

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Кафедра Общенаучных дисциплин**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»**

основной профессиональной образовательной программы

подготовки бакалавров

по направлению 13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по выполнению курсового проекта**

Расчёт рабочих и пусковых характеристик  
асинхронного двигателя с фазным ротором.

Лысьва 2020

Разработчик-составитель ст. преподаватель кафедры Общенаучных дисциплин С.Ю. Вотинова

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры Общенаучных дисциплин от 31 августа 2020 г., протокол №1.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения	4
2 Этапы курсового проектирования	6
3 Методика расчётов рабочих и пусковых характеристик электродвигателя	7
3.1 Исходные данные	7
3.2 Подготовительные расчёты	9
3.3 Расчёт рабочих характеристик	13
3.4 Расчёт пусковых сопротивлений	17
3.5 Расчёт и построение пусковых характеристик	19
3.6 Сравнение двух разных двигателей типа 4А	23
4 Состав курсового проекта и содержание пояснительной записки	24
5 Требования к оформлению курсового проекта	26
Список рекомендуемой литературы	31
Приложение А – Образец титульного листа	32
Справочные таблицы	33

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курсовой проект представляет собой самостоятельную и углубленную разработку одной из конкретных тем или проблем учебной дисциплины.

**Цель выполнения курсового проекта** – систематизация и закрепление теоретических знаний по дисциплине Электрические машины.

При выполнении **курсового проекта** по дисциплине Электрические машины предполагается решить *следующие задачи*:

- освоение расчёта рабочих и пусковых характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором,
- получение навыков самостоятельной работы со справочной литературой,
- приобретение умения анализировать полученные результаты.

Работа над курсовым проектом способствует приобретению компонентов следующей **профессиональной компетенции** - способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин. (**ОПК-3**).

В методических указаниях описан алгоритм расчёта рабочих и пусковых характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором. В качестве исходных данных использованы справочные данные серийно выпускаемых асинхронных электродвигателей серии 4А (вариант задается преподавателем и указывается в бланке задания). Все расчёты ведутся на основании Г-образной схемы замещения.

Расчёт потребует твердых знаний по дисциплине Теоретические основы электротехники, усвоения теоретической части курса Электрические машины и прочтения специальной литературы по методам расчёта и по эксплуатации асинхронных двигателей.

Курсовой проект должен содействовать развитию навыков самостоятельной работы и способности студентов к инженерной деятельности.

## **Требования к результатам работы**

Курсовой проект является завершающим этапом изучения дисциплины **Электрические машины** и в результате обучающийся должен:

### ***Знать:***

- современные направления развития электрических машин;
- новые серии электрических машин, выпускаемых промышленностью;
- принцип действия современных типов электрических машин;
- проблемы, возникающие при эксплуатации машин;
- ключевые понятия в области электромашиностроения;
- особенности конструкции электрических машин и трансформаторов, их уравнения, схемы замещения и характеристики;

### ***Уметь:***

- выполнять расчёты и построения характеристик электрических машин;
- определять основные параметры электрических машин;
- анализировать результаты расчётов;
- использовать полученные знания при решении практических задач по проектированию, испытаниям и эксплуатации электрических машин.

### ***Владеть:***

- приёмами дефектации и ремонта электрических машин;
- навыками выполнения чертежей в графических пакетах Компас и др.
- методиками проектирования электрических машин.

## **2 Этапы курсового проектирования**

**1 этап:** получение задания, работа со справочной литературой, заполнение листа с исходными данными;

**2 этап:** выполнение подготовительных расчётов;

**3 этап:** расчёт и построение рабочих характеристик;

**4 этап:** расчёт и построение пусковых характеристик;

**5 этап:** оформление чертежа и пояснительной записки;

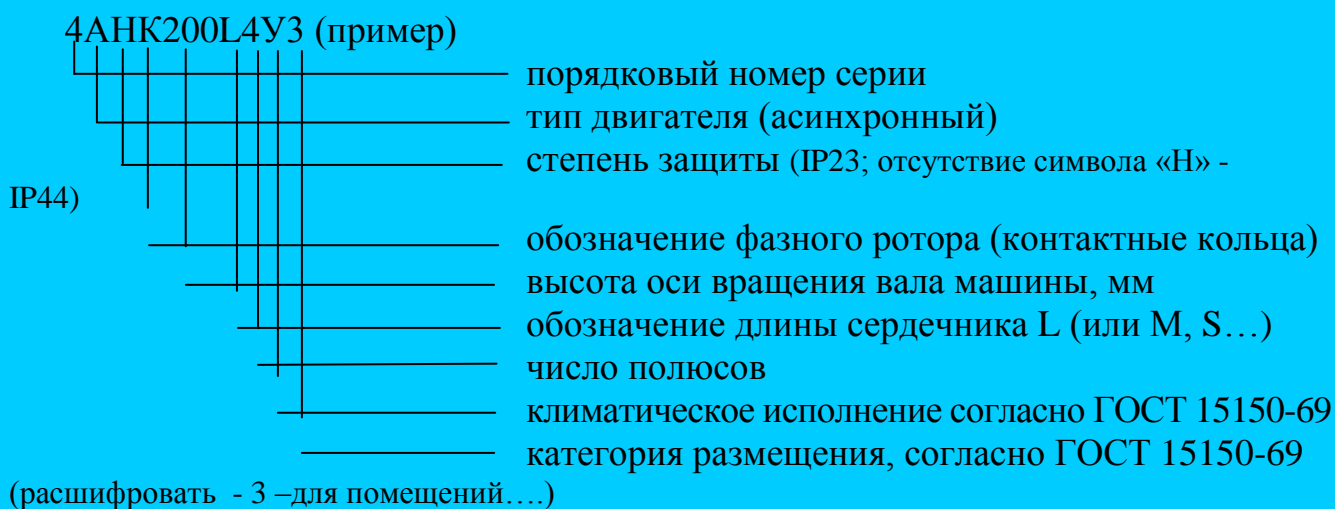
**6 этап:** предоставление проекта на проверку руководителю, устранение замечаний, подготовка к защите;

**защита курсового проекта** (представление работы – краткий доклад, ответы на вопросы).

### 3 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы (проекта)

#### 3.1 Исходные данные

Прежде, чем приступить к расчётам, необходимо «расшифровать» название заданного в варианте асинхронного двигателя и с помощью справочных таблиц [1, 2] или Приложения настоящих Методических указаний заполнить таблицу 1 – Данные двигателя 4А....



Технические данные и параметры схемы замещения берут из таблиц 2.7 и 2.8 [1], обмоточные данные статора и ротора даны в таблицах 6.15 и 6.16 [1].

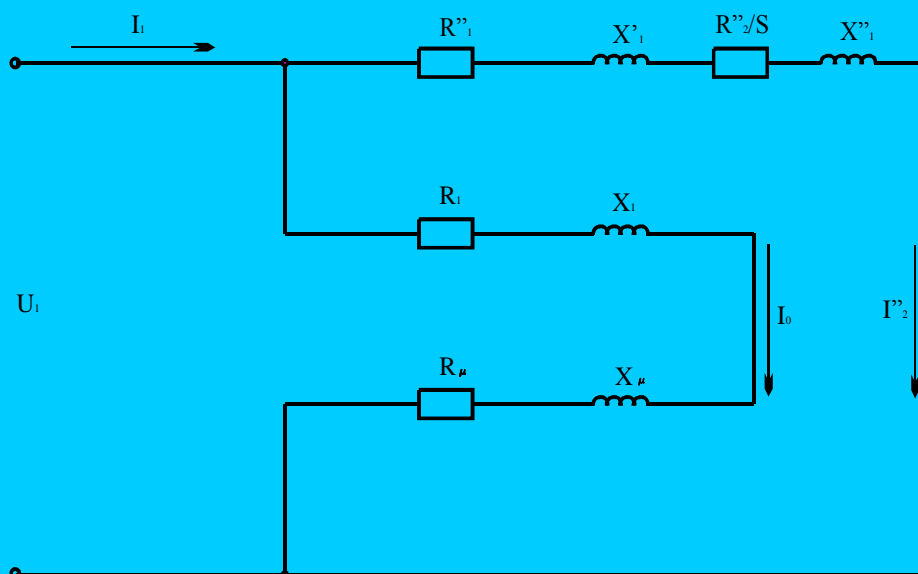


Рисунок 1 Г - образная схема замещения асинхронного двигателя

Таблица 1 Исходные данные двигателя 4А....., Вариант № \_\_\_\_\_

№ п/п	Обозначение	Единицы измерения	Значение	Примечание
1	$f_1$	Гц		частота сети
2	$U_{1H}$	В		номинальное напряжение фазы статора
3	$n_0$	об/мин		синхронная частота вращения (поля статора)
4	$P_{2H}$	Вт		номинальная мощность на валу
5	$\eta_n$			номинальный КПД
6	$\cos \varphi_n$			номинальный коэффициент мощности
7	$I_{2H}$	А		номинальный ток ротора
8	$U_2$	В		напряжение на кольцах неподвижного ротора
9	$m_k$			перегрузочная способность двигателя (отношение максимального момента к номинальному)
10	$s_H$	о.е.		номинальное скольжение
11	$s_k$	о.е.		критическое скольжение
12	$\dot{X}'_m$	о.е.		индуктивное сопротивление цепи намагничивания
13	$\dot{R}'_1$	о.е.		приведённое активное сопротивление фазы статора
14	$\dot{X}'_1$	о.е.		приведённое индуктивное сопротивление фазы статора
15	$R''_2$	о.е.		приведённое индуктивное сопротивление фазы ротора
16	$\dot{X}''_2$	о.е.		приведённое индуктивное сопротивление фазы ротора
17	$Z_1$			число пазов статора
18	$S_{n1}$			число эффективных проводников в пазу статора
19	$a_1$			число параллельных ветвей в обмотке статора
20	$k_{об1}$			обмоточный коэффициент статора
21	$R_{1(20)}$	Ом		активное сопротивление фазы статора при 20°C
22	$Z_2$			число пазов ротора
23	$S_{n2}$			число эффективных проводников в пазу ротора
24	$a_2$			число параллельных ветвей в обмотке ротора
25	$k_{об2}$			обмоточный коэффициент ротора
26	$R_{2(20)}$	Ом		активное сопротивление фазы ротора при 20°C
27	$'P_C$	о.е.		потери в стали
28	$\dot{P}_{мех}$	о.е.		механические потери
29	$\dot{P}_Д$	о.е.		добавочные потери
30	$\alpha_c$	о.е.		отношение момента сопротивления $M_c$ к номинальному моменту $M_{эмн}$
31	$U_{п}$	В		фазное напряжение, подводимое к двигателю при пуске



### 3.2 Подготовительные расчёты

1 Потери в стали, Вт

$$P_c = \dot{P}_c \cdot P_{2H}.$$

2 Потери механические, Вт

$$P_{mex} = \dot{P}_{mex} \cdot P_{2H}.$$

3 Потери добавочные, Вт

$$P_d = \dot{P}_d \cdot P_{2H}.$$

4 При номинальной нагрузке полное сопротивление фазы двигателя, Ом

$$Z_H = \frac{3U_{1H}^2 \dot{R}_2'' \frac{1-s_H}{s_H}}{P_{2H} (1 + \dot{P}_{mex} + \dot{P}_d) \left( (\dot{R}_1' + \frac{\dot{R}_2''}{s_H})^2 + (\dot{X}_1' + \dot{X}_2'')^2 \right)}.$$

5 Пересчёт сопротивлений схемы замещения из относительных единиц в Омы

$$X_\mu = \dot{X}_\mu \cdot Z_H,$$

$$X_1' = \dot{X}_1' \cdot Z_H,$$

$$X_2'' = \dot{X}_2'' \cdot Z_H,$$

$$R_1' = \dot{R}_1' \cdot Z_H,$$

$$R_2'' = \dot{R}_2'' \cdot Z_H.$$

6 Активное и индуктивное сопротивление фазы обмотки статор, Ом

$$X_1 = \frac{2X_1'}{1 + \sqrt{1 + \frac{4X_1'}{X_\mu}}},$$

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{X_1}{X_1'}.$$

7 Активное сопротивление цепи намагничивания, обусловленное потерями в стали, Ом

$$R_\mu = d_1 - \sqrt{d_1^2 - d_2},$$

где  $d_1 = \frac{3U_{1H}^2}{2P_c} - R_1$  Ом,  $d_2 = R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2$  Ом.

8 Коэффициент приведения к Г-образной схеме замещения

$$C_1 = 1 + \frac{X_1}{X_\mu}.$$

9 Электромагнитная мощность двигателя при номинальной нагрузке,  
Вт

$$P_{эмн} = \frac{3U_{1H}^2 \cdot \frac{R_2''}{S_H}}{(R_1' + \frac{R_2''}{S_H})^2 + (X_1' + X_2'')^2}.$$

10 Число пар полюсов двигателя

$$p = \frac{60f_1}{n_0}.$$

11 Угловая скорость вращения магнитного поля, рад/с

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{P}.$$

12 Электромагнитный момент двигателя при номинальной нагрузке,  
Н·м

$$M_{эмн} = \frac{P_{эмн}}{\omega_0}.$$

13 Номинальный момент на валу двигателя, Н·м

$$M_H = \frac{9,55P_{2H}}{n_0(1 - S_H)}.$$

14 При номинальной нагрузке потери в обмотке ротора, Вт

$$P_{M2H} = P_{эмн} \cdot S_H.$$

15 Ток холостого хода, А

$$\underline{I}_0 = \frac{U_{1H}}{(R_1 + R_\mu) + j(X_1 + X_\mu)} = I_{0a} + jI_{0p},$$

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}.$$

16 Ток главной ветви схемы замещения при номинальной нагрузке, А

$$\underline{I}_{2H}'' = \frac{U_{1H}}{(R_1 + \frac{R_2''}{S_H}) + j(X_1' + X_2'')} = I_{2Ha}'' + jI_{2Hp}'',$$

$$I_{2H}'' = \sqrt{I_{2Ha}''^2 + I_{2Hp}''^2}.$$

17 Номинальный ток фазы статора, А

$$\underline{I}_{1H} = \underline{I}_0 + \underline{I}_{2H}'' = I_{1Ha}'' + jI_{1Hp}'',$$

$$I_{1H} = \sqrt{I_{1Ha}''^2 + I_{1Hp}''^2}.$$

18 Потери в обмотке статора при номинальной нагрузке, Вт

$$P_{M1H} = 3I_{1H}^2 R_1.$$

19 Приведённая эдс фазы неподвижного ротора, В

$$E_{2H}' = I_0 X_\mu.$$

20 Реальная эдс фазы неподвижного ротора, В

$$E_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}}.$$

21 Коэффициент трансформации двигателя

$$K_e = \frac{E_{2H}'}{E_2}.$$

22 Мощность холостого хода, Вт

$$P_0 = 3I_0^2 (R_1 + R_\mu).$$

23 Номинальная мощность, потребляемая из сети, Вт

$$P_{1H} = P_{2H} + P_{M1H} + P_{M2H} + P_C + P_{Mex} + P_\partial.$$

24 Номинальный ток ротора, А

$$I_{2H} = I_{2H}'' K_e C_1.$$

25 Сопротивление ротора при рабочей температуре, Ом

$$R_2 = \frac{R_2''}{C_1^2 K_e^2}.$$

26 Номинальный КПД

$$\eta = \frac{P_{2H}}{P_{1H}}.$$

27 Номинальный коэффициент мощности

$$\cos \varphi_H = \frac{P_{1H}}{3U_{1H} I_{1H}} .$$

28 Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_{1H} I_{1H}} .$$

29 Критическое скольжение

$$s_k = \frac{R_2''}{\sqrt{R_1'^2 + (X_1' + X_2'')^2}} .$$

30 Критический момент, Н·м

$$M_k = \frac{3U_{1H}^2}{2\omega_0(R_1' + \frac{R_2''}{S_k})} .$$

31 Отношение критического момента к моменту номинальному (перегрузочная способность двигателя)

$$m_k = \frac{M_k}{M_n} .$$

32 Число витков на фазу статора

$$W_1 = \frac{S_{n1}Z_1}{6a_1} .$$

33 Число витков на фазу ротора

$$W_2 = \frac{S_{n2}Z_2}{6a_2} .$$

34 Коэффициент трансформации по обмоточным данным

$$K_e = \frac{W_1 k_{o\sigma 1}}{W_2 k_{o\sigma 2}} .$$

### 3.3 Расчёт и построение рабочих характеристик

#### 3.3.1 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя являются зависимости  $P_1$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\eta$ ,  $S$ ,  $M$  от полезной мощности на валу  $P_2$ . Эти характеристики рассчитываются с использованием Г-образной схемы замещения (рисунок 1). Данные берутся из предыдущих разделов. Алгоритм расчётов приведен ниже.

Вычислить пять значений скольжений:

$$0,1S_H; 0,2S_H; 0,4S_H; S_H; 1,3S_H$$

и при каждом из этих скольжений выполнить расчёты:

1 Сопротивления главной цепи Г-образной схемы замещения, Ом

$$R_{\Gamma} = R_1' + \frac{R_2''}{S},$$

$$X_k = X_1' + X_2'',$$

$$Z_{\Gamma} = \sqrt{R_{\Gamma}^2 + X_k^2};$$

2 Приведённый ток ротора и его активная и реактивная составляющие,

$$I_2'' = \frac{U_1}{Z_{\Gamma}} \text{ А},$$

$$I_{2a}'' = \frac{I_2'' R_{\Gamma}}{Z_{\Gamma}} \text{ А},$$

$$I_{2p}'' = \frac{I_2'' X_k}{Z_{\Gamma}} \text{ А};$$

3 Реальный ток ротора, А

$$I_2 = I_2'' K_e C_1.$$

4 Ток фазы статора и его активная и реактивная составляющие, А

$$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a}'',$$

$$I_{1p} = I_{0p} + I_{2p}'' ,$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} .$$

5 Потери в обмотке статора, Вт

$$P_{M1} = 3I_1^2 R_1 ;$$

6 Потери в обмотке ротора, Вт

$$P_{M2} = 3I_2''^2 R_2'' ;$$

7 Электромагнитная мощность, Вт

$$P_{эм} = \frac{P_{M2}}{S} ;$$

8 Активная мощность, потребляемая двигателем из сети, Вт

$$P_1 = P_{эм} + P_{M1} + P_C ;$$

9 Мощность на валу, Вт

$$P_2 = P_{эм} - P_{M2} - P_{МЭХ} - P_δ ;$$

10 Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} ;$$

11 Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{3U_1 I_1} ;$$

12 Электромагнитный момент, Н·м

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_0} .$$

### 3.3.2 Построение рабочих характеристик

1 Результаты расчётов занести в таблицу 2. В первом столбце этой таблицы **указываются** значения параметров **при холостом ходе** ( $s = 0$ )

Таблица 2 Результаты расчётов для построения рабочих характеристик

S, о.е	0	0,1 S <sub>н</sub>	0,2 S <sub>н</sub>	0,4 S <sub>н</sub>	S <sub>н</sub>	1,5S <sub>н</sub>
I <sub>2</sub> , А	0					
I <sub>1</sub> , А	I <sub>0</sub>					
P <sub>1</sub> , Вт	P <sub>0</sub>					
P <sub>2</sub> , Вт	0					
η	0					
cosφ	cosφ <sub>0</sub>					
M <sub>эм</sub> , Н·м	0					

2 По данным таблицы 2 построить рабочие характеристики двигателя:

$P_1; I_1; I_2 = f(P_2)$  – рисунок 2;

$s; \eta; \cos\varphi = f(P_2)$  – рисунок 3.

ПРИМЕР:

$I_1, A; I_2, A (P_1, кВт)$

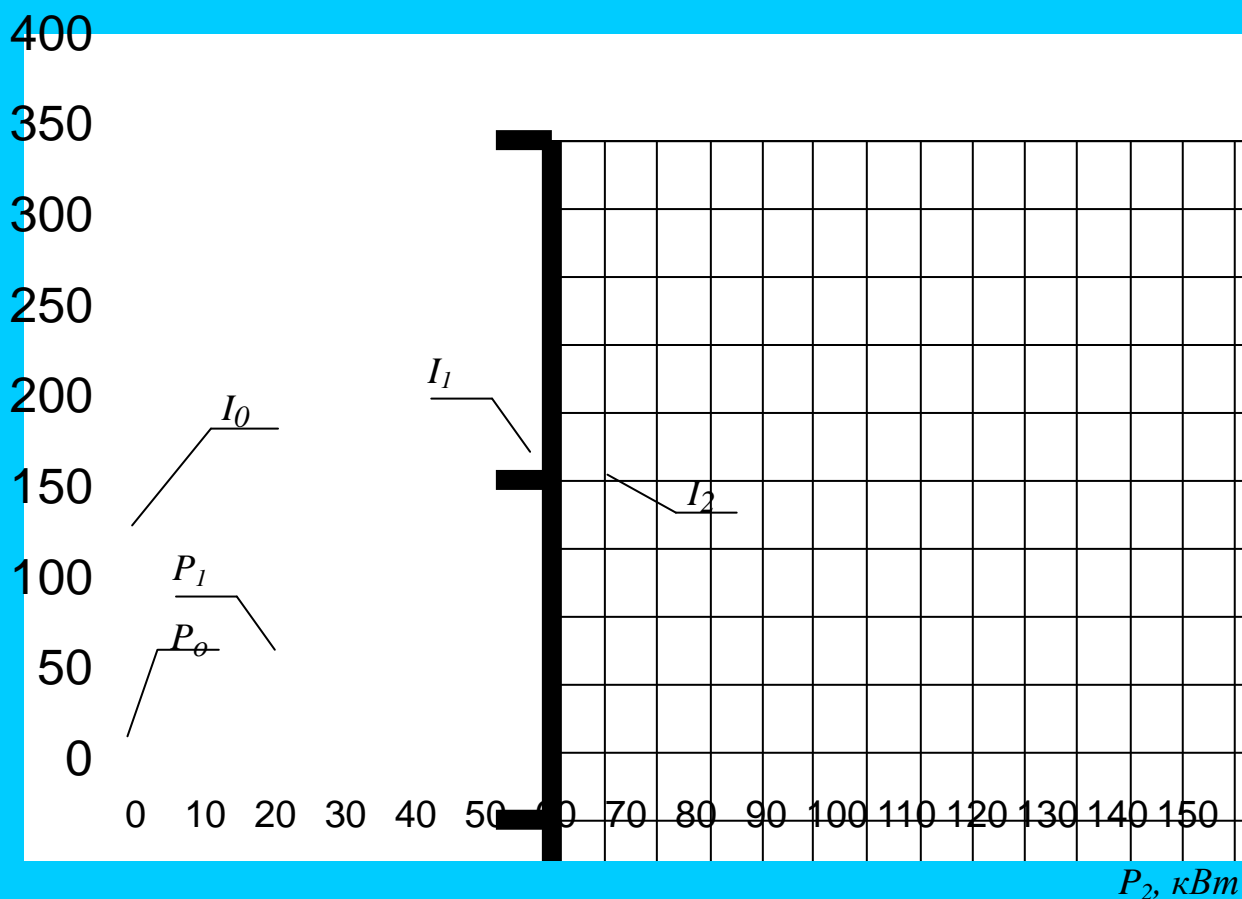


Рисунок 2 Рабочие характеристики двигателя  $I_1, I_2, P_1 = f(P_2)$



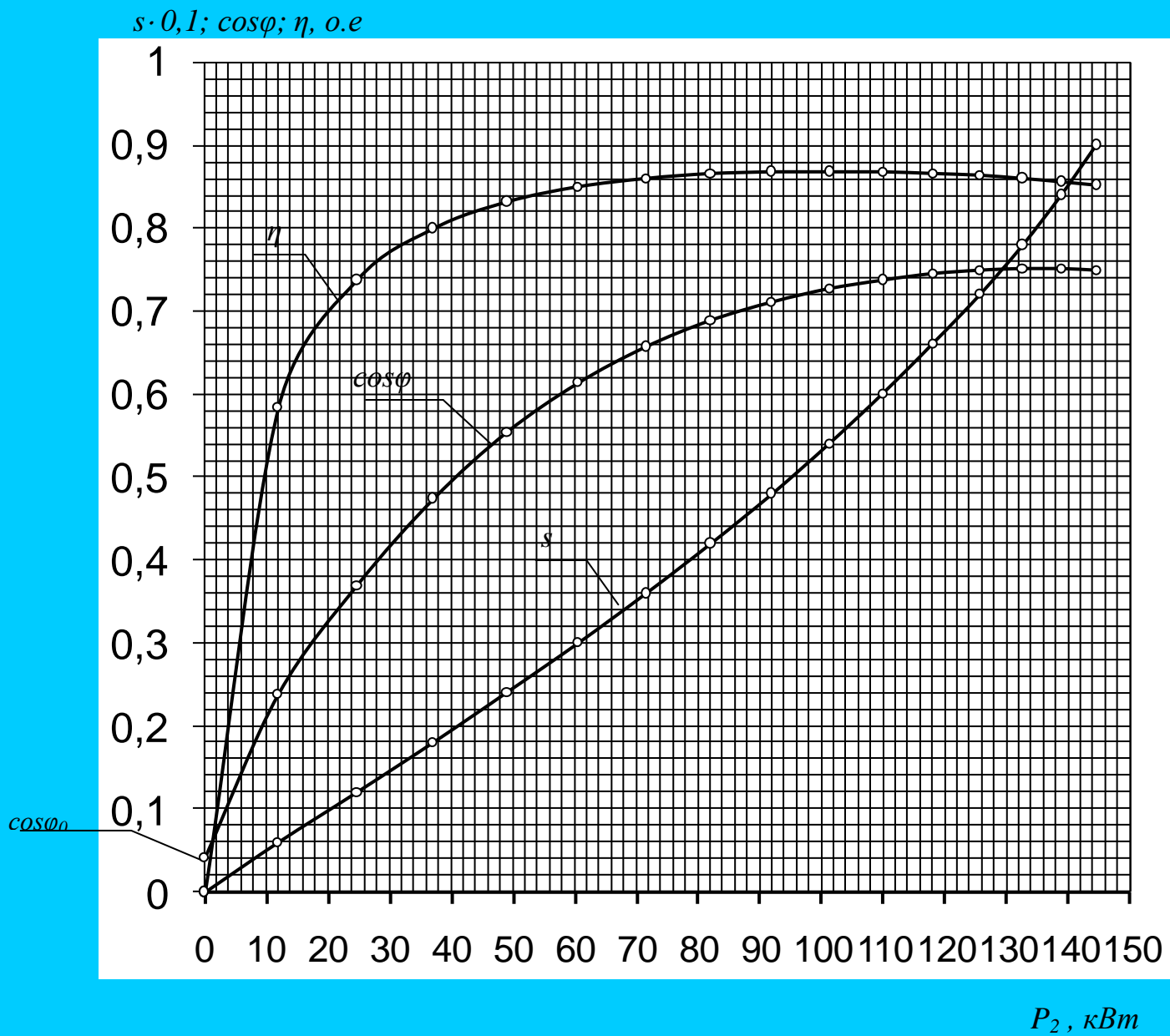


Рисунок 3 Рабочие характеристики двигателя;  $\eta, \cos\varphi = f(P_2)$

### 3.4 Расчёт пусковых сопротивлений

Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором осуществляется по схеме, представленной на рисунке 4.

Схема включения двигателя.

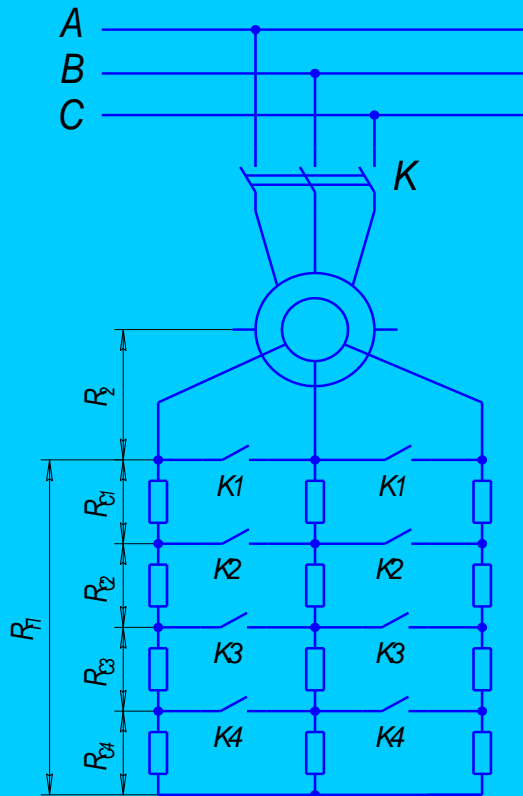


Рисунок 4 – Схема включения двигателя

( $R_2$  – внутреннее активное сопротивление ротора;  $R_{П}$  – пусковое сопротивление ротора)

1 Момент сопротивления, Н·м

$$M_c = a_c \cdot M_{эмн.}$$

2 Максимальный пусковой момент, Н·м

$$M_1 = 0,8M_{кр.}$$

3 Скольжение, соответствующее моменту  $M_1$ , на естественной механической характеристике двигателя

$$s_1 = \frac{R_2''}{d_5 + \sqrt{d_5^2 - d_4}},$$

где  $d_5 = \frac{3U_{1H}^2}{2M_1\omega_0} - R_1'$ ,

$d_4 = (R_1')^2 + (X_1' + X_2'')^2$ .

Значение  $S_1$  должно соответствовать условию  $S_H \angle S_1 \angle S_K$

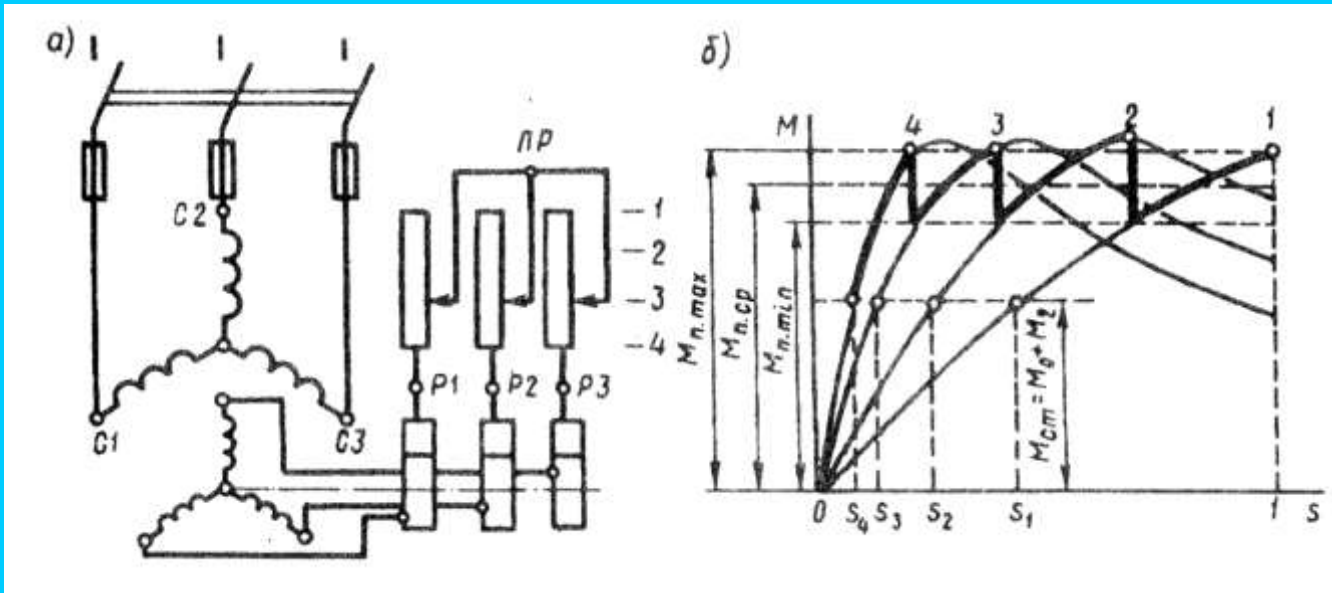


Рисунок 5 - Схема включения пускового реостата (а) построение графика пускового момента (б) асинхронного двигателя

4 Число ступеней пускового реостата Z выбираем по скольжению:

если

$S_1 < 0,07$ , то  $Z=4$ ;

$S_1 = 0,07$ , то  $Z=3$ ;

$S_1 > 0,07$ , то  $Z=2$ .

5 Коэффициент изменения активного сопротивления роторной цепи

$$\lambda = z \sqrt{\frac{1}{S_1}}$$

Если пуск двигателя осуществляется без нагрузки на валу или при малых нагрузках, то полученные значения Z и  $\lambda$  не корректируются.

Если же пуск осуществляется при нагрузках, близких к номинальной, то должно выполняться условие  $\lambda < m_k$ . При невыполнении этого условия необходимо увеличить число пусковых ступеней и пересчитать значение  $\lambda$ .

6 Сопротивление пускового реостата (добавочных сопротивлений) на различных ступенях пуска, Ом

$$R_{\partial m} = R_2(\lambda^m - 1),$$

где  $m$  – целое число от 1 до  $Z$

$$R_{\partial 1} = R_2(\lambda^1 - 1),$$

$$R_{\partial 2} = R_2(\lambda^2 - 1).$$

7 Сопротивление пускового реостата, Ом

$$R_{cm} = R_{\partial 1}\lambda^{m-1},$$

где  $m$  – целое число от 1 до  $Z$

$$R_{c1} = R_{\partial 1}\lambda^{1-1}$$

$$R_{c2} = R_{\partial 2}\lambda^{2-1}$$

### 3.5 Расчёт и построение пусковых характеристик

Алгоритм расчёта пусковых характеристик (показаны на рисунках 5, 6) базируется на Г-образной схеме замещения. Расчёт ведётся поочерёдно для всех ступеней пуска.

1 Номер пусковой ступени обозначим  $m$ . Поочерёдно задаёмся значениями  $m$  от 0 до  $Z$  и находим приведённое активное сопротивление фазы роторной цепи из данной ступени пуска, Ом

$$R''_{m\phi} = R''_2\lambda^m,$$

$$R''_{0\phi} = R''_2\lambda^0,$$

$$R''_{1\phi} = R''_2\lambda^1,$$

$$R''_{2\phi} = R''_2\lambda^2.$$

2 Рабочие участки пусковых характеристик почти прямолинейны, поэтому для их построения достаточно на каждой ступени пуска рассчитать по три точки. Скольжение, соответствующее этим точкам, определим по формуле

$$S_{mk} = \frac{KS_1}{3} \lambda^m,$$

где  $K$  – поочередно принимает значения 1, 2, 3 при всех значениях  $m$ .

Полученные значения скольжений записываем в таблицу 3. При  $m = 0$  дополнительно записываем в таблицу скольжения 0;  $S_k$  и 1.

3 Выполним расчёт пусковых характеристик при  $m = 0$ , т.е. без добавочных сопротивлений в цепи ротора. Расчёт ведём при значениях скольжений  $S_{01}$ ;  $S_{02}$ ;  $S_{03}$ ;  $S_k$  и 1:

- активное, реактивное и полное сопротивление главной ветви Г-образной схемы замещения, Ом

$$R_\Gamma = R_1' + \frac{R_{0\phi}''}{S_{01}},$$

$$X_k = X_1' + X_2'',$$

$$Z_\Gamma = \sqrt{R_\Gamma^2 + X_k^2};$$

- приведённый ток ротора

$$I_2'' = \frac{U_1}{Z_\Gamma};$$

- активная и реактивная составляющая приведённого тока ротора, А

$$I_{2a}'' = \frac{I_2'' R_\Gamma}{Z_\Gamma},$$

$$I_{2p}'' = \frac{I_2'' X_k}{Z_\Gamma};$$

- реальный ток ротора, А

$$I_2 = I_2'' K_e C_1;$$

- ток статора и его составляющие, А

$$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a}''$$

$$I_{1p} = I_{0p} + I_{2p}''$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} ;$$

- электромагнитная мощность, Вт

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{3I_2''^2 R_{0\phi}''}{S_{01}} ;$$

- электромагнитный момент, Н·м

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{\omega_0} .$$

3 Результаты расчётов занести в таблицу 3.

Расчёт токов и моментов при  $m = 1, 2$  можно не выполнять, т.к. отношение  $R_m'' / S_{mk}$  не зависит от  $m$ . Следовательно, значения  $I_1, I_2, M_{\text{ЭМ}}$  будут те же самые, что и при  $m = 0$ .

Таблица 3 - Результаты расчётов для построения пусковых характеристик

m	S	$I_1; \text{A}$	$I_2; \text{A}$	$M_{\text{ЭМ}}; \text{H}\cdot\text{m}$
0	0 $S_{01}$ $S_{02}$ $S_{03}$ $S_{\kappa}$ 1	$I_0$	0	0
1	$S_{11}$ $S_{12}$ $S_{13}$			
z	$S_{z1}$ $S_{z2}$ $S_{z3}$			

4 По данным таблицы 3 построить пусковые характеристики двигателя  $M_{\text{ЭМ}} = f(S)$  (рисунок 6),  $I_1 = f(S)$  (рисунок 7);  $I_2 = f(S)$ .

ПРИМЕР:

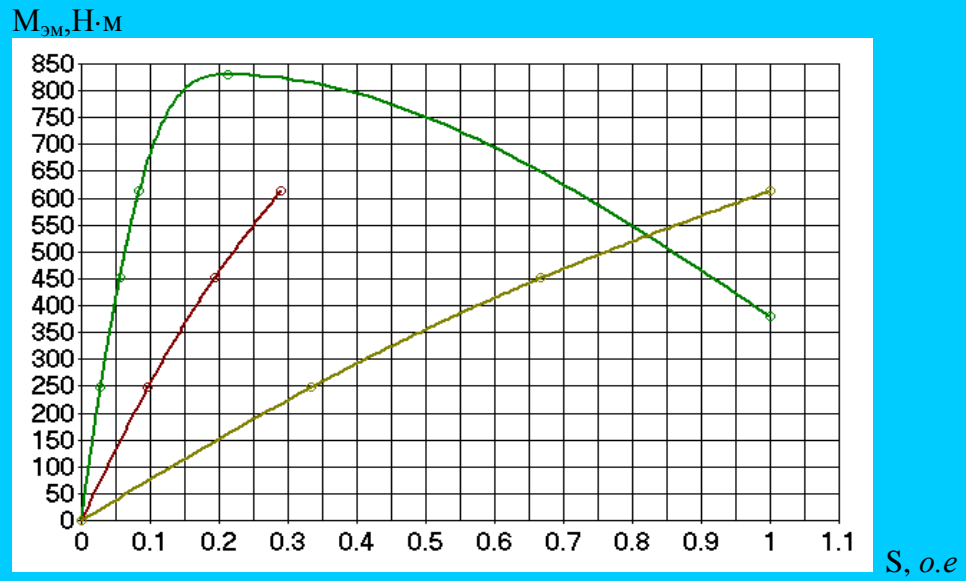
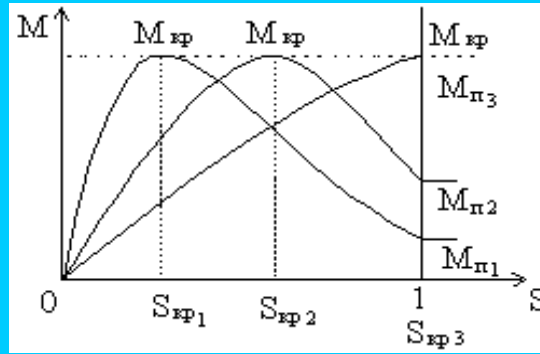


Рисунок 6 Пусковая характеристика двигателя  $M_{эм} = f(S)$

ПРИМЕР:

$I_1, А$

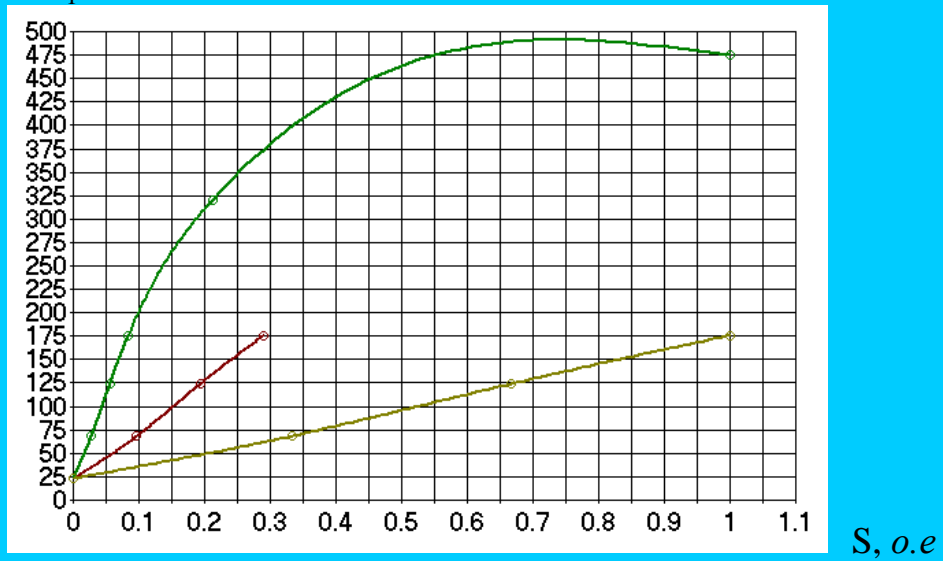


Рисунок 7 Пусковая характеристика двигателя  $I_1 = f(S)$

После построения пусковых характеристик определить момент переключения  $M_2$  и проверить условие  $M_2 > 1,1M_C$ . Если это условие не выполняется, то следует увеличить число пусковых ступеней

Описать процесс пуска асинхронного двигателя с фазным ротором и оценить степень соответствия числа ступеней пускового реостата условиям пуска.

### **3.6 Сравнение двух двигателей серии 4А**

По заданию сравнить два двигателя разных марок серии 4А (по заданию): отметить как габариты, число полюсов или исполнение двигателей влияют на их мощность (габариты, эксплуатационные свойства).



#### 4 Состав курсового проекта и содержание пояснительной записки

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. Оформление должно соответствовать требованиям ЕСКД и ГОСТ.

Графическая часть должна содержать:

- характеристики двигателя, построенные на листах формата А4 (можно на миллиметровой бумаге), а именно:
  - схема включения двигателя,
  - Г-образная схема замещения,
  - рабочие характеристики двигателя,
  - пусковые характеристики двигателя;
- лист формата А1 - чертеж общего вида машины (габаритные размеры двигателя указаны в таблицах 5.11-5.17[1]).

В пояснительную записку следует включить:

- титульный лист,
- задание на курсовой проект с таблицей исходных данных,
- введение,
- основную часть,
- заключение,
- список использованных источников.

По результатам предварительных расчётов следует оценить коэффициент приведения (к Г-образной схеме замещения)  $C_1$  ( $C_1 \approx 1,02 \div 1,06$ ), относительную величину тока холостого хода  $\frac{I_0}{I_{1H}}$ .

Сравнить рассчитанные и заданные значения тока ротора, кпд,  $\cos\varphi$ , сопротивлений  $R_1, R_2$ .

Сравнить значения коэффициентов трансформации двигателя  $K_e$  и  $K'_e$ , рассчитанных по схеме замещения и по обмоточным данным.

Объяснить погрешность рассчитанного критического скольжения по отношению к критическому скольжению в номинальном режиме.

Сравнить электромагнитный момент двигателя при номинальной нагрузке и номинальный момент на валу двигателя. Дать объяснение различию.

Определить электромагнитную мощность при номинальной нагрузке

$$P_{эмн} = P_{1H} - 3I_{1H}^2 R_1 - P_C$$

и сравнить её значение с мощностью  $P_{эмн}$ , полученной в предварительных расчётах.

Провести анализ полученных результатов. Сделать выводы.

Отразить выводы, сделанные в результате сравнения заданных и расчетных величин, в Заключение.

## 5 Требования к оформлению курсового проекта

Проект считается выполненным, если содержит все структурные элементы, включает разработку всех разделов основной части и оформлен в соответствии с требованиями стандартов.

**Пояснительная записка** печатается на принтере. Размер шрифта – 14, тип - Times New Roman через 1,5 интервала. Текст печатается на листах писчей бумаги форматом А4 (210×297 мм). Для разворотных таблиц и рисунков допускается формат А3 (297×420 мм). В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Заголовки таблиц, названия схем допускается печатать через один интервал.

Допускается рукописный способ выполнения текста, выполненный аккуратным почерком.

Текст печатается на одной стороне листа. Границы текста с каждой стороны следующие:

- левая – 25 мм;
- правая – 10 мм;
- верхняя и нижняя – 20 мм.

**Абзацный отступ** равен 5 знакам. Заголовки разделов и подразделов отделяются от текста сверху и снизу тремя интервалами. Текст печатается строчны-

ми буквами. Заглавными буквами печатаются аббревиатуры, а также названия глав, слова «ВВЕДЕНИЕ» и «ЗАКЛЮЧЕНИЕ». Точка в конце заголовка не ставится, заголовок не подчеркивается. Знаки, символы, обозначения, а также математические формулы могут быть набраны на ПЭВМ или вписаны от руки тушью (чернилами, пастой) черного цвета. Вписываемые знаки должны иметь размер печатного шрифта, надстрочные и подстрочные индексы, показатели степени и т.п. могут быть меньших размеров, но не менее 2 мм по высоте.

В тексте должна быть соблюдена *соподчиненность глав, параграфов и пунктов*. Нумерация глав и параграфов выполняется арабскими цифрами, которые отделяются от названий точкой. Знак § не ставится. Номер параграфа состоит из цифры, обозначающей номер главы и цифры, обозначающей его порядковый номер в составе главы, отделенных друг от друга точкой. Если параграфы состоят из нумерованных пунктов, нумерация последних состоит из трех разделенных точками цифр.

Каждая глава начинается с новой страницы.

**Нумерация страниц** основного текста и приложений должна быть **сквозной**. Страницы нумеруются от титульного листа и до последнего. Номер страницы на титульном листе не указывается, задание на курсовое проектирование является второй страницей, но номер страницы не указывается. Нумерация страниц выполняется арабскими цифрами внизу по центру страницы.

Технические данные, результаты их обработки, исходная информация для анализа, как правило, приводятся в **таблицах**. Таблица – это перечень сведений, числовых данных, приведенных в определенную систему и разнесенных по графам. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Слова в названии таблицы, в заголовках граф, в боковике таблицы переносить и сокращать нельзя.

Таблицы в тексте нумеруют:

- последовательно, арабскими цифрами, сквозной нумерацией, например, *Таблица 1*;
- в пределах раздела, например, *Таблица 1.1*;

- отдельной нумерацией в каждом приложении арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например,

*Таблица Б.1* (Таблица 1 приведена в приложении Б).

После номера таблицы дается ее название с заглавной буквы, например,

*Таблица 1.1 Габаритные размеры и массы трансформаторов типа ОСМ.*

При выполнении проекта (работы) студент разрабатывает необходимый **иллюстрированный материал**: диаграммы, графики, чертежи и представляет их на рисунках с соответствующими подрисуночными подписями, например,

*Рисунок 1 Группы соединения обмоток трансформаторов*

Чертежи выполняются в соответствии с правилами, установленными стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), ГОСТ 2.301 – 68 и др. Основные буквенные обозначения, применяемые в конструкторских документах всех отраслей промышленности, установлены ГОСТ 2.321 – 84.

Таблицу или рисунок размещают в зависимости от их размера:

- под текстом, в котором впервые дана ссылка;
- в тексте на следующей странице после первого упоминания;
- при необходимости в приложении к курсовому (дипломному) проекту (работе).

На все таблицы, рисунки и приложения в тексте проекта (работы) должны быть приведены **ссылки**.

Материал, дополняющий курсовой проект допускается помещать в **приложениях**.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложения нумеруются заглавными буквами русского алфавита начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь и имеют заголовок, который записывается симметрично относительно текста с прописной буквы.

Приложения располагают после библиографического списка и включают в оглавление проекта (работы).

Оформление проекта (работы) должно соответствовать требованиям следующих стандартов:

- ГОСТ 2.105 – 2019 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам;
- ГОСТ 7.32 – 2017 (ИСО 5966 – 82) СИБИД. Отчет о научно – исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- ISO 5966: 1982. Документация. Оформление научных и исследовательских отчетов;
- СТ СЭВ 543 – 77. Числа. Правила записи и округления;
- ГОСТ 7.1 – 2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

Единые требования к оформлению также приведены в учебном пособии «Правила и требования к оформлению учебных работ студентов в учебно-методической документации».

Оформление **титульного листа**. На титульном листе приводят следующие сведения:

наименование вышестоящей организации: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

-- наименование организации: название вуза. Например, Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»;

- ниже наименования организации: располагают наименование филиала, территориального отделения, структурного подразделения. Например:

*Лысьвенский филиал*

*Кафедра общенаучных дисциплин;*

- форма работы: курсовой проект;
- наименование работы: тема проекта (работы);
- инициалы и фамилия исполнителя работы;
- должность, инициалы и фамилия руководителя работы;
- место и год выполнения работы.

Образец выполнения титульного листа дипломной работы приведен в Приложении А.

Составление и оформление **библиографического списка**. Сведения об источниках, используемых для выполнения проекта или работы, приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 – 2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

Библиографическое описание – совокупность библиографических сведений о документе, его составной части или группы документов, данных по определенным правилам, необходимых и достаточных для общей характеристики и идентификации документа.

Объектом составления библиографического описания является книга, брошюра, другое разовое однотомное издание, а также отдельный том (выпуск) многотомного или сериального издания.

Источники библиографических сведений, как правило, приводятся на обороте титульного листа, перед выпускными данными.

Ориентировочный объем пояснительной записки составляет в среднем 15-25 страниц (без приложений).

Пояснительная записка должна быть переплетена или заключена в папку для отчетных (курсовых) работ.

Чертеж после защиты проекта складывается по определенным правилам и подшивается в папку вместе с пояснительной запиской.

Руководителю проекта должны быть представлены также пояснительная записка и чертеж в «электронном виде».

## Рекомендуемая литература

### Основная литература

- 1 Справочник. Асинхронные двигатели серии 4А. А.Э. Кравчик и др. М: Энергоиздат, 1982.
- 2 ГОСТ 7.32-2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ. Структура и правила оформления.
- 3 Вольдек, А. Электрические машины. Машины переменного тока / А. Вольдек. - СПб.: Питер, 2010. - 350 с.
- 4 Копылов, И.П. Электрические машины: Учебник. В 2 т / И.П. Копылов. - М: Юрайт, 2018. - 674 с.
- 5 Кацман, М.М. Справочник. Электрические машины. М: Академия, 2005.
- 6 Беспалов, В.Я. Электрические машины [Текст] : учебник / В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. - 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ИЦ Академия, 2013. - 320 с. : ил. – (Бакалавриат).
- 7 Под ред. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. Учебник бакалавриата. В 2ч М: Юрайт; 2018.
- 8 Токарев, Б.Ф. Электрические машины: Учебное пособие для вузов / Б.Ф. Токарев. - М.: Альянс, 2015. - 626 с.

### Дополнительная литература

- 1 Кацман, М.М. Электрические машины : учебник для вузов / М.М. Кацман. – 3- изд., испр. – М.: Высшая школа, 2000. - 463 с. : ил.
- 2 Шулаков, Н. В. Электрические машины: конспект лекций/ Н.В. Шулаков; Перм. гос. техн. ун-т. – Электрон. версия учебного пособия. – Пермь: изд-во ПГТУ, 2008. – 325 с. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru/view.php?fDocumentId=2073>, свободный.
- 3 Ванурин, В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин/ В.Н. Ванурин. – 2-е изд., испр. и доп. – Электрон. версия учебника. – СПб. : Лань, 2016. – 224 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/89930> , по IP-адресам комп. сети ПНИПУ.
- 4 Ванурин, В.Н. Электрические машины/ В.Н. Ванурин. – Электрон. Версия учебника. – СПб.: Лань, 2016. – 304 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72974> , по IP-адресам комп. Сети ПНИПУ.

5 Епифанов, А.П. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебник / А.П. Епифанов, Г.А. Епифанов. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 300 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/95139>, по IP-адресам комп. сети ПНИПУ.

### **Периодические издания**

1. Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления [Текст]: научный рецензируемый журнал. Архив номеров 2010-2016 г.г. - Режим доступа: <http://vestnik.pstu.ru/elinf/about/inf/>, свободный.

2. Электро. Электротехника. Электроэнергетика. Электротехническая промышленность: научно-технический журнал/ Учредитель ОАО «Электроза-вод». – Архив номеров в фонде ОНБ ЛФ ПНИПУ 2012-2017 г.г.

3. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт/Учредитель ООО «ИЕДЕПЕНДЕНТ МАСС МЕДИА» – Архив номеров 2018-2019 г.

4. Электрик Международный Электротехнический Журнал/Учредитель ДП «Издательство Радиоматор» Киев, «Радиоматор». Архив номеров 2018 г.

5. Информационно-аналитический журнал Электроэнергетика: сегодня, завтра. ООО «Издательский Дом « Деловая Пресса», ИП Левлюх Ю.А. Архив номеров 2019 г.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А Образец титульного листа

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Общенаучных дисциплин

Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Направленность: Автоматизированный электропривод и робототехнические  
комплексы

### **Пояснительная записка по выполнению курсового проекта по дисциплине Электрические машины «Расчёт рабочих и пусковых характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором»**

Выполнил

студент группы АЭП-18-1бз

шифр

А.А. Иванов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

\_\_\_\_\_  
(подпись студента)

Проверил

ст. преподаватель С.Ю. Вотина

Оценка \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(подпись преподавателя)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Лысьва 2021

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 (2.7) Основные технические данные электродвигателей с фазным ротором; степень защиты IP44

Типоразмер электродвигателя	P <sub>2ном</sub> , кВт	Электромагнитные нагрузки			Электрические показатели		I <sub>2 ном</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	Механическая характеристика			Параметры схемы замещения, от. ед				
		B <sub>б</sub> , Тл	A, А/см	J, А/мм <sup>2</sup>	КПД, %	cos φ			m <sub>к</sub>	S <sub>ном</sub> , %	S <sub>к</sub> , %	X <sub>μ</sub>	R' <sub>1</sub>	X' <sub>1</sub>	R'' <sub>2</sub>	X'' <sub>2</sub>
Синхронная частота вращения 1500 об/мин																
4AK160S4Y3	11,0	0,72	238	4,4	86,5	0,86	22	305	3,0	4,4	33,0	2,8	0,038	0,068	0,051	0,086
4AK160M4Y3	14,0	0,72	233	4,4	88,5	0,87	29	300	3,5	3,7	32,1	2,6	0,032	0,060	0,042	0,078
4AK180M4Y3	18,5	0,79	223	3,7	89,0	0,88	38	295	4,0	2,9	31,1	2,1	0,022	0,042	0,034	0,063
4AK200M4Y3	22,0	0,76	229	3,6	90,0	0,87	45	340	4,0	2,5	22,0	2,5	0,024	0,050	0,026	0,075
4AK200L4Y3	30,0	0,73	266	4,2	90,5	0,87	55	350	4,0	2,5	22,0	3,0	0,026	0,057	0,030	0,087
4AK225M4Y3	37,0	0,73	262	3,9	90,0	0,87	160	160	3,0	3,5	20,0	3,2	0,023	0,061	0,027	0,069
4AK250SA4Y3	45,0	0,74	299	3,4	91,0	0,88	170	230	3,0	3,0	20,5	3,3	0,020	0,067	0,030	0,080
4AK250SB4Y3	55,0	0,74	295	3,2	90,5	0,90	170	200	3,0	2,3	19,6	3,3	0,017	0,061	0,025	0,073
4AK250M4Y3	71,0	0,80	297	3,2	91,5	0,86	170	250	3,0	2,5	19,5	2,8	0,015	0,053	0,021	0,064
Синхронная частота вращения 1000 об/мин																
4AK160S6Y3	7,5	0,79	214	5,1	82,5	0,77	18	300	3,5	5,1	30,1	1,9	0,054	0,079	0,068	0,120
4AK160M6Y3	10,0	0,78	208	4,8	84,5	0,76	20	310	3,8	4,3	27,1	1,8	0,043	0,071	0,058	0,130
4AK180M6Y3	13,0	0,82	250	4,3	85,5	0,80	25	325	4,0	4,4	29,1	1,9	0,035	0,065	0,057	0,110
4AK200M6Y3	18,5	0,74	247	3,9	88,0	0,81	35	360	3,5	3,5	27,5	2,2	0,030	0,060	0,038	0,078
4AK200L6Y3	22,0	0,74	282	5,1	88,0	0,80	45	330	3,5	3,5	21,0	2,2	0,032	0,066	0,041	0,089
4AK225M6Y3	30,0	0,74	279	4,1	89,0	0,85	150	140	2,5	3,5	19,5	2,6	0,029	0,073	0,030	0,091
4AK250S6Y3	37,0	0,80	282	4,0	89,0	0,84	165	150	2,5	3,5	18,0	2,7	0,026	0,063	0,024	0,078
4AK250M6Y3	45,0	0,73	276	2,9	90,5	0,87	160	180	2,5	2,5	17,0	3,2	0,029	0,062	0,024	0,092
Синхронная частота вращения 750 об/мин																
4AK160S8Y3	5,5	0,78	230	5,2	80,0	0,70	14	300	2,5	6,4	29,0	1,6	0,060	0,112	0,094	0,175
4AK160M8Y3	7,1	0,74	222	5,1	82,0	0,70	16	290	3,0	5,5	23,2	1,6	0,053	0,110	0,079	0,208
4AK180M8Y3	11,0	0,75	257	4,2	85,5	0,72	25	270	3,5	4,4	22,7	1,7	0,041	0,086	0,062	0,167
4AK200M8Y3	15,0	0,79	285	4,6	86,0	0,70	28	360	3,0	3,5	23,0	1,8	0,040	0,081	0,048	0,120
4AK200L8Y3	18,5	0,76	296	4,5	86,0	0,73	40	300	3,0	3,5	21,5	2,2	0,038	0,089	0,046	0,120
4AK225M8Y3	22,0	0,74	309	4,6	87,0	0,82	140	102	2,2	4,5	19,5	2,4	0,039	0,100	0,043	0,130
4AK250S8Y3	30,0	0,81	324	4,5	88,5	0,81	155	125	2,2	4,0	20,0	2,3	0,033	0,081	0,034	0,100
4AK250M8Y3	37,0	0,76	311	4,5	89,0	0,80	155	148	2,2	3,5	18,5	2,4	0,031	0,078	0,031	0,100

Таблица 2 (2.8.) Основные технические данные электродвигателей с фазным ротором; степень защиты IP23

Типоразмер электродвигателя	P <sub>2ном</sub> , кВт	Электромагнитные нагрузки			Электрические показатели		I <sub>2 ном</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	Механическая характеристика			Параметры схемы замещения, от. ед.				
		B <sub>в</sub> , Тл	A, А/см	J, А/мм <sup>2</sup>	КПД, %	cos φ			m <sub>к</sub>	S <sub>ном</sub> , %	S <sub>к</sub> , %	X <sub>μ</sub>	R' <sub>1</sub>	X' <sub>1</sub>	R'' <sub>2</sub>	X'' <sub>2</sub>
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>																
4АНК160S4Y3	14,0	0,75	292	5,5	86,5	0,85	27,0	330	3,0	5,3	33,0	3,1	0,047	0,081	0,061	0,100
4АНК160M4Y3	17,0	0,76	270	5,0	88,0	0,87	34,0	315	3,5	4,1	32,3	2,7	0,035	0,067	0,047	0,087
4АНК180S4Y3	22,0	0,81	321	5,4	87,0	0,86	43,0	300	3,2	5,2	33,0	2,4	0,033	0,061	0,054	0,089
4АНК180M4Y3	30,0	0,84	346	5,8	88,0	0,81	63,0	290	3,2	4,1	30,4	2,4	0,028	0,055	0,044	0,083
4АНК200M4Y3	37,0	0,79	328	5,1	90,0	0,88	62,0	360	3,0	3,0	23,0	3,2	0,029	0,065	0,035	0,099
4АНК200L4Y3	45,0	0,78	344	5,4	90,0	0,88	75,0	375	3,0	3,5	22,5	3,4	0,029	0,067	0,036	0,100
4АНК225M4Y3	55,0	0,76	381	5,8	89,5	0,87	200	170	2,5	3,6	20,2	4,2	0,031	0,084	0,035	0,100
4АНК250SA4Y3	75,0	0,81	448	5,2	90,0	0,88	250	180	2,3	4,5	20,5	4,2	0,028	0,091	0,039	0,110
4АНК250SB4Y3	90,0	0,83	424	4,7	91,5	0,87	260	220	2,5	4,0	19,0	3,8	0,021	0,075	0,031	0,100
4АНК250M4Y3	110	0,8	449	5,1	92,0	0,90	260	250	2,5	3,5	18,0	4,3	0,022	0,078	0,031	0,100
4АНК280S4Y3	132	0,85	530	5,0	92,0	0,88	330	251	2,0	2,9	11,2	3,7	0,028	0,13	0,031	0,140
4АНК280M4Y3	160	0,88	541	4,8	92,5	0,88	330	300	2,0	2,6	10,7	3,3	0,024	0,12	0,028	0,140
4АНК315S4Y3	200	0,92	533	4,8	93,0	0,89	396	312	2,0	2,5	9,3	3,4	0,022	0,14	0,026	0,140
4АНК315M4Y3	250	0,89	593	5,4	93,0	0,90	425	360	2,0	2,5	8,8	4,1	0,022	0,15	0,025	0,140
4АНК355S4Y3	315	0,93	577	5,4	93,5	0,90	460	420	2,0	2,2	8,4	3,9	0,020	0,12	0,022	0,150
4АНК355M4Y3	400	0,89	592	5,8	94,0	0,90	485	505	2,0	2,0	7,7	4,8	0,019	0,12	0,020	0,140
<i>Синхронная частота вращения 1000 об/мин</i>																
4АНК180S6Y3	13,0	0,85	310	5,3	83,5	0,81	42	205	3,0	6,4	36,5	2,2	0,048	0,084	0,079	0,11
4АНК180M6Y3	18,5	0,87	326	5,3	85,0	0,82	32,5	335	3,0	5,7	35,5	2,6	0,044	0,087	0,077	0,11
4АНК200M6Y3	22,0	0,74	275	4,3	88,0	0,81	37	380	3,0	3,5	24,5	2,6	0,032	0,071	0,043	0,11
4АНК200L6Y3	30,0	0,75	300	4,8	88,5	0,82	46	375	3,0	4,0	23,5	2,8	0,032	0,073	0,042	0,12
4АНК225M6Y3	37,0	0,71	321	4,7	89,0	0,86	180	140	1,9	4,0	23,0	2,9	0,032	0,079	0,038	0,10
4АНК250SA6Y3	45,0	0,81	325	4,5	89,5	0,86	200	155	2,3	4,0	21,5	2,8	0,028	0,069	0,032	0,09
4АНК250SB6Y3	55,0	0,81	315	4,5	91,0	0,88	185	190	2,5	3,5	20,0	3,0	0,024	0,060	0,027	0,088
4АНК250M6Y3	75,0	0,80	334	4,8	91,5	0,85	200	250	2,5	3,0	19,0	2,7	0,022	0,059	0,025	0,087
4АНК280S6Y3	90,0	0,85	457	5,0	91,0	0,88	277	202	1,9	3,6	14,7	3,0	0,033	0,120	0,038	0,14
4АНК280M6Y3	110	0,82	476	5,6	91,5	0,87	297	230	1,9	3,6	14,0	3,5	0,034	0,130	0,038	0,14
4АНК315S6Y3	132	0,86	462	4,7	92,0	0,88	320	257	1,9	3,0	14,0	3,6	0,026	0,120	0,029	0,14
4АНК315M6Y3	160	0,85	465	4,8	92,5	0,88	352	291	1,9	3,0	10,2	3,4	0,024	0,110	0,024	0,13
4АНК355S6Y3	200	0,91	517	5,3	93,0	0,89	411	304	1,8	2,5	9,5	3,6	0,025	0,130	0,027	0,16
4АНК355M6Y3	250	0,91	516	5,2	93,0	0,89	401	380	1,8	2,5	8,8	3,6	0,022	0,120	0,023	0,15

Продолжение таблицы 2 (2.8)

Типоразмер электродвигателя	P <sub>2ном</sub> , кВт	Электромагнитные нагрузки			Электрические показатели		I <sub>2 ном</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	Механическая характеристика			Параметры схемы замещения, от. ед				
		B <sub>в</sub> , Тл	A, А/см	J, А/мм <sup>2</sup>	КПД, %	cos φ			m <sub>к</sub>	S <sub>ном</sub> , %	S <sub>к</sub> , %	X <sub>μ</sub>	R' <sub>1</sub>	X' <sub>1</sub>	R'' <sub>2</sub>	X'' <sub>2</sub>

*Синхронная частота вращения 750 об/мин*

4АНК180S8Y3	11,0	0,81	326	4,0	85,0	0,72	22,5	315	3,2	5,7	35,4	1,9	0,049	0,098	0,074	0,11
4АНК180M8Y3	14,0	0,80	295	5,0	86,5	0,69	28	310	3,5	4,9	31,4	2,0	0,047	0,099	0,055	0,092
4АНК200M8Y3	18,5	0,78	324	5,3	86,0	0,78	30	380	2,5	4,5	31,5	2,2	0,046	0,097	0,054	0,14
4АНК200L8Y34	22,0	0,76	320	5,1	87,0	0,79	40	330	2,5	4,5	28,0	2,2	0,042	0,095	0,066	0,14
4АНК225M8Y3	30,0	0,77	369	5,7	86,5	0,80	165	120	1,8	4,1	18,4	2,5	0,043	0,098	0,046	0,15
4АНК250SA8Y3	37,0	0,80	396	5,6	87,5	0,80	190	115	2,2	5,5	21,0	2,8	0,044	0,10	0,047	0,13
4АНК250SB8Y3	45,0	0,83	385	5,5	89,0	0,82	190	140	2,2	4,0	20,0	2,6	0,036	0,090	0,040	0,13
4АНК250M8Y3	55,0	0,86	355	5,1	89,5	0,83	185	190	2,2	3,5	18,0	2,2	0,029	0,076	0,031	0,11
4АНК280S8Y3	75,0	0,82	401	4,5	90,5	0,84	257	190	1,9	4,0	14,0	2,6	0,031	0,14	0,040	0,15
4АНК280M8Y3	90	0,82	427	4,6	90,5	0,84	267	214	1,9	4,0	13,5	2,7	0,031	0,14	0,040	0,16
4АНК315S8Y3	110	0,79	452	4,8	91,5	0,84	311	225	1,9	3,5	11,3	3,0	0,030	0,14	0,032	0,16
4АНК315M8Y3	132	0,79	468	5,3	92,0	0,84	364	247	1,9	3,5	10,2	3,0	0,031	0,14	0,031	0,16
АНК355S8Y3	160	0,86	454	4,6	92,5	0,86	353	285	1,7	2,7	9,6	2,9	0,024	0,19	0,026	0,15
4АНК355M8Y3	200	0,81	464	4,5	92,5	0,86	359	350	1,7	2,7	9,0	3,3	0,022	0,13	0,025	0,15

*Синхронная частота вращения 600 об/мин*

4АНК280S10Y3	45,0	0,71	422	4,5	89,0	0,78	178	162	1,8	5,0	20,5	2,5	0,035	0,18	0,061	0,17
4АНК280M10Y3	55,0	0,72	422	4,9	89,5	0,79	180	185	1,8	4,5	20,5	2,4	0,036	0,12	0,053	0,16
4АНК315S10Y3	75,0	0,72	482	5,1	90,0	0,80	221	217	1,8	4,5	15,8	3,5	0,036	0,14	0,052	0,19
4АНК315M10Y3	90,0	0,73	475	5,3	90,5	0,81	223	260	1,8	4,2	15,0	3,3	0,034	0,13	0,045	0,17
4АНК355S10Y3	110	0,84	469	4,7	90,5	0,81	242	283	1,7	3,8	14,0	2,8	0,031	0,15	0,044	0,17
4АНК355M10Y3	132	0,84	486	5,0	91,0	0,81	257	330	1,7	3,6	13,1	2,8	0,031	0,14	0,041	0,16

*Синхронная частота вращения 500 об/мин*

4АНК315S12Y3	55,0	0,68	477	5,0	89,0	0,75	235	165	1,8	5,0	16,4	3,3	0,044	0,18	0,073	0,27
4АНК315M12Y3	75,0	0,80	465	5,3	90,0	0,75	221	207	1,8	5,0	16,0	2,5	0,036	0,14	0,059	0,22
4АНК355S12Y3	90,0	0,89	478	4,6	89,5	0,73	259	222	1,7	4,0	14,2	2,2	0,034	0,16	0,057	0,24
4АНК355M12Y3	110	0,93	485	4,8	90,0	0,73	265	265	1,7	4,0	13,5	1,9	0,031	0,16	0,052	0,233