

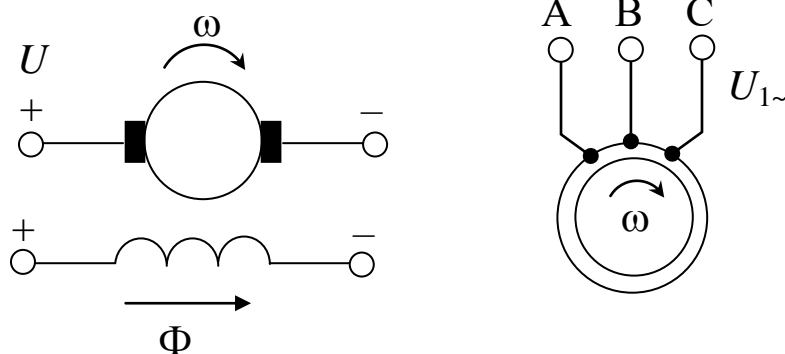
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

В.П. Обрусник

Т.Н. Зайченко

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе студентов



ТОМСК
2023

УДК 621.313
ББК 31.261
О-245

Рецензент:

Легостаев Н.С., профессор кафедры промышленной электроники ТУСУР, канд. техн. наук

Обрусник, Валентин Петрович

О-245 Электрические машины: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе студентов/ В.П. Обрусник, Т.Н. Зайченко. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2023. — 44 с.

Изложены вопросы выполнения расчетных работ в рамках практических занятий и самостоятельной работы студентов. Приведены примеры выполнения контрольных работ и содержание домашних индивидуальных заданий для самостоятельного выполнения, основные формулы, описывающие главные статические и динамические режимы работы электрических машин, а также контрольные и тестовые вопросы для проверки усвоения материала.

Рекомендуется для студентов очной и очно-заочной формы обучения при изучении дисциплин «Электрические машины», «Электрические машины и электропривод» и т.п.

Одобрено на заседании каф. ПрЭ протокол № 24 от 8.11.2023

УДК 621.313
ББК 31.261

© Обрусник В.П., Зайченко Т.Н.,
2023

© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1 Контрольная работа 1 (КР1). Расчет параметров и построение механических характеристик двигателя постоянного тока	4
2 Контрольная работа 2 (КР2). Расчет параметров асинхронного двигателя	10
3 Индивидуальное задание 1 (ИЗ1). Расчет характеристик электропривода постоянного тока.....	18
4 Индивидуальное задание 2 (ИЗ2). Расчет характеристик асинхронного электропривода	21
5 Основные формулы и выражения для расчетов параметров и характеристик электрических машин	23
5.1 Для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ).....	23
5.2 Для трехфазных асинхронных двигателей (АД)	24
6 Вопросы для проверки знаний по электрическим машинам и электроприводу.....	28
6.1 Для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ).....	28
6.2 Для трехфазных асинхронных двигателей (АД)	29
6.3 Для мехзвена двигателей и их характеристик в замкнутых системах регулирования (САР)	29
7 Примеры тестовых вопросов по электрическим машинам и электроприводу	31
8 Учебно-методические материалы по электрическим машинам и электроприводу	44

1 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1 (КР1). РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Содержание задания

Двигатель постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения (НВ) имеет **номинальные** данные:

питающее напряжение U_H 100 В,
ток нагрузки I_H 10 А,
скорость вращения ω_H 90 р/с,
сопротивление якоря $R_{я}$ 1 [Ом],
коэффициент полезного действия η_H 0,84.

Необходимо:

1. Построить естественную механическую характеристику (МХ).
2. Построить искусственную МХ для случаев:
 - а) напряжение на якоре составляет 40 % от номинального;
 - б) поток возбуждения уменьшен на 40 %;
 - в) имеется последовательно включенное сопротивление в 6 раз превышающее сопротивление якоря;
 - г) якорь шунтируется сопротивлением 4,8 [Ом] и в сеть включается через последовательное сопротивление 6 [Ом].
3. Определить значение скорости при номинальной нагрузке для всех характеристик пункта 2.
4. Определить КПД при номинальной нагрузке для характеристики пункта 2, г контрольной работы.
- 5 Привести схему включения ДПТ для пункта 4.

Примечание. КПД в пункте 4 рассчитывается для пунктов 2, а, 2, б, 2, в либо 2, г согласно варианту. Для этого же пункта необходимо привести схему включения ДПТ.

Рейтинг контрольной – 10 баллов:

Пункты 1, 2, а, б, в, г, по 1,5 балла = 7,5 балла.

Пункт 4 – 2 балла.

Пункт 5 – 0,5 балла.

Выполнение пунктов контрольной работы

Все расчеты и построения ведутся в относительных единицах:

$$\omega_* = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad I_* = \frac{I}{I_H}, \quad M_* = \frac{M}{M_H}, \quad U_* = \frac{U}{U_H}, \quad \Phi_* = \frac{\Phi}{\Phi_H},$$

$$R_* = \frac{R}{R_H}, \quad R_H = \frac{U_H}{I_H}.$$

Общее уравнение МХ ДПТ НВ в относительных единицах имеет вид:

$$\omega_* = \left(\omega_{0i*} = \frac{U_* \cdot K_{ш}}{\Phi_*} \right) - \left(\Delta\omega_{*i} = M_* \frac{R_{я*} + R_{п*} \cdot K_{ш}}{\Phi_*^2} \right),$$

где $K_{ш} = \frac{R_{ш}}{R_{п} + R_{ш}}$.

Для естественной и искусственных МХ формулы имеют частный вид (см. далее по тексту).

Все характеристики линейные (прямые линии), поэтому строятся по **двум** точкам с координатами ω_{0i*} , $M_* = 0$ и $\Delta\omega_{*Hi} = \omega_{0i*} - \Delta\omega_{Hi*}$ при $M_* = M_{H*} = 1$.

Пункт 1: построение естественной МХ.

Для этой характеристики $R_{п*} = 0$, $U_* = 1$, $\Phi_* = 1$, $K_{ш} = 1$ и получается

$$\omega_{*e} = (\omega_{0e*} = 1) - M_* \cdot R_{я*},$$

где $R_{я*} = \frac{R_{я} \cdot I_H}{U_H} = \frac{1 \cdot 10}{100} = 0,1 = \Delta\omega_{He*}$.

$$\omega_{He*} = 1 - 0,1 = 0,9. \quad (1)$$

Естественная МХ построена на рис. 1 под номером 1.

Пункт 2, а: искусственная МХ при напряжении якоря 40 % от U_H . Здесь $U_* = 0,4$, $\Phi_* = 1$, $K_{ш} = 1$, $R_{п*} = 0$, уравнение МХ:

$$\omega_{*u} = (U_* = 0,4) - M_* \cdot R_{я*}.$$

Характеристика показана на рис. 1 под номером 2, а, она проходит из точки $\omega_{0и*} = 0,4$ **параллельно** естественной МХ, так как $\Delta\omega_{Hi*} = R_{я*} = 0,1$. Получаем

$$\omega_{He*} = 0,4 - 0,1 = 0,3. \quad (2)$$

Пункт 2, б: искусственная МХ при потоке возбуждения на 40 % меньше номинального.

Для этой характеристики имеем:

$$\Phi_* = 0,6, U_* = 1, K_{ш} = 1, R_{п*} = 0$$

$$\omega_{\phi*} = \left(\omega_{0\phi*} = \frac{1}{\Phi_* = 0,6} \right) - \left(M_* \cdot \frac{R_{я*}}{\Phi_*^2 = 0,36} = \Delta\omega_{\phi*} \right).$$

Получаем: $\omega_{0\phi*} = 1,67$ $\Delta\omega_{\phi*} = 0,28$.

$$\omega_{н\phi*} = 1,67 - 0,28 \approx 1,4. \quad (3)$$

Характеристика построена на рис. 1 и обозначена 2, б.

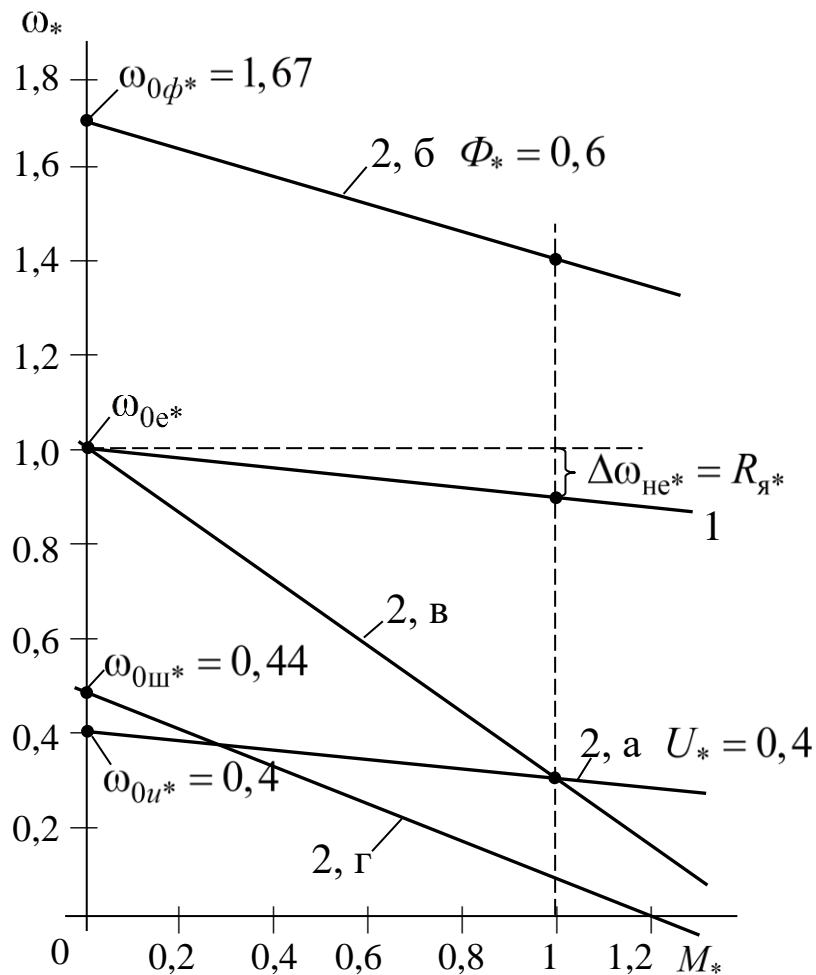


Рис. 1 — Графики механических характеристик ДПТ НВ

Пункт 2, в: искусственная МХ при $R_{\Pi} = 6R_{я}$.

Для этой характеристики имеем:

$\Phi_* = 1, U_* = 1, K_{\text{ш}} = 1, R_{\Pi^*} = 6R_{я^*}$, уравнение МХ

$$\begin{aligned}\omega_{\Pi^*} &= 1 - M_* \cdot 7R_{я^*}, \\ \omega_{\text{шн}^*} &= 1 - 7 \cdot 0,1 = 0,3.\end{aligned}\quad (4)$$

Показана на рис. 1 под номером 2, в. Она проходит на оси ω_* через точку $\omega_{0\Pi^*} = 1$ со значительно большим наклоном (в 6 раз), чем естественная МХ.

Пункт 2, г: искусственная МХ при $R_{\text{ш}} = 4,8$ [Ом], $R_{\Pi} = 6$ [Ом].

Для этой характеристики:

$$\Phi_* = 1, U_* = 1, K_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\Pi} + R_{\text{ш}}} = \frac{4,8}{6 + 4,8} = 0,44.$$

$$R_{\Pi^*} = \frac{R_{\Pi} \cdot I_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} = \frac{6 \cdot 10}{100} = 0,6.$$

Получаем уравнение

$$\begin{aligned}\omega_{\text{ш}^*} &= (K_{\text{ш}} = \omega_{0\text{ш}^*}) - (\Delta\omega_{\text{ш}^*} = M_* \cdot (R_{я^*} + R_{\Pi^*} \cdot K_{\text{ш}})), \\ \omega_{0\text{ш}^*} &= 0,44 \quad \Delta\omega_{\text{шн}^*} = 1 \cdot (0,1 + 0,6 \cdot 0,44) \approx 0,364, \\ \omega_{\text{шн}^*} &= 0,44 - 0,364 = 0,076 \approx 0,08.\end{aligned}\quad (5)$$

На рис. 1 характеристика показана под номером 2, г. Она проходит из точки $\omega_{0\text{ш}^*} = 0,44$ с наклоном большим, чем естественная МХ, но меньшим, чем МХ 2, в.

Пункт 3: значения скорости при $M_{\text{н}^*} = 1$ для всех МХ в пункте 2.

$$\omega_{\text{иН}} = \omega_{0\text{е}} \cdot \omega_{\text{иН}^*}.\quad (6)$$

Здесь $\omega_{0\text{е}} = \frac{U_{\text{н}}}{C},$

$$C = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{я}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{100 - 10 \cdot 1}{90} = 1 \text{ [В} \cdot \text{с]}.$$

$$\omega_{0\text{е}} = \frac{100}{1} = 100 \text{ [р/с]}.$$

Значения $\omega_{\text{иН}^*}$ берутся, как полученные по формулам (1)÷(5).

Получаем:

$$\omega_{\text{ни}} = \omega_{0\text{е}} \cdot \omega_{\text{ни}*} = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ p/c.} \quad (7)$$

$$\omega_{\text{нф}} = \omega_{0\text{е}} \cdot \omega_{\text{нф}*} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ p/c.} \quad (8)$$

$$\omega_{\text{нп}} = \omega_{0\text{е}} \cdot \omega_{\text{нп}*} = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ p/c.} \quad (9)$$

$$\omega_{\text{нш}} = \omega_{0\text{е}} \cdot \omega_{\text{нш}*} = 100 \cdot 0,08 = 8 \text{ p/c.} \quad (10)$$

Пункт 4: определить КПД при номинальной нагрузке для МХ по п. 2, г.

Общие **номинальные** потери мощности

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{н}} &= \Delta P_{\text{нпер}} + \Delta P_{\text{нпос}} = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{н}}) = \\ &= 100 \cdot 10 (1 - 0,84) = 160 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Номинальные переменные потери

$$\Delta P_{\text{нпер}} = I_{\text{н}}^2 \cdot R_{\text{я}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ Вт.}$$

Номинальные постоянные потери

$$\Delta P_{\text{нпос}} = \Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{нпер}} = 160 - 100 = 60 \text{ Вт.}$$

Переменные потери для i -й МХ

$$\Delta P_{i\text{пер}} = \Delta P_{\text{нпер}} \left(\frac{M_c}{M_{\text{н}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\Phi_*^2} \cdot \left(1 + \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\text{я}}} \cdot K_{\text{ш}} \right) + \frac{U^2 \cdot K_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}.$$

Это выражение (2.64) из учебного пособия [1].

Для МХ по пункту 2, г имеем:

$$\Phi_* = 1, R_{\text{п}} = 6 \text{ [Ом]}, R_{\text{ш}} = 4,8 \text{ [Ом]}, R_{\text{я}} = 1 \text{ [Ом]},$$

$$U = U_{\text{н}} = 100 \text{ В}, K_{\text{ш}} = 0,44.$$

Получаем:

$$\Delta P_{i\text{пер}} = 100 \cdot 1^2 \cdot 1 \left(1 + \frac{6}{1} \cdot 0,44 \right) + \frac{100^2 \cdot 0,44}{4,8} = 1280 \text{ Вт.} \quad (11)$$

Постоянные потери для i -й МХ:

$$\Delta P_{i\text{пос}} = \Delta P_{\text{нпос}} \left(\frac{\omega_{\text{ни}}}{\omega_{\text{н}}} \right)^2,$$

формула (2.62) из учебного пособия [1].

Для МХ по п. 2, г

$$\omega_{\text{шн}} = 8 \text{ p/c,}$$

см. рассчитанное по пункту 3.

Получаем,

$$\Delta P_{i_{\text{пос}}} = 60 \cdot \left(\frac{8}{90} \right)^2 \approx 0,5 \text{ Вт} \rightarrow 0. \quad (12)$$

Значение КПД определяется по формуле (2.63) учебного пособия [1].

$$\eta_i = \frac{\omega_{ci} \cdot M_c}{\omega_{ci} \cdot M_c + \Delta P_{i_{\text{пер}}} + \Delta P_{i_{\text{пос}}}}$$

при $M_c = M_H$, $\omega_{ci} = \omega_{\text{шн}} = 8 \text{ p/c}$,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{U_H \cdot I_H \cdot \eta_H}{\omega_H} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 0,84}{90} = 9 \text{ [Н·м]}.$$

$$\eta_{iH} = \frac{\omega_{\text{шн}} \cdot M_H}{\omega_{\text{шн}} \cdot M_H + \Delta P_{i_{\text{пер}}} + \Delta P_{i_{\text{пос}}}} =$$

$$= \frac{8 \cdot 9}{8 \cdot 9 + 1280 + 0} = 0,053,$$

то есть всего 5,3 %, что очень мало.

Выполненные в п. 4 расчеты КПД подтверждают теоретическое положение, что регулирование скорости ДПТ НВ реостатное за счет $R_{\text{п}}$ и с дополнительным шунтированием якоря за счет $R_{\text{ш}}$ дает очень большие потери мощности и применение такого регулирования на практике может быть только **кратковременным**.

Схема включения двигателя для п. 2, г представлена на рисунке 2.

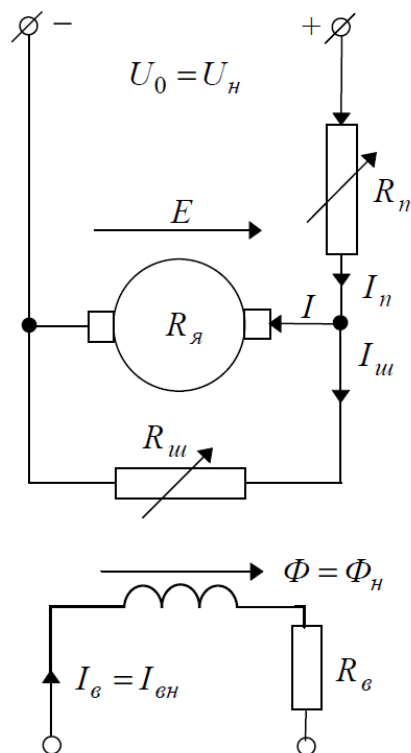


Рис. 2 – Схема включения ДПТ НВ для п. 2, г

2 Контрольная работа 2 (КР2).

Расчет параметров асинхронного двигателя

Содержание задания

Трехфазный асинхронный двигатель (АД) имеет номинальные данные для одной фазы: напряжение **220 В**, частота сети **50 Гц**, мощность **4,0 кВт**, пусковой ток **55 А**, номинальный ток **9 А**, перегрузочная способность по моменту **3**, номинальная скорость **1400 об/мин**, момент холостого хода **0,07** от номинального, момент инерции **0,035 кг·м²**, коэффициент мощности **0,8**.

Необходимо определить:

1. Индуктивное сопротивление X_k , активное сопротивление статора R_1 и ротора R'_2 (приведенное), если их соотношение γ равно **0,8**.
2. Естественный пусковой момент двигателя и установить является ли он достаточным для запуска двигателя при номинальном моменте нагрузки.
3. Как изменится относительно естественных значений максимальный и пусковой моменты, если за счет добавочного *реактивного сопротивления в статоре* пусковой ток ограничивается до $\alpha = 2,5$ от номинального значения ($I_{\text{пш}} = \alpha \cdot I_{\text{н}}$).
4. Остановится или нет двигатель, работающий с моментом нагрузки **1,2** номинального значения, если напряжение сети уменьшится на **25 %**.
5. Каким будет время переходного процесса приема и сброса нагрузки на естественной характеристике.
6. Какой будет длительность свободного торможения (выбегом) при моменте на валу, равном **0,6** номинального значения.
7. Чему равны КПД и входная мощность двигателя при номинальной нагрузке.
8. Привести схему включения для пункта 3.
9. Построить приближенно, по рассчитанным в пунктах 2–4 параметрам ЕМХ и ИМХ двигателя.

Рейтинг контрольной – 10 баллов

Пункты 1, 2, 4–9 – по 1 баллу – 8 баллов.

Пункт 3 – 2 балла.

Записываем исходные данные АД

Напряжение статора $U_{1\text{фн}}$, В.....	220
Частота напряжения статора $f_{1\text{н}}$, Гц.....	50
Мощность $P_{\text{н}}$, кВт.....	4,0
Номинальный ток фазы статора $I_{1\text{фн}}$, А.....	9
Пусковой ток $I_{1\text{пе}}$, А	55
Перегрузочная способность по моменту, $\lambda_{\text{м}}$	3
Скорость вращения $n_{\text{н}}$, об/мин.....	1400
Коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}}$	0,8
Момент инерции ротора J , кг·м ²	0,035
Отношение сопротивлений $\gamma_e = R_1/R_2'$	0,8

Выполнение пунктов контрольной работы

Пункт 1: определение значений R_2' , R_1 , $X_{\text{к}}$ при заданном значении $\gamma_e = 0,8$.

Значение активного сопротивления ротора R_2'

$$R_2' = \frac{S_{\text{ке}} \cdot U_{1\text{фн}} / I_{1\text{пе}}}{\sqrt{S_{\text{ке}}^2 (1 + 2\gamma_e) + 1}}, \quad (4.27)$$

где
$$S_{\text{ке}} = 1.2 \cdot S_{\text{н}} \left(\lambda_{\text{м}} + \sqrt{\lambda_{\text{м}}^2 - 1} \right), \quad (4.22)$$

$$S_{\text{н}} = \frac{n_{0e} - n_{\text{н}}}{n_{0e}}. \quad (4.25)$$

Здесь и далее номера формул взяты из разделов 4.5 и 4.6 учебного пособия [1], они приведены также в разделе 7 настоящего методического пособия.

Значение синхронной скорости n_{0e} в исходных данных не указано. *Очень важно правильно задать значение n_{0e} , иначе допустив ошибку в расчетах по первой формуле КР2 все по-*

следующие расчеты будут неверными. Для АД из рассматриваемого варианта КР2 $n_{0e} = 1500$ об/мин.

Используя исходные данные настоящей КР2 получаем результаты

$$S_H = \frac{1500 - 1400}{1500} \approx 0,07.$$

$$S_{ке} = 1,2 \cdot 0,07 \left(3 + \sqrt{3^2 - 1} \right) \approx 0,47.$$

$$R'_2 = \frac{0,47 \cdot 220/55}{\sqrt{0,47^2 (1 + 2 \cdot 0,8) + 1}} \approx 1,49 \text{ [Ом]}.$$

$$R_1 = R'_2 \cdot \gamma_e = 1,49 \cdot 0,8 \approx 1,19 \text{ [Ом]}.$$

$$X_K = \sqrt{\left(\frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi e}} \right)^2 - [R'_2 (1 + \gamma_e)]^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{220}{55} \right)^2 - [1,49 \cdot (1 + 0,8)]^2} \approx 2,97 \text{ [Ом]}.$$

Пункт 2: определить $M_{пе*}$ и установить, достаточен ли он для запуска АД при номинальной нагрузке двигателя ($M_{H*} = 1$).

Для запуска двигателя при номинальной нагрузке должно выполняться условие:

$$M_{пе*} \geq 1,1 \cdot (M_{H*} = 1).$$

Значение $M_{пе*}$ определяется по формуле (4.19) при $S = 1$:

$$M_{пе*} = \frac{2 \cdot \lambda_m (1 + \gamma_e \cdot S_{ке})}{\frac{S_{ке}}{1} + \frac{1}{S_{ке}} + 2 \cdot \gamma_e \cdot S_{ке}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3 (1 + 0,8 \cdot 0,47)}{\frac{0,47}{1} + \frac{1}{0,47} + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,47} \approx 2,45.$$

Поскольку выполняется условие

$$(M_{пе*} = 2,45) \geq (1,1 \cdot M_{H*} = 1),$$

то двигатель *запускается*.

Пункт 3: Как изменятся относительно соответствующих естественных значений максимальный $M_{ки*}$ и пусковой $M_{пи*}$ моменты, если за счет добавочного реактивного сопротивления в статоре $X_{1д}$ пусковой ток ограничивается до $\alpha = 2,5$ от номинального значения ($I_{1пи} = \alpha \cdot I_{1н}$)?

В данном пункте задания необходимо найти:

$$\frac{M_{ке}}{M_{ки}} \text{ и } \frac{M_{пе}}{M_{пи}} \text{ либо } \frac{M_{ке*}}{M_{ки*}} \text{ и } \frac{M_{пе*}}{M_{пи*}}.$$

Расчеты будем выполнять, как и ранее, в относительных единицах.

При этом $M_{ке*} = \frac{M_{ке}}{M_{н}} = \lambda_m$, а $M_{пе*} = \frac{M_{пе}}{M_{н}} = 1,1$ из пункта 2.

Для расчета максимального $M_{ки*}$ и пускового моментов $M_{пи*}$ нужно определить добавочное сопротивление $X_{1д}$.

Определяем $X_{1д}$:

$$X_{1д} = \sqrt{\left(\frac{U_{1н}}{\alpha \cdot I_{1н}}\right)^2 - R_{\kappa}^2 - X_{\kappa}}, \quad (4.39)$$

где $R_{\kappa} = R_1 + R'_2 = 1,19 + 1,49 \approx 2,7$ [Ом].

Получаем,

$$X_{1д} = \sqrt{\left(\frac{220}{2,5 \cdot 9}\right)^2 - 2,7^2 - 2,97} = 6,43 \text{ [Ом]}.$$

Величина $M_{ки*}$ при $X_{1д}$:

$$\begin{aligned} M_{ки*} &= (M_{ки*} = \lambda_m) \cdot \frac{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2 + R_1}}{\sqrt{(X_{\kappa} + X_{1д})^2 + R_1^2 + R_1}} = \\ &= (\lambda_m = 3) \cdot \frac{\sqrt{1,19^2 + 2,97^2 + 1,19}}{\sqrt{(2,97 + 6,43)^2 + 1,19^2 + 1,19}} \approx 1,23. \end{aligned}$$

Значение критического момента АД при $X_{1д} = 6,43$ [Ом] уменьшается относительно его значения для естественной МХ в

$$\frac{M_{ке*} = \lambda_m = 3}{M_{ки*} = 1,23} \approx 2,4 \text{ раза.}$$

Пусковой момента АД при $X_{1д}$:

$$M_{пи*} = M_{и*} (S = 1) = \frac{2M_{ки*} (1 + S_{ки} \cdot \gamma_{и})}{\frac{1}{S_{ки}} + \frac{S_{ки}}{1} + 2 \cdot S_{ки} \cdot \gamma_{и}},$$

где

$$S_{ки} = \frac{R'_2}{\sqrt{(X_{к} + X_{1д})^2 + R_1^2}}; \quad (7.2.2)$$

$$\gamma_{и} = \frac{R_1 + R_{1д}}{R'_2 + R'_{2д}}.$$

При добавочном реактивном сопротивлении $X_{1д}$

$$\gamma_{и} = \gamma_e = 0,8.$$

$$S_{ки} = \frac{R'_2}{\sqrt{(X_{к} + X_{1д})^2 + R_1^2}} = \frac{1,49}{\sqrt{(2,97 + 6,43)^2 + 1,19^2}} \approx 0,16;$$

$$M_{пи*} = \frac{2M_{ки*} (1 + S_{ки} \cdot \gamma_{и})}{\frac{1}{S_{ки}} + \frac{S_{ки}}{1} + 2 \cdot S_{ки} \cdot \gamma_{и}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1,23 (1 + 0,16 \cdot 0,8)}{\frac{1}{0,16} + \frac{0,16}{1} + 2 \cdot 0,16 \cdot 0,8} \approx 0,41;$$

Значение пускового момента АД при $X_{1д} = 6,43$ [Ом] уменьшается относительно его значения для естественной МХ в

$$\frac{M_{пе*} = 1,1}{M_{пи*} = 0,41} \approx 6 \text{ раз.}$$

Пункт 4: Остановится или нет АД, работающий с моментом нагрузки 1,2 номинального значения ($M_{с*} = 1,2$), если напряжение сети уменьшится на 25 %?

Чтобы двигатель не остановился, должно выполняться условие

$$M_{ки*} \geq 1,1 \cdot M_{c*}.$$

При изменении напряжения

$$M_{ки*} = (M_{ке*} = \lambda_m) \cdot \left(\frac{U_{1\phi}}{U_{1\phi H}} \right)^2.$$

Для данных контрольной работы получаем

$$M_{ки*} = 3 \cdot 0,75^2 \approx 1,7.$$

$$(M_{ки*} = 1,7) \geq [1,1(M_{c*} = 1,2) = 1,32].$$

Двигатель не остановится.

Пункт 5: Каким будет время приема и сброса нагрузки на естественной МХ?

$$t_{пр} = t_{сб} = J \cdot \frac{\Delta\omega_H}{M_H} = J \cdot \frac{\omega_0 \cdot S_H}{M_H}. \quad (2.61)$$

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = \frac{1500}{9,55} = 157 \text{ р/с}, \quad S_H = 0,07 \text{ (определяется в п.1),}$$

$$J = 0,035 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \text{ (задано),}$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 9,55}{1400} = 27,3 \text{ [Н}\cdot\text{м]}.$$

$$\omega_H = \frac{n_H}{9,55}$$

Получаем:

$$t_{пр} = t_{сб} = 0,035 \cdot \frac{157 \cdot 0,07}{27,3} = 0,014 \text{ с.}$$

Пункт 6: Длительность торможения выбегом при $M_c = 0,6M_H$ равна

$$t_{выб} = J \frac{\omega_c}{M_c = 0,6M_H}. \quad (2.64)$$

Так как

$$S_c = \frac{\omega_0 - \omega_c}{\omega_0},$$

то

$$\omega_c = \omega_0(1 - S_c).$$

При $S \leq S_k$ механические характеристики АД являются практически линейными, поэтому

$$\frac{M_c}{M_H} = \frac{S_c}{S_H}.$$

Отсюда

$$S_c = S_H \frac{M_c}{M_H}.$$

Таким образом,

$$S_c = S_H \frac{M_c}{M_H} = 0,07 \cdot 0,6 = 0,042$$

$$\omega_c = \omega_0(1 - S_c) = 1500(1 - 0,042) = 1500 \cdot 0,958 = 1437 \text{ p/c}$$

$$t_{\text{выб}} = 0,035 \cdot \frac{1437}{0,6 \cdot 27,3} = 3,07 \text{ с.}$$

Пункт 7: Входная мощность трехфазного АД

$$P_1 = I_{\text{1нф}} \cdot U_{\text{1нф}} \cdot (m = 3) = 9 \cdot 220 \cdot 3 = 5940 \text{ Вт.}$$

$$P_H = P_1 \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H.$$

Отсюда номинальное значение КПД:

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_1 \cdot \cos \varphi_H}.$$

$$\eta_H = \frac{4000}{5940 \cdot 0,8} = 0,84.$$

Схема включения АД представлена на рис. 3, МХ приведены на рис. 4.

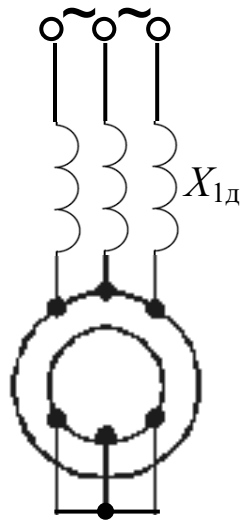


Рис. 3 – Схема включения АД с $X_{1д}$

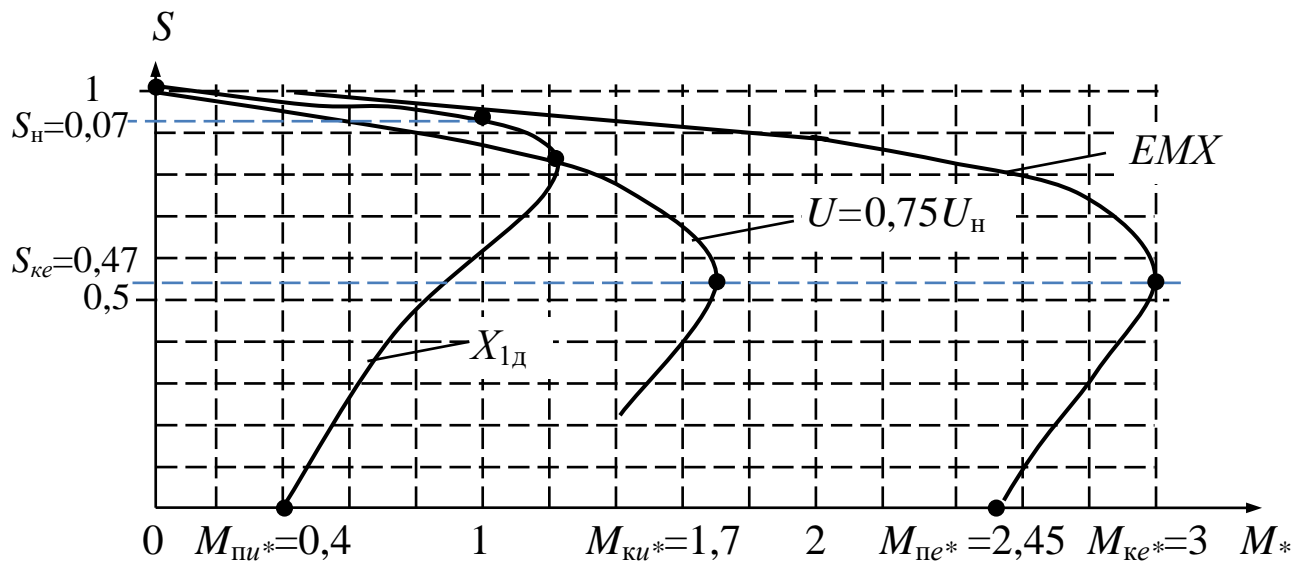


Рис. 4 – Естественная и искусственные механические характеристики асинхронного двигателя

3 ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1 (ИЗ1). РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В ИЗ1 рассчитываются параметры и характеристики ДПТ НВ согласно теоретическим положениям главы 2 учебного пособия по ЭМ [1]. Содержание вариантов ИЗ1 приведено в Приложении 2. Каждый исполнитель получает свой вариант, исходные данные для которого выбираются из табл. П2 в Приложении П2. Ниже приведен пример содержания ИЗ1 по варианту 34.

Исходные данные

Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением имеет номинальные данные:

напряжение якоря U_H [В].....	120
ток якоря I_H [А].....	115
отдаваемая мощность P_H [кВт].....	11,3
коэффициент полезного действия η_H	0,82
скорость вращения n_H [об/мин].....	685
перегрузочная способность по току λ_I	2,4
сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}}$ [Ом].....	0,1
момент инерции на валу J [кг·м ²].....	2,6

Рассчитать

1. Параметры для естественной МХ.
2. Сопротивление для автоматического пуска двигателя с токоограничением при числе ступеней m , равном определить .
3. Сопротивление динамического торможения в одну ступень.
4. Сопротивление для реверса (противовключение), в том числе его добавку к ступеням пускового реостата.
5. Напряжение якоря, допустимое для прямого пуска.
6. Начальный тормозной момент двигателя, при уменьшении скачком напряжения якоря на 30 %. Определить предельно допустимое значение этого понижения.

7. Параметры М.Х. двигателя с неноминальным магнитным потоком для увеличения номинальной скорости на 40 %. Определить при этом допустимое значение электромагнитного момента при номинальном токе якоря.

8. Параметры М.Х. двигателя, обеспечивающие *уменьшение* его номинальной скорости в 4 раза при номинальном токе якоря.

9. Отклонения скорости на механических характеристиках с параметрами по пункту 8 при изменениях момента нагрузки на ± 20 % от номинального значения.

10. Потери мощности и КПД двигателя при работе с номинальным моментом нагрузки на М.Х. с параметрами по пунктам 7 и 8 для одной искусственной характеристики по заданию преподавателя.

Построить

1. Механические характеристики: естественную, реостатного пуска, динамического торможения и противовключения (на одном рисунке).

2. Искусственные МХ с параметрами двигателя для условий пунктов 7 и 8 (на одном рисунке).

3. Временные диаграммы изменения момента и скорости двигателя для циклов работы:

а) пуск без нагрузки (вхолостую), прием нагрузки, работа при номинальной нагрузке, сброс нагрузки, торможение противовключением до остановки;

б) пуск, работа, динамическое торможение в одну ступень до остановки – все при номинальной нагрузке.

Для диаграмм определить длительности переходных процессов на каждой ступени пуска, и пуска в целом, приема и сброса нагрузки, тормозных режимов. Отдельно установить время торможения «выбегом» без нагрузки.

Примечание: исполнители получают от преподавателя только один вариант а или б.

Полный объем примера выполнения ИЗ1 приведен в учебном пособии по ЭМ [1].

Рейтинг ИЗ1

1. Расчет в пунктах 1÷7 и 10 по 1 баллу	— 8 б.
2. Расчеты в пунктах 8 и 9 по 1 баллу	— 2 б.
3. Построение МХ согласно пунктам 1 и 12 по 2 балла	— 4 б.
4. Расчеты и построение временных диаграмм	— 4 б.
5. Оформление пояснительной записки	— 2 б.
6. Защита выполненного ИЗ1	— 5 б.

Всего — 25 б.

4 ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2 (ИЗ2). РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В ИЗ2 рассматриваются расчеты параметров и характеристик трехфазного асинхронного двигателя (АД) согласно теоретическим положениям главы 4 учебного пособия по ЭМ [1]. Содержание ИЗ2 (его задание) приведено в Приложении 3 учебного пособия. Каждый исполнитель получает свой вариант из табл. ПЗ в Приложении ПЗ. Ниже приведен пример содержания ИЗ2 по варианту 12.

Номинальные данные АД

Напряжение статора $U_{1л}/U_{1ф}$, В.....	380/220
Частота напряжения статора $f_{1н}$, Гц.....	50
Мощность P_n , кВт.....	2
Номинальный ток фазы статора $I_{1н}$, А.....	4,8
Кратность пускового тока $I_{1пс}/I_{1н}$	5
Перегрузочная способность по моменту, λ_m	1,9
Скорость вращения n_n , об/мин.....	2780
Коэффициент мощности $\cos\varphi_n$	0,86
Момент инерции ротора J , кг·м ²	0,1

2. Рассчитать

1. Параметры и величины естественной МХ; записать по ним формулу этой МХ.

2. Сопротивления обмоток R_1, R'_2, X_1, X'_2 .

3. Параметры и формулу искусственной МХ при пуске АД с ограничением пускового тока в пределах $I_{1п}/I_{1н} = \underline{1,8}$ за счет $R_{д1}$.

4. Параметры и формулы МХ динамического торможения.

5. Параметры и формулы искусственных МХ при частотах $f_{1макс}/f_{1н} = \underline{1,2}$ и $f_{1мин}/f_{1н} = \underline{0,8}$ для закона регулирования:

а) $U_1/f_1 = \text{const}$;

б) $U_1 = \text{const}$.

6. Время прямого пуска и динамического торможения при моменте нагрузки $M_c/M_n = 0,6$.

7. Время приема и сброса нагрузки на естественной МХ.

8. Время торможения до останова свободным выбегом при заданном в пункте 2.6 моменте нагрузки на валу двигателя.

9. Входную мощность и КПД двигателя на естественной М.Х. при номинальном моменте нагрузки ($M_c = M_n$).

Построить

1. Механические характеристики АД в относительных единицах с параметрами, рассчитанными в пунктах задания 2.1÷2.5 (на одном рисунке).

2. Диаграммы для момента $M_*(t)$ и скорости $\omega_*(t)$ прямого пуска и динамического торможения при $M_c/M_n = 0,6$.

Рейтинг ИЗ2

1. Расчет в пунктах 1÷5 задания по 1 баллу	— 5 б.
2. Расчеты в пунктах 7 – 9 задания по 1 баллу	— 3 б.
2. Расчеты в пункте 6 задания	— 4 б.
3. Построение МХ	— 3 б.
4. Построение временных диаграмм	— 4 б.
5. Оформление пояснительной записки	— 1 б.
6. Защита выполненного ИЗ2	— 5 б.

Всего — 25 б.

5 ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

5.1 Для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ)

1. Уравнение механических характеристик (МХ) для ДПТ НВ, в относительных единицах

$$\omega_* = \frac{U_*}{\Phi_*} \cdot K_{\text{ш}} - M_* \frac{R_{\text{я}} + R_{\text{п}*} \cdot K_{\text{ш}}}{\Phi_*^2}. \quad (2.18)$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{ш}} &= \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{ш}}}, & M_* &= I_* \cdot \Phi_*, & \omega_* &= \frac{\omega}{\omega_0}, \\ U_* &= \frac{U}{U_{\text{н}}}, & \Phi_* &= \frac{\Phi}{\Phi_{\text{н}}}, & I_* &= \frac{I}{I_{\text{н}}}, & M_* &= \frac{M}{M_{\text{н}}}, \\ R_{\text{я}*} &= R_{\text{я}} \cdot \frac{I_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}, & R_{\text{п}*} &= R_{\text{п}} \cdot \frac{I_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}. \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Примечание: здесь и далее номера формул ставятся такими же, как в учебном пособии [1].

2. Выражения для определения потерь мощности и КПД ДПТ НВ.

Полные потери мощности в номинальном режиме

$$\Delta P_{\text{н}} = \Delta P_{\text{н пер}} + \Delta P_{\text{н пос}}. \quad (2.58)$$

$$\Delta P_{\text{н}} = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{н}}). \quad (2.57)$$

$$\Delta P_{\text{н пер}} = I_{\text{н}}^2 \cdot R_{\text{я}}. \quad (2.59)$$

$$\Delta P_{\text{н пос}} = \Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{н пер}}. \quad (2.60)$$

$$\Delta P_{i_{\text{пос}}} = \Delta P_{\text{н пос}} \left(\frac{\omega_{\text{ci}}}{\omega_{\text{н}}} \right)^2. \quad (2.62)$$

$$\Delta P_{i\text{пер}} = \Delta P_{\text{нпер}} \left(\frac{M_c}{M_n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\Phi_*^2} \left(1 + \frac{R_{\text{п}}}{R_{\text{я}}} \cdot K_{\text{ш}} \right) + \frac{U^2 \cdot K_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}. \quad (2.64)$$

$$\eta_i = \frac{\omega_{ci} \cdot M_c}{\omega_{ci} \cdot M_c + \Delta P_{i\text{пер}} + \Delta P_{i\text{пос}}}. \quad (2.63)$$

Расчеты выполняются в последовательности записи формул.

3. Формулы для динамических режимов.

Электромеханическая постоянная времени МХ (механической характеристики), на которой идет переходный процесс

$$T_{mi} = J \cdot \frac{\Delta \omega_i}{\Delta M_i} = J \cdot \frac{R_{\text{цзя}}}{(C \cdot \Phi_*)^2}, \quad (2.61)$$

где $R_{\text{цзя}} = R_{\text{я}} + R_{\text{п}} \cdot K_{\text{ш}}$.

Время приема и сбора нагрузки

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{сб}} \approx 4 \cdot T_{mi}. \quad (2.6.1,а)$$

Время торможения выбегом

$$t_{\text{вб}} = J \cdot \frac{\omega_{\text{нач}} = \omega_c}{M_c}. \quad (2.64)$$

5.2 Для трехфазных асинхронных двигателей (АД)

Базовые выражения

Синхронная скорость

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} \text{ [р/с]}, \quad n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ [об/мин]}, \quad (4.1)$$

$$\omega_0 \approx n_0 / 9,55.$$

Скольжение АД

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad \text{или} \quad S = \frac{n_0 - n}{n_0}. \quad (4.2)$$

Уравнение для *естественной* МХ

$$M_{e^*} = \frac{2\lambda_m (1 + \gamma_e \cdot S_{ке})}{\frac{S_{ке}}{S} + \frac{S}{S_{ке}} + 2\gamma_e \cdot S_{ке}}, \quad (4.19)$$

где

$$S_{ке} = 1,2 \cdot S_H \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right), \quad (4.22)$$

$$\gamma_e = \frac{R_1}{R'_2}.$$

$$S_H = \frac{n_{0e} - n_H}{n_{0e}} = \frac{\omega_{0e} - \omega_H}{\omega_{0e}}. \quad (4.25)$$

Формулы для определения «собственных» сопротивлений силовых цепей АД

Активного в роторе

$$R'_2 = \frac{S_{ке} \cdot U_{1фн} / I_{1пе}}{\sqrt{S_{ке}^2 (1 + 2\gamma_e) + 1}}; \quad (4.27)$$

активного в статоре

$$R_1 = R'_2 \cdot \gamma_e; \quad (4.27,а)$$

суммарного индуктивного

$$X_\kappa = X_1 + X'_2 = \sqrt{\left(\frac{U_{1фн}}{I_{1пе}} \right)^2 - [R'_2 \cdot (1 + \gamma_e)]^2}. \quad (4.28)$$

Здесь γ_e задано, $S_{ке}$ найдено по (4.22).

Формулы для определения добавочных сопротивлений

В цепи ротора и статора АД для ограничения пускового тока до величины

$$I_{1пе} = \alpha \cdot I_{1н},$$

где $\alpha = 2 \div 25$, заданы:

добавочные активные сопротивления

$$R_{1д} = R'_{2д} = \sqrt{\left(\frac{U_{1н}}{\alpha \cdot I_{1н}}\right)^2 - X_{\kappa}^2 - R_{\kappa}}; \quad (4.38)$$

добавочные индуктивные сопротивления

$$X_{1д} = X'_{2д} = \sqrt{\left(\frac{U_{1н}}{\alpha \cdot I_{1н}}\right)^2 - R_{\kappa}^2 - X_{\kappa}}, \quad (4.39)$$

где $R_{\kappa} = R_1 + R'_2$.

Формулы для искусственных МХ АД и их составляющих (в относительных единицах)

Искусственные МХ

$$M_{*и} = \frac{2M_{*ки} (1 + S_{ки} \cdot \gamma_{и})}{\frac{S}{S_{ки}} + \frac{S_{ки}}{S} + 2 \cdot S_{ки} \cdot \gamma_{и}}. \quad (7.2.1)$$

Составляющие искусственных МХ (в относительных единицах)

Критическое сопротивление

$$S_{ки} = \frac{R'_2 + R'_{2д}}{\sqrt{(X_{\kappa} + X_{д})^2 \cdot f_{1*}^2 + (R_1 + R_{1д})^2}}; \quad (7.2.2)$$

критический момент

$$M_{*ки} = \frac{M_{*ке} \left(\frac{U_{1ф}}{U_{1фн}}\right)^2 \cdot \left(\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2} \pm R_1\right)}{f_{1*} \left[\sqrt{(X_{\kappa} + X_{д})^2 \cdot f_{1*}^2 + (R_1 + R_{1д})^2} \pm (R_1 + R_{1д}) \right]}. \quad (7.2.3)$$

Здесь

$$\gamma_u = \frac{R_1 + R_{1д}}{R'_2 + R'_{2д}};$$

$$f_{1*} = \frac{f_1}{f_{1H}},$$

$R_{1д}$, $R'_{2д}$, $X_{1д} = X'_{2д} = X_{д}$ определяются по выражениям (4.38), (4.39).

Следует помнить, что добавочные сопротивления и величина f_{1*} вводятся в выражения (7.2.2) и (7.2.3) ***только соответственно*** условиям задания на расчеты, но ***не одновременно***.

6 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ И ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

6.1 Для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ)

1. Сформулировать центральный закон для ЭМ — закон электромагнитной индукции. Его две составляющие части и взаимосвязь с ними.

2. Рассказать об устройстве и принципе действия электромашины постоянного тока.

3. Рассказать об основных характеристиках генератора постоянного тока с независимым возбуждением (ГПТ НВ): холостого хода и внешних.

4. Нарисовать электрическую принципиальную схему двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ), пояснить ее составляющие (рис. 2.6).

Примечание: приведенные номера рисунков и формул соответствуют таковым в учебном пособии для ЭМ [1].

5. Построить по заданию преподавателя одну из механических характеристик (МХ) ДПТ НВ по выражению (2.18) в относительных единицах.

6. Изобразить графически относительно естественной МХ одну из характеристик тормозных режимов (по заданию преподавателя): динамического торможения, торможения противовключением за счет реверса, торможение противовключением при спуске груза, генераторное торможение с рекуперацией энергии в сеть. Участки тормозных режимов выделить жирной линией (см. рис. 2.18 и 2.19 учебного пособия [1]).

7. Как запустить ДПТ НВ?

8. Как реверсировать ДПТ НВ?

9. Перечислить способы регулирования скорости ДПТ НВ, какой из них является лучшим и почему?

10. Как определить электромеханическую постоянную времени на любой МХ ДПТ НВ?

11. Как определить время торможения выбегом?

6.2 Для трехфазных асинхронных двигателей (АД)

12. Пояснить устройство и принцип действия трехфазных АД (рис. 4.1). Почему *асинхронность* (неодинаковость) вращения ротора и магнитного потока статора является центральной основой принципа действия АД?

13. Что есть скольжение АД?

14. Что характеризуют показатели критического момента M_k и критического скольжения на МХ АД?

15. Как зависит момент АД от напряжения статора?

16. Способы регулирования скорости АД (перечислить), какой является лучшим и почему?

17. Как запустить АД?

18. По заданию преподавателя нарисовать относительно естественной МХ одну из искусственных: при пониженном напряжении статора, при добавочном активном сопротивлении в роторе, при добавочном активном сопротивлении в статоре, при пониженной частоте питающего напряжения.

19. Нарисовать МХ динамического торможения АД, как на неё влияют постоянный ток в цепи статора и активное сопротивление в цепи ротора?

20. На каких МХ АД можно опускать груз подъемного механизма?

21. Какими способами можно перевести АД в генераторный режим с рекуперацией энергии в сеть?

22. Как определить длительность свободного торможения (выбегом) АД?

6.3 Для мехзвена двигателей и их характеристик в замкнутых системах регулирования (САР)

23. Почему нужно приводить параметры и величины рабочего механизма (РМ) к валу двигателя?

24. Какие законы являются базовыми для формул приведения величин РМ к валу двигателя?

25. Влияние передаточного числа мехзвена на приводимые величины.

26. Охарактеризовать типовые механические характеристики РМ.

27. Пояснить состав и назначение элементов и цепей типовой структуры подчиненного регулирования электромеханической системы (ЭМС).

28. В чем сущность настройки ЭМС на технический и симметричный оптимумы (ТО и СО)?

29. Типовые механические характеристики ЭМС и влияние на них регуляторов скорости и момента классов П, ПИ, ПИД.

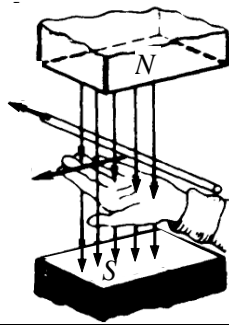
30. Уравнение движения ЭМС, его составляющие величины, использование в инженерной практике.

7 ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ И ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

1 Электрическая машина – это

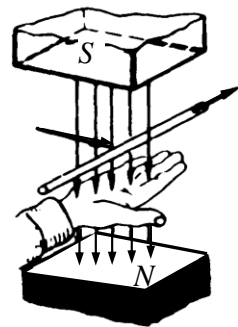
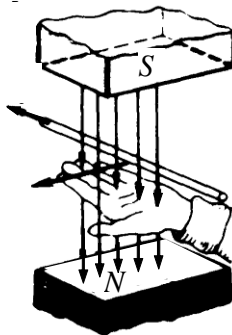
1	совокупность конструктивно объединенных и перемещаемых относительно друг друга элементов
2	электромеханическое устройство, осуществляющее преобразование механической энергии в электрическую
3	электромеханическое устройство, осуществляющее преобразование электрической энергии в механическую
4	электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергии

2. Какое физическое явление поясняет рисунок?



1	Явление возникновения силы, действующей на проводник с током
2	Явление возникновения продольной силы, действующей на движущийся проводник
3	Явление возникновения ЭДС в движущемся проводнике
4	Явление возникновения тока в движущемся проводнике

3. Какая ошибка допущена при пояснении правила правой руки?



1	Неверно расположена ладонь: силовые линии должны входить в тыльную сторону ладони
2	Неверно расположена ладонь: большой палец необходимо совместить с направлением силовых линий магнитного поля
3	Неверно расположена ладонь: с направлением перемещения необходимо совмещать 4 вытянутых пальца
4	Неверно указаны полюса магнитного поля: силовые линии должны выходить из северного полюса N и входить в южный полюс S

4. Пересчет скорости n [об/мин] в скорость ω [рад/с] производится по формуле:

1	$\omega = n / 60$
2	$\omega = n \cdot \pi$
3	$\omega = n \cdot \pi / 60$
4	$\omega = n \cdot 2\pi / 60$
5	$\omega = n \cdot 2\pi \cdot 60$
6	$\omega = n \cdot 9,55$
7	$\omega = n / 9,55$

5. Вращающееся магнитное поле создается системой переменного тока

1	Однофазной
2	Только двухфазной
3	Только трехфазной
4	Многофазной



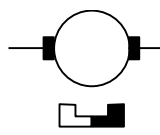
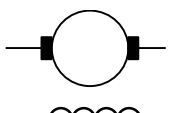
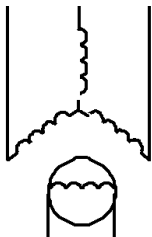

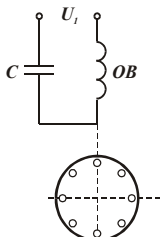
6. По способу включения обмотки возбуждения электрические машины подразделяются на

1	Электрические машины с магнитным и электромагнитным возбуждением
2	Электрические машины с независимым, последовательным, параллельным и смешанным возбуждением
3	Коллекторные и бесколлекторные
4	Машины постоянного и переменного тока

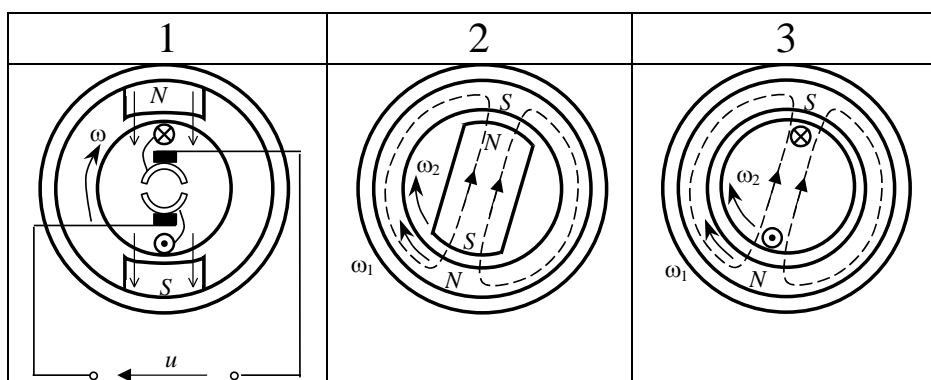
7. По способу создания магнитного потока электрические машины подразделяются на

1	Электрические машины с магнитным и электромагнитным возбуждением
2	Электрические машины с независимым, последовательным, параллельным и смешанным возбуждением
3	Коллекторные и бесколлекторные
4	Машины постоянного и переменного тока

8. На каком рисунке изображено условное графическое обозначение асинхронной электрической машины?

1	2	3	4	5	6	7
						

9. Какой из рисунков иллюстрирует устройство и принцип действия асинхронного двигателя?



10. Чему равна частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя в об/мин?

1	2	3	4
$60f$	$\frac{60f}{p}$	$\frac{2\pi f}{p}$	$2\pi f$

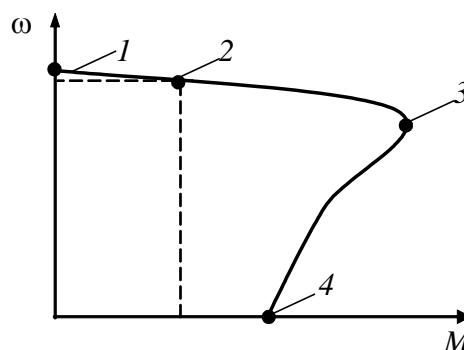
11. Дан трехфазный асинхронный двигатель с номинальными данными:

Питающее напряжение – 220 В; частота питающего напряжения – 50 Гц; номинальная скорость – 2800 об/мин; номинальная мощность – 15 кВт. Чему равна синхронная скорость (скорость вращения магнитного поля статора) данного двигателя?

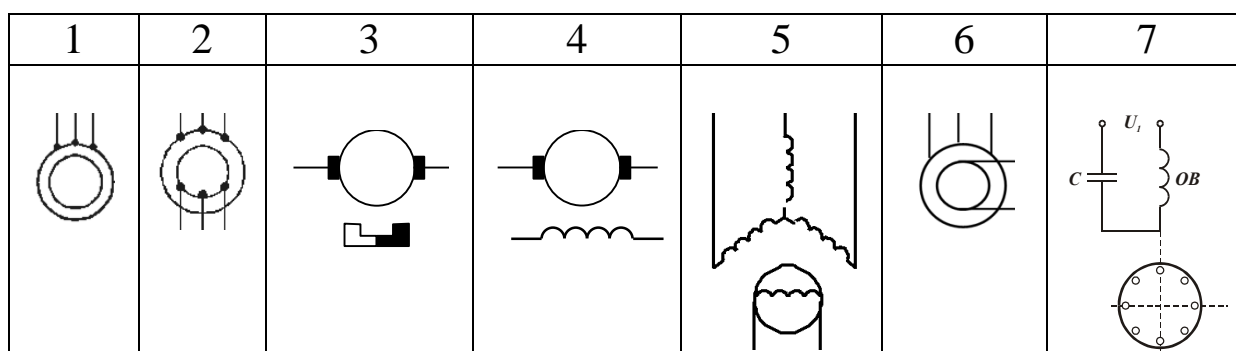
1	2	3	4	5
2000	2500	3000	3500	4000

12. Какая из точек на графике механической характеристики соответствует моменту начала пуска в ход электродвигателя?

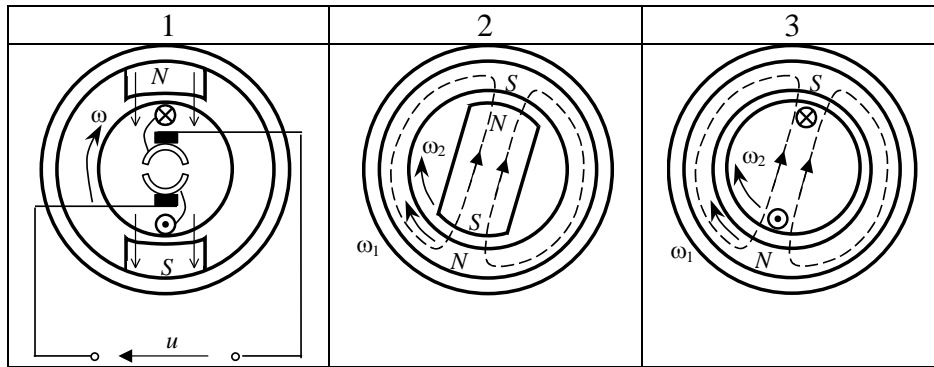
1. точка 1
2. точка 2
3. точка 3
4. точка 4
5. ни одна из указанных



13. На каком рисунке изображено условное графическое обозначение синхронной электрической машины?



14. Какой из рисунков иллюстрирует устройство и принцип действия синхронного двигателя?

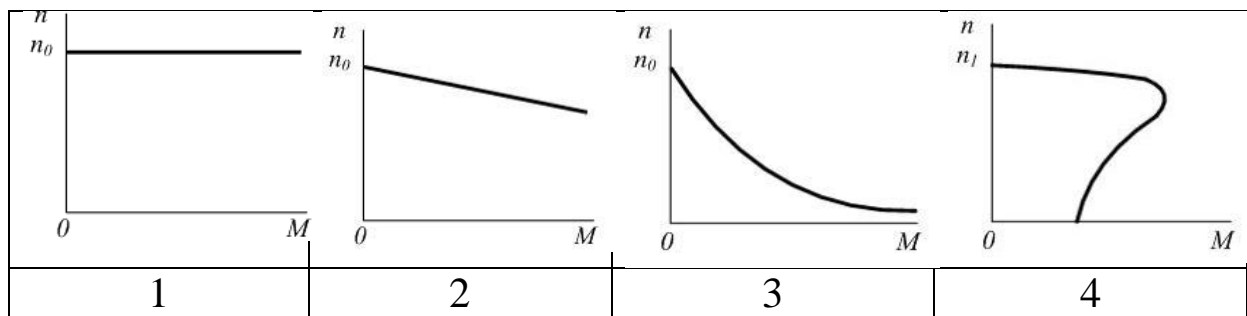


15. Дан трехфазный синхронный двигатель с номинальными данными:

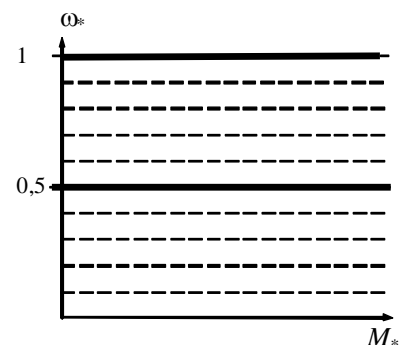
Питающее напряжение – 220 В; частота питающего напряжения – 50 Гц; номинальная скорость – 1500 об/мин; номинальная мощность – 10 кВт. Сколько пар полюсов имеет данный двигатель?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

16. На каком рисунке изображена механическая характеристика синхронного двигателя?



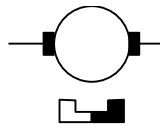
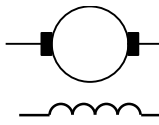
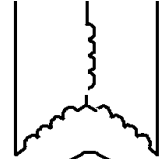

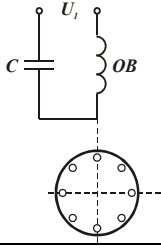


17. Искусственная механическая характеристика синхронного двигателя, изображенная на рисунке, соответствует



1	пониженному напряжению питания
2	повышенному напряжению питания
3	пониженной частоте питающего напряжения
4	повышенной частоте питающего напряжения

18. На каком рисунке изображено условное графическое обозначение электрической машины постоянного тока?

1	2	3	4	5	6	7
						

19. Обязательным элементом выпрямителя является:

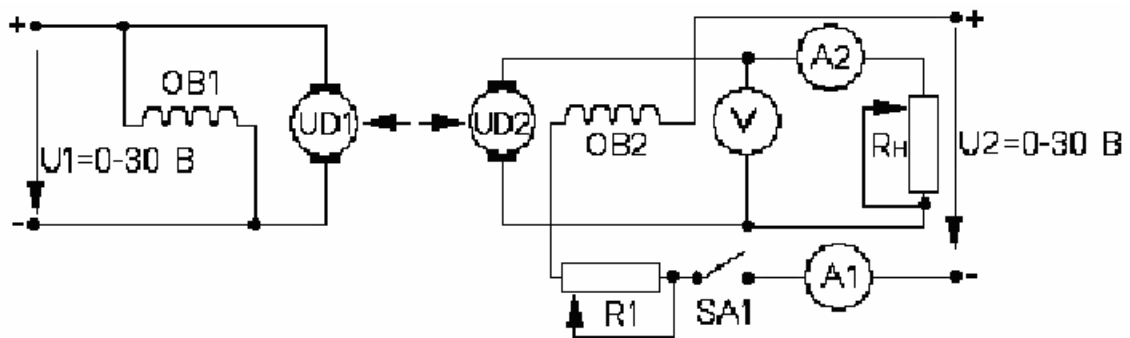
1	трансформатор
2	вентильный блок
3	сглаживающий фильтр

20. Преобразователь постоянного напряжения в переменное называется:

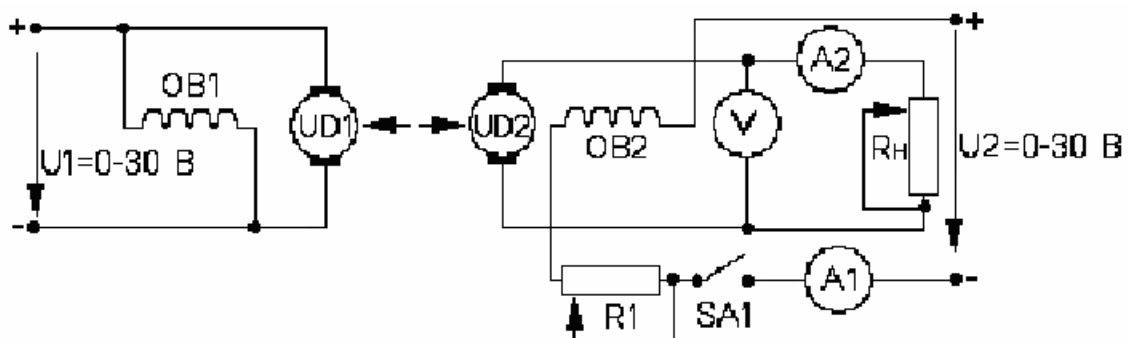
1	трансформатор
2	выпрямитель
3	инвертор
4	генератор
5	двигатель

21. На рисунке приведена схема для исследования электромашиного генератора постоянного тока независимого возбуждения. Какой из приборов служит для измерения тока обмотки возбуждения генератора?

- Амперметр A1
- Амперметр A2
- Вольтметр V
- На схеме нет такого прибора

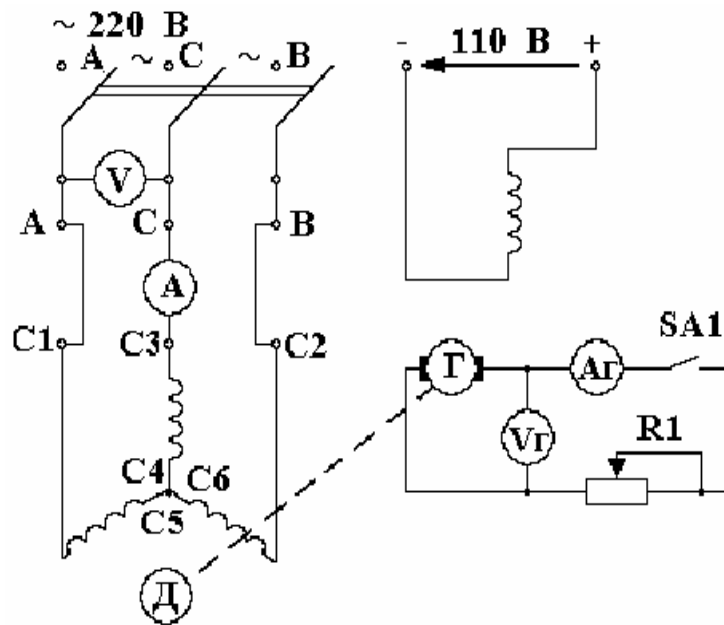


22. На рисунке приведена схема для исследования электромашиного генератора постоянного тока независимого возбуждения. Какой из приборов служит для измерения тока якоря двигателя?



- Амперметр A1
- Амперметр A2
- Вольтметр V
- На схеме нет такого прибора

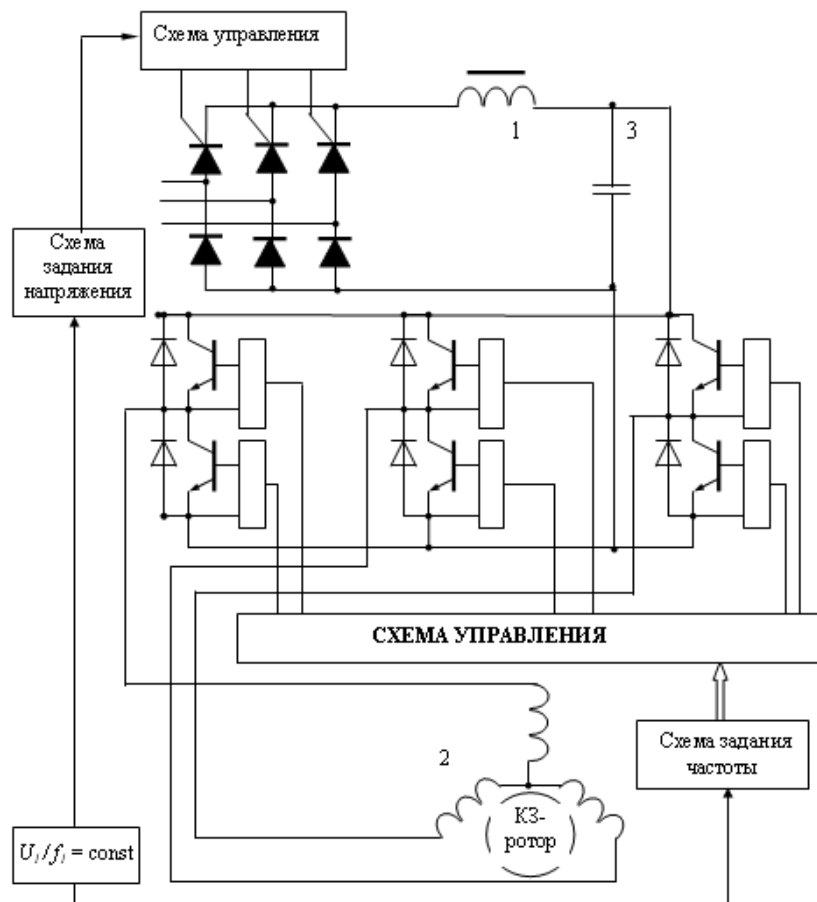
23. На рисунке приведена схема для исследования характеристик асинхронного двигателя. Какой из приборов служит для измерения тока статора двигателя?



- Амперметр А
- Амперметр Аг
- Вольтметр V
- Вольтметр Vг

24. Для чего может служить схема, изображенная на рисунке?

- Для управления асинхронным двигателем с фазным ротором
- Для управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором
- Для управления двигателем постоянного тока
- Для управления синхронным двигателем



25. Вы нашли информацию о двигателях, приведенную ниже. Сколько двигателей из приведенных в таблице имеют 4 полюса?

Назначение и эксплуатационные характеристики электродвигателя А4

Электродвигатели асинхронные А4 с короткозамкнутым ротором предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосов, вентиляторов, дымососов и др.). В двигателях установлены подшипники качения с пластической смазкой. Контроль температуры подшипников осуществляется термопреобразователями сопротивления

По требованию заказчика электродвигатели могут быть изготовлены: на другие мощности, напряжение и частоту сети, а также для работы в условиях тропического климата с учетом требований контракта.

Структура обозначения **А4-450У-12У3**

А - Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;

4 - номер серии;

355, 400, 450 - габарит (высота оси вращения, мм);

Х, У, ХК, УК - условная длина станины;

4, 6, 8, 10, 12 - число полюсов;

У3 - климатическое исполнение.



Таблица 1. Основные технические характеристики двигателей А4

Типоразмер	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения (синхр.), об/мин	КПД, %	cos φ	Масса, кг	
А4-400ХК-4У3	400	6000	1500	94,2		2190	
А4-400Х-4У3	500			94,7	0,87	2330	
А4-400У-4У3	630			95,1		2630	
А4-400ХК-6У3	315		1000	93,6	0,84	2220	
А4-400Х-6У3	400			94,0	0,86	2380	
А4-400У-6У3	500			94,4	0,85	2650	
А4-400Х-8У3	250		750	93,4	0,84	2340	
А4-400У-8У3	315			93,8	0,85	2610	
А4-400У-10У3	250			600	92,5	0,77	2590
А4-450Х-4У3	800		1500	92,0	0,88	2580	
А4-450У-6У3	800			1000	95,0	0,86	3050
А4-450У-8У3	630			750	94,5	0,83	3250

- 1
- 2
- 3
- 4

26. Вы нашли информацию о двигателях, приведенную ниже. Сколько двигателей из приведенных в таблице имеют 4 пары полюсов?

Назначение и эксплуатационные характеристики электродвигателя А4

Электродвигатели асинхронные А4 с короткозамкнутым ротором предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосов, вентиляторов, дымососов и др.). В двигателях установлены подшипники качения с пластической смазкой. Контроль температуры подшипников осуществляется термопреобразователями сопротивления

По требованию заказчика электродвигатели могут быть изготовлены: на другие мощности, напряжение и частоту сети, а также для работы в условиях тропического климата с учетом требований контракта.

Структура обозначения **А4-450У-12У3**

А - Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;

4 - номер серии;

355, 400, 450 - габарит (высота оси вращения, мм);

Х, У, ХК, УК - условная длина станины;

4, 6, 8, 10, 12 - число полюсов;

У3 - климатическое исполнение.



Таблица 1. Основные технические характеристики двигателей А4

Типоразмер	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения (синхр.), об/мин	КПД, %	cos φ	Масса, кг	
А4-400ХК-4У3	400	6000		94,2		2190	
А4-400Х-4У3	500			1500	94,7	0,87	2330
А4-400У-4У3	630				95,1		2630
А4-400ХК-6У3	315				93,6	0,84	2220
А4-400Х-6У3	400			1000	94,0	0,86	2380
А4-400У-6У3	500				94,4	0,85	2650
А4-400Х-8У3	250			750	93,4	0,84	2340
А4-400У-8У3	315				93,8	0,85	2610
А4-400У-10У3	250			600	92,5	0,77	2590
А4-450Х-4У3	800			1500	92,0	0,88	2580
А4-450У-6У3	800			1000	95,0	0,86	3050
А4-450У-8У3	630			750	94,5	0,83	3250

- 1
- 2
- 3
- 4

27. Вы производите поиск информации о двигателе серии 5АИ. Чему равен пусковой ток двигателя без токоограничения?

Характеристики электродвигателя 5АИ 56 В4 IM1001

Электрические характеристики

КПД, %: _____ 56

Коэффициент мощности, Cos φ: _____ 0,67

Рабочее напряжение, В: _____ 220, 380

Номинальный ток, А: _____ 0,73

Частота тока, Гц: _____ 50

Кратность пускового тока к номинальному (I_п/I_н): _____ 4,4

Кратность пускового момента к номинальному (M_п/M_н): _____ 2,1

Кратность максимального момента к номинальному (M_{max}/M_н): _____ 2,2

- 0,73 А
- 2,1 х 0,73 А
- 2,2 х 0,73 А
- 4,4 х 0,73 А

28. Вы нашли информацию о двигателях, приведенную ниже. Сколько двигателей из приведенных в таблице имеют синхронную скорость 1000 об/мин?

☰ Меню

i
📍
📊
🛒

О компании Контакты Сравнение Корзина

Назначение и эксплуатационные характеристики электродвигателя А4

Электродвигатели асинхронные А4 с короткозамкнутым ротором предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосов, вентиляторов, дымососов и др.). В двигателях установлены подшипники качения с пластической смазкой. Контроль температуры подшипников осуществляется термопреобразователями сопротивления

По требованию заказчика электродвигатели могут быть изготовлены: на другие мощности, напряжение и частоту сети, а также для работы в условиях тропического климата с учетом требований контракта.

Структура обозначения **А4-450У-12У3**

А - Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;
4 - номер серии;
355, 400, 450 - габарит (высота оси вращения, мм);
Х, У, ХК, УК - условная длина станины;
4, 6, 8, 10, 12 - число полюсов;
У3 - климатическое исполнение.

Таблица 1. Основные технические характеристики двигателей А4

Типоразмер	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения (синхр.), об/мин	КПД, %	cos φ	Масса, кг	
A4-400ХК-4У3	400	6000	1500	94,2		2190	
A4-400Х-4У3	500			94,7	0,87	2330	
A4-400У-4У3	630			95,1		2630	
A4-400ХК-6У3	315			93,6	0,84	2220	
A4-400Х-6У3	400			94,0	0,86	2380	
A4-400У-6У3	500			94,4	0,85	2650	
A4-400Х-8У3	250		750	93,4	0,84	2340	
A4-400У-8У3	315			93,8	0,85	2610	
A4-400У-10У3	250			600	92,5	0,77	2590
A4-450Х-4У3	800		1500	92,0	0,88	2580	
A4-450У-6У3	800			1000	95,0	0,86	3050
A4-450У-8У3	630			750	94,5	0,83	3250

- 1
- 2
- 3
- 4

29. Какие режимы работы опасны для двигателя при проведении экспериментальных исследований?

- все ответы правильные;
- Ток двигателя превышает допустимое значение;
- Скорость двигателя превышает допустимое значение;
- Момент двигателя превышает допустимое значение;

30. Какие режимы работы опасны для генератора независимого возбуждения при проведении экспериментальных исследований?

- режим короткого замыкания;
- Режим холостого хода;
- Обрыв цепи обмотки возбуждения;
- Обрыв цепи обмотки якоря;

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ И ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

Основная литература

1. Обрусник В.П. Электрические машины: Учебное пособие. — Томск: ТУСУР, 2007 — 207 с.

Дополнительная литература

2. М. М. Кацман. Электрические машины. – М.: Академия, 2012. – 496 с.

3. Электрические машины / А. П. Епифанов, Г. А. Епифанов. – СПб.: Лань, 2017.– 300 с.[Электронный ресурс]: — Режим доступа <https://e.lanbook.com/reader/book/95139/#2> (дата обращения: 1.11.2023).

4. Уваров С.С. Технические средства автоматизации и управления. Электродвигатели: учебное пособие / С.С. Уваров. — Москва : РУТ (МИИТ), 2021. — 143 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.[Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/269633> (дата обращения: 1.11.2023).

5. Кацман М.М. Электрические машины. — М.: Высшая школа, 1990. — 463 с.

6. Ключев В.И. Теория электропривода. — М.: Энергия, 2004. — 580 с.

7. Москаленко В.В. Электрический привод. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 316 с.

8. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т. / Под ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — Т.1. — 456 с.

9. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т. / Под ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — Т.2. — 688 с.

10. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. — М.: Высшая школа, 1988. — 479 с.