_B} \quad (6.10)$$

$$\Delta u_B = \frac{20013,19}{2,7 \cdot 104} = 71,27 \text{ } ^\circ C$$

по (9.326)

$$\begin{aligned}\Sigma P'_B &= \Sigma P' - (1 - K) \cdot (P'_{ЭП} + P_{ст.очн}) - 0.9 \cdot P_{мех} \\ \Sigma P'_B &= 32371,16 - (1 - 0,22) \cdot (1649,9 + 1610,27) - 0.9 \cdot 10905,6 = \\ &= 20013,19 \text{ Вт}\end{aligned}\quad (6.11)$$

где по (9.324)

$$\begin{aligned}\Sigma P' &= \Sigma P + (k_p - 1) \cdot (P_{Э1} + P_{Э2}) \\ \Sigma P' &= 31103,43 + (1,07 - 1) \cdot (5921 + 12189,4) = 32371,16 \text{ Вт}\end{aligned}\quad (6.12)$$

из расчета рабочих характеристик при номинальном скольжении

ем $\Sigma P = 31103,43 \text{ Вт}$

по (9.327)

$$\begin{aligned}S_{кор} &= (\pi \cdot D_a + 8 \cdot P_p) \cdot (\ell_1 + 2 \cdot \ell_{ввл}) \\ S_{кор} &= (3,14 \cdot 0,59 + 8 \cdot 0,53) \cdot (0,2 + 2 \cdot 0,1218) = 2,7 \text{ м}^2\end{aligned}\quad (6.13)$$

где по [1, рис. 9.70] для $h = 315 \text{ мм}$ $P_p = 0,53 \text{ м}$

по [1, рис. 9.67] $\alpha_B = 104 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{°C}$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды по (9.328)

$$\begin{aligned}\Delta u_1 &= \Delta u'_{пов.п1} + \Delta u_B \\ \Delta u_1 &= 13,5 + 71,27 = 84,77 \text{ °C}\end{aligned}\quad (6.14)$$

Проверка условий охлаждения двигателя.

Требуемый для охлаждения расход воздуха по (9.340)

$$\begin{aligned}Q_B &= k_m \cdot \frac{\Sigma P'_B}{1100 \cdot \Delta u_B} \\ Q_B &= 13,88 \cdot \frac{20013,19}{1100 \cdot 71,27} = 3,543 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}\end{aligned}\quad (6.15)$$

где по (9.341)

$$\begin{aligned}k_m &= m' \cdot \sqrt{\frac{n_0}{100} \cdot D_a} \\ k_m &= 3,3 \cdot \sqrt{\frac{3000}{100} \cdot 0,59} = 13,88\end{aligned}\quad (6.16)$$

где коэффициент $m' = 3,3$

Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором, по (9.342)

$$Q'_B = 0.6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n_0}{100} \quad (6.17)$$

$$Q'_B = 0.6 \cdot 0,59^3 \cdot \frac{3000}{100} = 3,697 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Нагрев частей двигателя находится в допустимых пределах.

Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

diplom-electro.ru

7 Определение расходов активных материалов и показателей их использования

Определим массу меди

$$G_{\text{Cu}} = \rho_{\text{Cu}} \cdot \pi \cdot \frac{(d_{\text{эл}} \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot w_1 \cdot 2 \cdot (\ell_{\delta} + \ell_{\text{л}}) \quad (7.1)$$

$$G_{\text{Cu}} = 8900 \cdot 3,14 \cdot \frac{(2,5 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 40 \cdot 2 \cdot (0,2 + 0,5784) = 2,72 \text{ кг}$$

где $\rho_{\text{Cu}} = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\ell_{\text{л}} = 1,2 \cdot \tau \quad (7.2)$$

$$\ell_{\text{л}} = 1,2 \cdot 0,482 = 0,5784 \text{ м}$$

Расход меди на мощность двигателя

$$g_{\text{Cu}} = \frac{G_{\text{Cu}}}{P_{2\text{ном}}} \quad (7.3)$$

$$g_{\text{Cu}} = \frac{2,72}{200} = 0,014 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

Определим массу стали

$$G_{\text{Ст}} = \left(\left(\pi \frac{D_a^2}{4} - \pi \frac{D^2}{4} - D \cdot S'_{\text{п}} \cdot 10^{-6} \right) + \left(\pi \frac{D^2}{4} - Z_2 S'_{\text{п}} \cdot 10^{-6} \right) \right) \cdot \ell_{\delta} \cdot \rho_{\text{Ст}} \quad (7.4)$$

$$G_{\text{Ст}} = \left(\left(3,14 \cdot \frac{0,59^2}{4} - 3,14 \cdot \frac{0,307^2}{4} - 0,307 \cdot 689,6 \cdot 10^{-6} \right) + \right. \\ \left. + \left(3,14 \cdot \frac{0,307^2}{4} - 38 \cdot 689,6 \cdot 10^{-6} \right) \right) \cdot 0,2 \cdot 7800 = 385,29 \text{ кг}$$

где $\rho_{\text{Ст}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$S_{\text{п1}} = \frac{(b_1 + b_2) \cdot h_{\text{п.к}}}{2} + \frac{(b_1 + b_{\text{ш}}) \cdot h_{\text{к}}}{2} + b_{\text{ш}} \cdot h_{\text{ш}} \quad (7.5)$$

$$S_{\text{п1}} = \frac{(10,6 + 17,8) \cdot 55,3}{2} + \frac{(10,6 + 4) \cdot 1,9}{2} + 4 \cdot 1 = 803,13 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{п2}} = q_{\text{с}} = 311,3 \text{ мм}^2$$

Расход стали на мощность двигателя

$$g_{\text{Ст}} = \frac{G_{\text{Ст}}}{P_{2\text{ном}}} \quad (7.6)$$

$$g_{\text{Ст}} = \frac{385,29}{200} = 1,93 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

Определим массу алюминия

расходованную на заливку пазов

$$G_{\text{Alп}} = Z_2 \cdot \ell_{\text{ст2}} \cdot q_c \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{\text{Al}} \quad (7.7)$$

$$G_{\text{Alп}} = 38 \cdot 0,2 \cdot 311,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 6,39 \text{ кг}$$

где $\rho_{\text{Al}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

расходованную на короткозамыкающие кольца

$$G_{\text{Alк}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{кл.ср}} \cdot q_{\text{кл}} \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{\text{Al}} \quad (7.8)$$

$$G_{\text{Alк}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,247 \cdot 2216,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 9,29 \text{ кг}$$

Полная масса алюминия

$$G_{\text{Al}} = G_{\text{Alп}} + G_{\text{Alк}} \quad (7.9)$$

$$G_{\text{Al}} = 6,39 + 9,29 = 15,68 \text{ кг}$$

Расход алюминия на мощность двигателя:

$$g_{\text{Al}} = \frac{G_{\text{Al}}}{P_{2\text{ном}}} \quad (7.10)$$

$$g_{\text{Al}} = \frac{15,68}{200} = 0,08 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

Приближенное значение динамического момента инерции короткозамкнутого ротора:

$$J_{\text{и.д}} = 0.6 \cdot D_2^4 \cdot \ell_{\text{ст2}} \cdot 10^{-12} \quad (7.11)$$

$$J_{\text{и.д}} = 0.6 \cdot 304,2^4 \cdot 200 \cdot 10^{-12} = 1,028 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Заключение

Сравним параметры спроектированного АД, полученные в результате расчетов с заданными по условиям проектирования.

Таблица 8.1-Параметры спроектированного двигателя

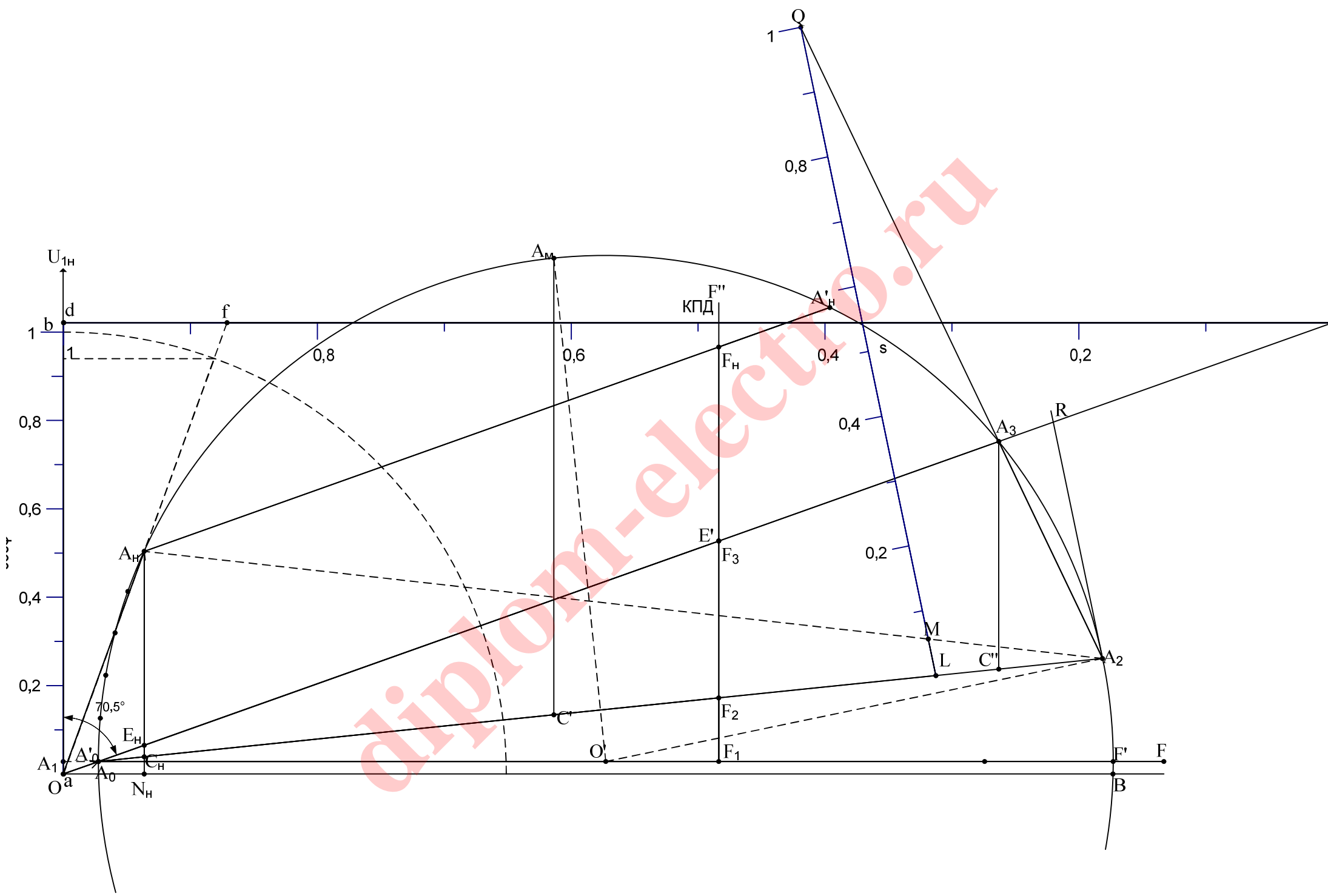
Параметр	η	$\cos\varphi$	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}}/M_{\text{ном}}$
Спроектированный двигатель	0,87	0,94	3,76	1,11	2,19
Серийный аналог	0,961	0,93	7,3	2,1	2

Параметры спроектированного двигателя отвечают требованиям ГОСТ. Отметим, что параметры двигателя при расчете по круговой диаграмме определяются без учета эффекта вытеснения тока, поэтому пусковой момент определенный данным методом часто значительно меньше реального. Это объясняет большее значение пускового момента у серийного прототипа. Стоит отметить низкий пусковой ток спроектированного двигателя, но относительно низкий КПД по сравнению с серийным аналогом.

Список использованных источников

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.:Энергия, 2002
2. Вольдек А.И. Электрические машины. –М.:Энергия, 1974

diplom-electro.ru



diplom-electro.ru