

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 14 рис., 12 табл., 13 источников, 1 прил., 4 л графического материала.

Ключевые слова: асинхронный, ротор, КПД, энергосбережение, пусковая характеристика, ресурсосбережение, технологичность, АЭС

Объектом исследования является электродвигатель циркуляционного насоса контура охлаждения АЭС.

Область применения: двигатели предназначены для привода вертикальных гидравлических насосов и для насосов собственных нужд АЭС

Цель работы – спроектировать асинхронный двигатель, а именно: рассчитать главные размеры, обмотку статора, ротора, магнитные цепи, потери, рассчитать рабочие и пусковые характеристики, произвести механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработать технологический процесс общей сборки двигателя, рассчитать себестоимость спроектированного асинхронного двигателя, оценить безопасность и экологичность проекта.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, чертежи выполнены в графическом редакторе Kompas-3D V14.

1.9 Расчёт пусковых характеристик

Расчёт токов с учётом влияния изменения параметров под влиянием эффекта вытеснения тока (без учёта влияния насыщения от полей рассеяния).

Расчёт для $S=1$

1.9.1 Активное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока ($v_{расч}=115^{\circ}\text{C}$; $\rho_{75}=10^{-6}/20.5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

$$h_c = h_{\pi} - h_{ш} = 0,0232 - 0,0003 = 0,0229 \text{ м};$$

$$\text{По формуле } \xi = 63,61 \cdot h_c \cdot \sqrt{s} = 63,61 \cdot 0,0229 = 1,457;$$

$$\text{по рис. 6.46 [1] для } \xi = 8,403 \quad \varphi = 2,988;$$

- глубина проникновения тока по формуле

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi} = \frac{0,0229}{1 + 0,518} = 15,09 \text{ м};$$

$$b_r = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 18 - \frac{18 - 17,3}{5,55} \left(15,09 - \frac{18}{2} \right) = 17,23$$

- площадь сечения q_r по формуле

$$q_r = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = \frac{\pi \cdot 0,018^2}{8} + \frac{0,018 + 0,0172}{2} \left(0,015 - \frac{0,018}{2} \right) = 234,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

где по коэффициент k_r по формуле

$$k_r = q_c / q_r = 334,8 / 234,4 = 1,428;$$

- коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока по формуле

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1) = 1 + \frac{113,6 \cdot 10^{-6}}{1,369 \cdot 10^{-4}} (1,428 - 1) = 1,355;$$

- приведённое активное сопротивление ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока [1, с.249]:

$$r'_{2\xi} = K_R r'_2 = 1,355 \cdot 1,422 = 1,927 \text{ Ом}$$

1.9.2 Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока по формуле

$$K_x = \frac{\lambda_{n2\xi} + \lambda_{л2} + \lambda_{\partial2} + \lambda_{ск2}}{\lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\partial2} + \lambda_{ск2}} = \frac{1,057 + 0,5085 + 1,7724}{1,3416 + 0,5085 + 1,7724} = 0,922;$$

где $\lambda_{n2\xi}$ – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния с учетом эффекта вытеснения тока, по табл.6.23 [1]:

$$\lambda_{n2\xi} = \left(\frac{h_1}{3b_1} \left(1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{ш}}{2b_1} \right) k_\delta + 0.3 + 1.12 \frac{h_{ш2} \cdot 10^6}{I_2} =$$

$$= \left(\frac{0.00555}{3 \cdot 0.018} \left(1 - \frac{\pi \cdot 0.018^2}{8 \cdot 334,8 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + 0.66 \right) 1,081 + 0,3 = 1,057;$$

индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом действия эффекта вытеснения тока по формуле 6.250 [1];

$$x'_{2\xi} = x'_2 K_x = 2,597 \cdot 0,922 = 2,393 \text{ Ом.}$$

1.9.3 Пусковые параметры по формуле

$$x_{12n} = k_\mu x_{12} = 1,42 \cdot 419,270 = 595,235 \text{ Ом,}$$

Подробный расчёт для S=1.

1.9.4 Индуктивные сопротивления обмоток. Принимаем [1, с.219]: $k_n=1.2$ средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора по формуле

$$F_{n.c.p} = 0.7 \frac{I_1 k_{нас} u_{n1}}{a} \left(k'_\beta + k_y \cdot k_{об1} \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 0.7 \frac{394,98 \cdot 1,2 \cdot 18}{1} \left(0,875 + 0,95 \cdot 0,95 \cdot \frac{96}{82} \right) = 9701$$

А,

коэффициент C_N по формуле 6.254 [1]

$$C_N = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{z1} + t_{z2}}} = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{0.0014}{0.0255 + 0.0298}} = 1,182 ,$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре по формуле

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{n.c.p} \cdot 10^{-6}}{1,6\delta \cdot C_N} = \frac{9701 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 0,0014 \cdot 1,182} = 3,665 \text{ Тл.}$$

По рис.6.50 [1] для $B_{\Phi\delta} = 3,665 \text{ Тл}$ находим $k_\delta=0,64$.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения по формуле

$$c_{\delta 1} = (t_{z1} - b_{ш1})(1 - k_\delta) = (0,0255 - 0,0148)(1 - 0,64) = 0,00385 \text{ м.}$$

Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора по формуле

$$\Delta\lambda_{n1нас} = \frac{h_k}{b_{u1}} \frac{c_{э1}}{c_{э1} + 1.5b_{u1}} = \frac{0,0006}{0,0148} \left(\frac{0,004}{0,00385 + 1,5 \cdot 0,0148} \right) = 0,06.$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения по формуле 6.261 [1]

$$\lambda_{n1нас} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1нас} = 3,529 - 0,06 = 3,469.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения по формуле 6.263 [1]

$$\lambda_{\partial 1нас} = \lambda_{\partial 1} k_{\delta} = 1,337 \cdot 0,64 = 0,856.$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения по формуле

$$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1} = 0,685 \frac{0,856 + 0,856 + 0,9834}{3,5294 + 1,3374 + 0,9834} = 14,131 \text{ Ом}.$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом насыщения по формуле

$$\lambda_{n2\xi нас} = \lambda_{n2\xi} = 1,057.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения по формуле

$$\lambda_{\partial 2нас} = \lambda_{\partial 2} k_{\delta} = 1,772 \cdot 0,64 = 1,134.$$

Приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока по формуле

$$x'_{2\xi нас} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi нас}}{\Sigma \lambda_2} = 2,597 \cdot \frac{2,7}{5,85} = 1,936 \text{ Ом},$$

коэффициент $c_{1п.нас}$ по формуле

$$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}} = 1 + \frac{14,131}{595,235} = 1,024.$$

1.9.5 Расчет токов и моментов:

токи по формуле

$$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} = \frac{6000}{\sqrt{3,128^2 + 16,112^2}} = 329,147 \text{ А},$$

Кратность пускового тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 251]:

$$I_{П*} = \frac{I_{1нас}}{I_{ном}} = \frac{347,42}{68,9519} = 5,039$$

Отличие с двигателем прототипом составляет 0,77%, что не превышает допустимого. (кратность пускового тока прототипа составляет 5)

Кратность пускового момента с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 251]:

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S} = \left(\frac{329,147}{63,0644} \right)^2 1,355 \frac{0,0163}{1} = 0,742$$

Отличие с двигателем прототипом составляет 3,78%, что не превышает допустимого. (кратность пускового момента прототипа составляет 0,7)

Результаты расчёта сведены в таблице 2. По результатам расчётов строятся пусковые характеристики M_* , $I_*=f(s)$, которые представлены на рисунках 9 и 10.

Таблица 1.2 – Расчёт пусковых характеристик с учётом эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния

№	Расчётная формула	Ед	Скольжение S					
			1	0.8	0.5	0.2	0,1	0.001
1	$\xi = 65.15 h_c \sqrt{s}$	–	1,457	1,303	1,03	0,651	0,461	0,046
2	$\varphi(\xi)$	–	0,518	0,463	0,366	0,232	0,164	0,016
3	$k_r = q_c / q_r$	–	1,428	1,371	1,272	1,138	1,072	0,932
4	$K_R = 1 + \frac{r'_c}{r_2} (k_r - 1)$	–	0,022	0,027	0,04	0,091	0,173	15,379
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	Ом	1,927	1,86	1,743	1,585	1,507	1,342
6	$k_d = \varphi'(\xi)$	–	1,081	1,49	2,88	9,018	19,541	2119
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	–	0,922	1	1,269	2,454	4,486	409,89
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	Ом	2,393	2,598	3,295	6,373	11,65	1064
9	$x'_{2\xi_{нас}} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi_{нас}}}{\Sigma \lambda_2}$	Ом	1,936	2,141	2,825	5,992	11,421	1064
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1}$	–	14,131	14,131	14,095	14,344	14,772	15,413
11	$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	–	1,024	1,024	1,024	1,024	1,025	1,026
12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	3,128	3,536	4,725	9,273	16,603	1378
13	$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$	А	329,15	324,29	308,78	252,62	189,31	3,482
14	$I_{1нас} = I'_{2нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} - X_{12п})^2}}{c_{1п.нас} \cdot X_{12п}}$	А	347,42	341,31	322,94	251,66	179,09	8,17
15	$I_{п*} = \frac{I_{1п.нас}}{I_{1ном}}$	–	5,319	5,229	4,959	3,91	2,839	0,177
16	$M'_п = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S}$	–	0,742	0,865	1,164	1,627	1,601	0,045

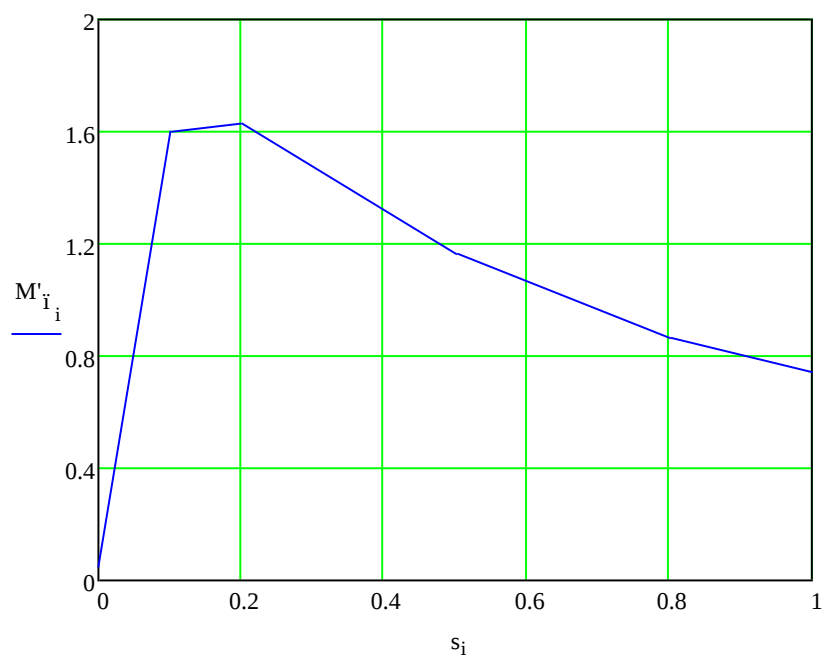


Рисунок 1.9 – Пусковые характеристики

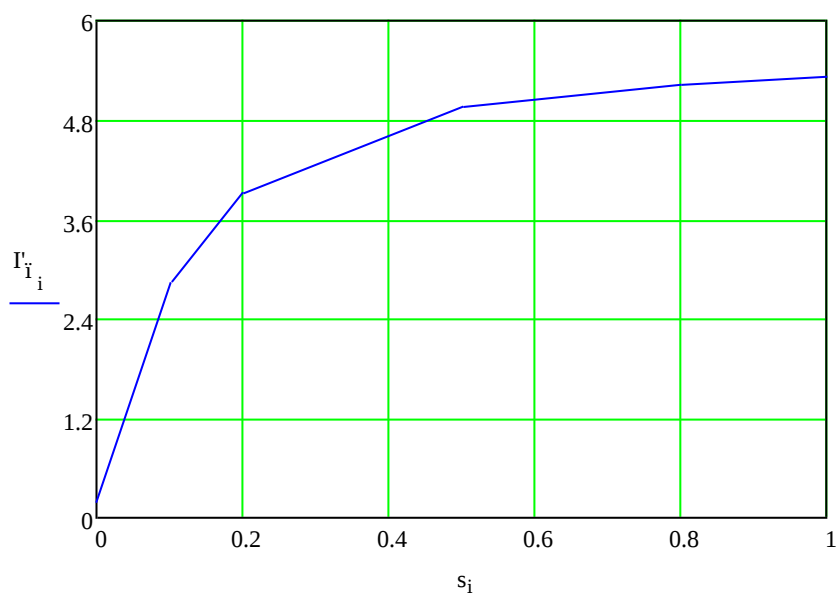


Рисунок 1.10 – Пусковые характеристики

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был спроектирован трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В качестве базовой модели выбрана конструкция асинхронных двигателей серии ВАН, которые для предназначены для привода вертикальных гидравлических насосов, в том числе для насосов собственных нужд АЭС

В начале расчета двигателя были получены значения электромагнитных нагрузок A и B_δ , входящие в рекомендуемые пределы, основанные на исследовании работающих двигателей серии ВАН. От электромагнитных нагрузок зависят не только размеры машины, а также и ее характеристики. Число пазов статора принято стандартному и равно $Z_1=96$, т.е. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ($q=4$).

Для обмотки статора используется стандартный прямоугольный провод. В расчете зубцовой зоны статора была принята конфигурация пазов, при которой зубцы имеют постоянное поперечное сечение по всей высоте, т.е. в зубцах не будет участков с разной индукцией.

В расчете пусковых характеристик кратность пускового тока получилась в допустимых пределах, установленных стандартом (ГОСТ 19523 - 74), а пусковой момент удовлетворяющим техническому заданию, его кратность превысила заданного значения. Это явилось следствием таких факторов, как довольно высокое сопротивление фазы обмотки ротора, высокая и тонкая форма пазов ротора, в которых более сильно проявляется эффект вытеснения тока, проявляющегося в результате действия потока пазового рассеяния. Таким образом можно задавать пусковой момент меняя плотность тока в обмотке ротора или индукцию в зубцах ротора.

Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется небольшой температурный запас по температуре нагрева обмотки статора (для класса изоляции F), а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с двукратным запасом.

В данном двигателе применяются подпятник и верхние и нижней направляющие подшипники. Подшипники двигателей ВАН имеют масляную смазку без внешней циркуляции масла вне масляных ванн. Масло турбинное Тп=30.

При выполнении технологической части выпускной квалификационной работы был разработан технологический процесс сборки асинхронного двигателя. Выбрано оборудование и оснастка. Определены нормы времени и необходимое количество оборудования для выполнения требуемой программы выпуска.

В экономической части работы рассчитана себестоимость изготовления спроектированного двигателя. Произведен расчет получаемой прибыли, определены точка безубыточности и диапазон безопасности.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе сборки двигателя. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Проведен расчет искусственного освещения для участка сборки.

Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.

