

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СТАРООСКОЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.А. УГАРОВА
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
ОСКОЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ

УТВЕРЖДЕНО НМС ОПК

ПРОТОКОЛ № ____

от «__» _____ 20__ г.

Рукавицын Кирилл Олегович

ПМ. 01 МДК.01.04. РАЗДЕЛ 4.1
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

*Методические указания для студентов очной формы обучения по выполнению
внеаудиторной самостоятельной работы*

Специальность

*13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования (по
отраслям)*

Старый Оскол 2017

*Рассмотрены на заседании П(Ц)К спец.
13.02.11 и 15.02.07*

*Протокол № _____
от «_____» _____ 2017 г*

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой по МДК 01.04. Техническое регулирование и контроль качества электрического и электромеханического оборудования

Специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Председатель П(Ц)К

_____ *М. В. Горюнова*

Рецензенты:

Внутренний

М. В. Горюнова преподаватель ОПК СТИ НИТУ МИСиС

Рукавицын К.О.

Автоматика: методические указания по внеаудиторных самостоятельных работ – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2017. – 18 с.

Учебное пособие разработано на основе Федерального государственного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) и с учетом соответствующей примерной основной образовательной программы (Базисного учебного плана).

В учебном пособии также даны необходимый теоретический материал и методические рекомендации для успешного освоения дисциплины.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| Содержание и методические рекомендации по выполнению заданий..... | 5 |
| Тема 1. Механическая часть электропривода | 5 |
| Тема 2. Электропривод постоянного тока | 9 |
| Тема 3. Электропривод с асинхронным двигателем | 12 |
| Список информационного обеспечения | 18 |

Введение

Цели работы:

1. Вовлечение студентов в самостоятельную работу по углублению и совершенствованию знаний по электрическому приводу
2. Развитие умений студентов работать самостоятельно.
3. Развитие навыков самостоятельной расчетов в электрическом приводе.
4. Повышение творческого потенциала студентов при изучении операционных систем.
5. Стимулирование познавательного интереса студентов к учебной дисциплине «Электропривод» и к выбранной профессии.
6. Закрепление знаний, умений и навыков.
7. Выработка способности логического осмысления самостоятельно полученных знаний.

Оценка по дисциплине учитывает баллы за индивидуальные самостоятельные задания, выполненные за семестр.

Критерии оценки за самостоятельную работу:

- Степень выполнения заданий работы;
- Степень соответствия результатов работы заданным требованиям;

Требования к выполнению заданий и сдаче отчёта

1. Задания оформляются в отдельной тетради;
2. На вопросы отвечать полным ответом;
3. Отчёт преподавателю сдаётся в установленный срок;

Содержание и методические рекомендации по выполнению заданий

Тема 1. Механическая часть электропривода

Задача №1.

Рассчитать значения скоростей, статических моментов и моментов инерции, мощностей на валу рабочего органа и на валу двигателя по заданным технологическим параметрам механизма подачи.

Кинематическая схема механизма подачи станка приведена на рис. 1. Вращательное движение от двигателя 1 через редуктор 2 передается ходовому винту 3 и через гайку 4, закрепленную на суппорте, преобразуется в поступательное движение подачи суппорта 5 по направляющим 6. Двигатель подачи обеспечивает передвижение суппорта со скоростью v и преодоление суммарного усилия подачи, необходимое для линейного перемещения суппорта

$$F_{\Pi} = 1,2 \cdot F_X + (F_Z + F_Y + 9,81 \cdot m) \cdot \mu_C,$$

которое зависит от составляющих процесса резания: усилия подачи F_X , радиального усилия $F_Y \cong 0,8 \cdot F_X$, усилия резания $F_Z \cong 2,5 \cdot F_X$, от массы суппорта m и от коэффициента трения суппорта при движении по направляющим μ_C . Коэффициент 1,2 учитывает перекосы при движении суппорта. На обратном ходе суппорта резание не выполняется.

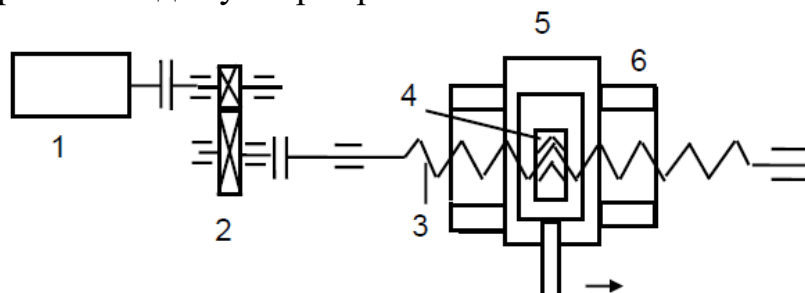


Рис. 1. Кинематическая схема механизма: 1 – двигатель, 2 – редуктор, 3- ходовой винт, 4 – гайка, 5 – суппорт, 6 – направляющие.

Технологические данные механизма подачи станка:

- m – масса перемещаемого груза (см. таблицу 1.1),
- $v=42$ мм/с – скорость перемещения груза,
- F_X - усилие подачи (см. таблицу 1.1),
- $d_{\text{ХВ}}=44$ мм – диаметр ходового винта,
- $m_{\text{ХВ}}=100$ кг масса ходового винта,
- $\mu_c=0,08$ – коэффициент трения скольжения суппорта при движении по направляющим,
- $i_{12}=5$ – передаточное число шестереночной пары,
- $J_1=0,03$ кг·м², $J_2=0,6$ кг·м² – моменты инерции шестерен,
- $J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя (см. таблицу 1.1),
- $\eta_{12}=0,9$ – КПД передачи,
- $\alpha=5,5^\circ$ – угол нарезки резьбы,

$\varphi=4^{\circ}$ угол трения в резьбе.

После изучения принципа работы механизма и его кинематической схемы

определяем участки выделения потерь:

- в редукторе (потери учитываются КПД η_{12});
- в передаче «винт – гайка» (потери рассчитывают через угол трения φ);
- в подшипниках ходового винта (потери рассчитываются через коэффициент трения в подшипниках, однако эти потери малы и практически не учитываются).

Угловая скорость ходового винта (рабочего органа):

$$\omega_{PO} = \frac{v}{\rho}$$

где ρ – радиус приведения передачи «винт – гайка» с шагом $h = \pi \cdot d_{ХВ} \cdot \operatorname{tg}\alpha$, диаметром $d_{ХВ}$ и углом нарезки резьбы α .

$$\rho = \frac{v}{\omega_{PO}} = \frac{h}{2 \cdot \pi} = \frac{\pi \cdot d_{ХВ} \cdot \operatorname{tg}\alpha}{2 \cdot \pi}$$

Момент на валу ходового винта (рабочего органа) с учетом потерь в передаче «винт – гайка» углом трения φ ($d_{CP}=d_{ХВ}$):

$$M_{PO} = F_{П} \cdot \frac{d_{CP}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$$

где $F_{П}$ – суммарное усилие подачи

$$F_{П} = 1,2 \cdot F_{X} + (F_{Z} + F_{Y} + 9,81 \cdot m) \cdot \mu_{C} = 1,2 \cdot F_{X} + (2,5 \cdot F_{X} + 0,8 \cdot F_{X} + 9,81 \cdot m) \cdot \mu_{C}$$

Мощность на валу рабочего органа полезная:

– без учета потерь в передаче «винт – гайка»

$$P_{PO} = F_{П} \cdot v$$

– с учетом потерь

$$P_{PO} = M_{PO} \cdot \omega_{PO}$$

Статический момент, приведенный к валу двигателя

$$M_{B} = \frac{M_{PO}}{i_{12} \cdot \eta_{12}}$$

Угловая скорость вала двигателя

$$\omega_{ДВ} = \omega_{PO} \cdot i_{12}$$

Мощность на валу двигателя

$$P_{ДВ} = M_{B} \cdot \omega_{ДВ}$$

Находим элементы кинематической схемы, запасующие кинетическую энергию: суппорт массой m , ходовой винт массой $m_{ХВ}$, шестерни редуктора J_1 и J_2 , ротор электродвигатель – $J_{ДВ}$.

Момент инерции рабочего органа определяется массой m суппорта, перемещающейся со скоростью v , и моментом инерции ходового винта $J_{ХВ}$.

Момент инерции поступательно движущегося суппорта

$$J_{C} = \frac{m \cdot v^2}{\omega_{PO}^2} = m \cdot \rho^2$$

Момент инерции ходового винта

$$J_{ХВ} = m \cdot \left(\frac{d_{CP}}{2} \right)^2$$

Момент инерции рабочего органа

$$J_{РО} = J_C + J_{ХВ}$$

Момент инерции рабочего органа, приведенный к валу двигателя,

$$J_{ПР} = \frac{J_{РО}}{i_{12}^2}$$

Момент инерции передачи, приведенный к валу двигателя,

$$J_{ПЕР} = J_1 + \frac{J_2}{i_{12}^2}$$

Коэффициент, учитывающий момент инерции передачи в моменте инерции ротора двигателя,

$$\delta = \frac{(J_{ДВ} + J_{ПЕР})}{J_{ДВ}}$$

Суммарный момент инерции механической части

$$J = \delta \cdot J_{ДВ} + J_{ПР}$$

Таблица 1.1. Условия для различных вариантов

| № п/п | m, т | F _х , кН | J _{дв} , кг·м ² |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|
| 0 | 1 | 5 | 0,102 |
| 1 | 1,2 | 5,5 | 0,144 |
| 2 | 1,4 | 6 | 0,164 |
| 3 | 1,6 | 5 | 0,182 |
| 4 | 1,8 | 5,5 | 0,193 |
| 5 | 2 | 6 | 0,2 |
| 6 | 2,2 | 5,5 | 0,22 |
| 7 | 2,4 | 6 | 0,3 |
| 8 | 2,6 | 5 | 0,37 |
| 9 | 2,8 | 5,5 | 0,59 |

Задача №2

Определить приведенные значения статического нагрузочного момента, махового момента и момента инерции для привода подъемного механизма (рис. 1.2) при подъеме и опускании груза G массой m (см. таблицу 1.2). Параметры механизма: частота вращения вала двигателя $n_D = 600$ об/мин; маховый момент якоря двигателя и деталей на его валу $GD^2_\delta = 31,4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; КПД передачи $\eta_{пер} = \eta_r \eta_\delta = 0,85$; диаметр зубчатого колеса на оси барабана D_K (см. таблицу 1.2), его масса $m_k = 7$ кг; диаметр барабана $D_\delta = 130$ мм, его масса 20 кг; частота вращения барабана n_δ (см. таблицу 1.2).

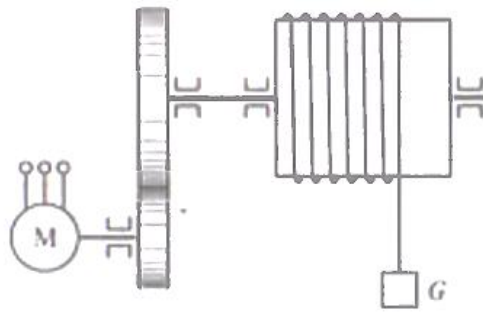


Рис. 1.2. Привод подъемного механизма

Решение:

Передаточное отношение частот вращения двигателя и барабана

$$i_1 = n_2/n_6$$

Маховый момент зубчатого колеса на оси барабана

$$(GD_1^2)' = g_k m_k D_k^2$$

Маховый момент барабана

$$(GD_6^2)' = gm_6 GD_6^2$$

Сумма маховых моментов на оси барабана

$$(\sum GD^2)' = (GD_k^2)' + (GD_6^2)'$$

Приведенное значения махового момента на оси барабана

$$\sum GD_6^2 = (\sum GD^2)' / i_1$$

Линейная скорость подъема груза G

$$v_n = \pi D_6 n_6 / 60$$

Приведенный маховый момент поступательно движущегося груза при его подъеме

$$GD_{\text{пост}}^2 = \frac{4gm v_n^2}{\omega_d^2 \eta_p \eta_6}$$

где $\omega_d = 2\pi n_{\text{дв}} / 60$

Маховый момент электропривода

$$GD^2 = GD_1^2 + \sum GD_6^2 + GD_{\text{пост}}^2$$

Момент инерции электропривода

$$J = (GD^2) / (4g)$$

Приведенное значение статического нагрузочного момента двигателя при подъеме груза

$$M_{\text{сн}} = \frac{9,55 g m v_n}{n_4 \eta_{\text{пер}}}$$

Приведенное значение статического момента двигателя при опускании груза со скоростью его подъема $v_o = v_n$

$$M_{c.o} = \frac{9,55 g m v_o \eta_{пер}}{n_1}$$

Таблица 1.2. Условия для различных вариантов

| № п/п | m, кг | D _к , мм | n _б , об/мин |
|-------|-------|---------------------|-------------------------|
| 0 | 100 | 100 | 50 |
| 1 | 150 | 200 | 60 |
| 2 | 200 | 300 | 70 |
| 3 | 250 | 400 | 80 |
| 4 | 300 | 100 | 90 |
| 5 | 350 | 200 | 100 |
| 6 | 100 | 300 | 110 |
| 7 | 150 | 400 | 120 |
| 8 | 200 | 150 | 130 |
| 9 | 250 | 250 | 140 |

Критерии оценки самостоятельной работы:

- Правильность решения;
- Способность студента объяснить ход решения;
- Способность студента объяснить основные понятия «Электропривода»

Тема 2. Электропривод постоянного тока

Задача №1.

Рассчитать и построить естественную и искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ НВ (данные см. в таблице 2.1) при изменении напряжения в цепи якоря, уменьшении магнитного потока и введении в цепь якоря добавочного сопротивления. **Все 4 графика необходимо построить в одной системе координат. К задаче также необходимо ответить на контрольные вопросы (письменно!!!).** Контрольные вопросы даны после таблицы.

Естественная механическая характеристика строится по двум точкам:

1) точка идеального холостого хода: $M_{xx}=0$, $\omega_{xx} = \frac{U_{яном}}{k\Phi_{ном}}$.

2) точка, соответствующая номинальному режиму работы:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad \omega_{ном} = \frac{2\pi n_{ном}}{60}$$

Обозначения: M_{xx} – момент идеального холостого хода; ω_{xx} – скорость идеального холостого хода; $U_{я ном}$ – номинальное напряжение якорной цепи; $k\Phi_{ном}$ – номинальная конструктивная постоянная по ЭДС; $M_{ном}$ – номинальный момент двигателя; $\omega_{ном}$ – номинальная скорость вращения двигателя; $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя; $\nu_{ном}$ – номинальная частота вращения двигателя.

Номинальная конструктивная постоянная по ЭДС вычисляется по следующему выражению:

$$k\Phi_{ном} = \frac{U_{я ном} - R_{яц75} \cdot I_{я ном}}{\omega_{ном}};$$

где $R_{яц75}$ – сопротивление якорной цепи при температуре 75°C ; $I_{я ном}$ – номинальный ток якорной цепи.

Т.к. в каталогах даются сопротивления при 15°C , то сопротивление якорной цепи при 75°C можно вычислить по формуле:

$$R_{яц75} = (1 + \alpha \Delta t)(R_{оя15} + R_{ко15} + R_{дп15});$$

где $\alpha = 0,004 (^{\circ}\text{C})^{-1}$ – температурный коэффициент сопротивления меди; $\Delta t = 60^{\circ}\text{C}$ – разность рабочей температуры двигателя и температуры обмоток, при которой даны сопротивления в каталоге; $R_{оя15}$ – сопротивление обмотки якоря при 15°C ; $R_{ко15}$ – сопротивление компенсационной обмотки при 15°C ; $R_{дп15}$ – сопротивление добавочных полюсов при 15°C .

Номинальный ток якорной цепи ДПТ НВ можно определить по выражению:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\eta \cdot U_{ном}};$$

где η – номинальный КПД двигателя в о.е. (**не в %**)

Естественная электромеханическая характеристика строится по двум точкам:

- 1) точка идеального холостого хода: $I_{я xx} = 0, \omega_{xx};$
- 2) точка, соответствующая номинальному режиму работы: $I_{ном}; \omega_{ном}$

Искусственная механическая характеристика строится также по двум точкам:

- 1) точка идеального холостого хода:

$$M_{xx} = 0, \omega_{xx} = \frac{U_{я}}{k\Phi}.$$

- 2) точка короткого замыкания: $M_{кз} = k\Phi \cdot I_{кз}, \omega_{кз} = 0.$

Обозначения: $U_{я}$ – напряжение якорной цепи; $k\Phi$ – конструктивная постоянная по ЭДС; $I_{кз}$ – ток КЗ; $\omega_{кз}$ – угловая скорость при КЗ.

Ток КЗ определяется по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{я}}{\sum R_{яц75}};$$

где $\sum R_{яц75}$ - суммарное сопротивление якорной цепи с добавочным сопротивлением (если оно есть).

$$\sum R_{яц75} = R_{яц75} + R_{доб},$$

где $R_{доб}$ – добавочное сопротивление якорной цепи.

Искусственная электромеханическая характеристика строится по двум точкам:

1) точка идеального холостого хода:

$$M_{хх}=0, \omega_{хх} = \frac{U_{я}}{k\Phi}.$$

2) точка короткого замыкания: $I_{кз}, \omega_{кз}=0$.

Таблица 2.1. Задание на домашнюю работу

| № вар. | Тип двигателя | Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт | Номинальное напряжения якорной цепи $U_{я ном}$, В | Изменение напряжения в якорной цепи (от номинального) | Изменение магнитного потока (от номинального) | Добавочное сопротивление |
|--------|---------------|--------------------------------------|---|---|---|--------------------------|
| 0 | 2ПН90МУХЛ4 | 1 | 220 | $U_{я}=0,5U_{я ном}$ | $\Phi=0,5\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=3R_{яц75}$ |
| 1 | 2ПН100ЛУХЛ4 | 2,2 | 220 | $U_{я}=0,75U_{я ном}$ | $\Phi=0,75\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=2R_{яц75}$ |
| 2 | 2ПБ112МУХЛ4 | 1,4 | 220 | $U_{я}=0,35U_{я ном}$ | $\Phi=0,8\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=4R_{яц75}$ |
| 3 | 2ПН132ЛУХЛ4 | 14 | 440 | $U_{я}=0,65U_{я ном}$ | $\Phi=0,65\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=2R_{яц75}$ |
| 4 | 2ПН160МУХЛ4 | 13 | 440 | $U_{я}=0,5U_{я ном}$ | $\Phi=0,7\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=3R_{яц75}$ |
| 5 | 2ПБ180МУХЛ4 | 9,5 | 110 | $U_{я}=0,85U_{я ном}$ | $\Phi=0,5\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=4R_{яц75}$ |
| 6 | 2ПО180ЛУХЛ4 | 7,5 | 110 | $U_{я}=0,5U_{я ном}$ | $\Phi=0,55\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=5R_{яц75}$ |
| 7 | 2ПН200МУХЛ4 | 36 | 440 | $U_{я}=0,25U_{я ном}$ | $\Phi=0,75\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=2R_{яц75}$ |
| 8 | 2ПН225МУХЛ4 | 22 | 220 | $U_{я}=0,35U_{я ном}$ | $\Phi=0,5\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=3R_{яц75}$ |
| 9 | 2ПН250МУХЛ4 | 55 | 220 | $U_{я}=0,7U_{я ном}$ | $\Phi=0,65\Phi_{ном}$ | $R_{доб}=5R_{яц75}$ |

Недостающие данные необходимо взять из справочной литературы (каталогов).

Контрольные вопросы:

1) При каком способе регулирования жесткость механической характеристики осталась постоянной?

2) При каком способе регулирования жесткость механической характеристики упала?

3) При каком способе регулирования ток короткого замыкания искусственной электромеханической характеристики равен току короткого замыкания естественной характеристики?

4) Почему изменение потока и напряжения возможно только вниз от номинальных значений?

Задача №2.

Для данных двигателя из предыдущей задачи необходимо рассчитать добавочное сопротивление в якорную цепь, которое позволит снизить токи пуска и торможения противовключением до заданных пределов (см. таблицу 2.2). Ответить письменно на контрольные вопросы (даны после таблицы 2.2).

Сопротивление пускового резистора определяется по формуле:

$$R_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{яном}}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{яц75}},$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток якорной цепи.

Сопротивление резистора, используемого при торможении противовключением:

$$R_{\text{торм}} = \frac{U_{\text{яном}} + E}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{яц75}} \approx \frac{2U_{\text{яном}}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{яц75}}.$$

где E – ЭДС двигателя.

Таблица 2.2. Задание на домашнюю работу

| № вар. | Допустимый ток якорной цепи |
|--------|--|
| 0 | $I_{\text{доп}} = 2I_{\text{я ном}}$ |
| 1 | $I_{\text{доп}} = 2,2I_{\text{я ном}}$ |
| 2 | $I_{\text{доп}} = 2,4I_{\text{я ном}}$ |
| 3 | $I_{\text{доп}} = 2,6I_{\text{я ном}}$ |
| 4 | $I_{\text{доп}} = 2,8I_{\text{я ном}}$ |
| 5 | $I_{\text{доп}} = 3I_{\text{я ном}}$ |
| 6 | $I_{\text{доп}} = 2,1I_{\text{я ном}}$ |
| 7 | $I_{\text{доп}} = 2,3I_{\text{я ном}}$ |
| 8 | $I_{\text{доп}} = 2,5I_{\text{я ном}}$ |
| 9 | $I_{\text{доп}} = 2,7I_{\text{я ном}}$ |

Контрольные вопросы:

- 1) Какие виды торможений ДПТ НВ Вы знаете?
- 2) Какой режим торможения является самым тяжелым и почему?
- 3) При каком виде торможения якорь отключается от сети и замыкается на тормозное сопротивление или сам на себя (если сопротивление якорной цепи позволяет)?
- 4) Какой режим торможения является самым экономичным и почему?

Критерии оценки самостоятельной работы

- Правильность решения;
- Способность студента объяснить ход решения;
- Способность студента объяснить основные понятия «Электропривода»

Тема 3. Электропривод с асинхронным двигателем

Задача №1. Построить естественную и искусственные механические характеристики асинхронного двигателя при различных способах регулирования. Естественная и искусственные (3 шт.) механические характеристики должны быть построены в одной оси координат (в одной системе координат 4 графика: 3 искусственной механической

характеристики + 1 естественная !!!!). Данные к задаче приведены в таблице 3.1. **Недостающие данные необходимо получить из каталогов двигателей. В конце задачи необходимо ответить НА ВСЕ контрольные вопросы.**

Каждый изготовленный двигатель имеет соответствующие ГОСТ характеристики, которые приведены в каталогах. Эти данные можно представить следующим образом. Режим номинальной мощности (100%-ая нагрузка): линейные напряжение $U_{ном.}$ и ток статора $I_{I_{ном.}}$, полезная мощность $P_{2ном.}$, коэффициент полезного действия $\eta_{ном.}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном.}$, частота вращения n_2 . (или скольжение $s_{ном.}$). Режим максимального момента: кратность максимального момента $K_M=M_m/M_{ном.}$. Режим короткого замыкания (заторможенный ротор): кратности пускового момента $K_{II}=M_{II}/M_{ном.}$ и пускового тока $K_i=I_{II}/I_{ном.}$. Для АД серии 4А в каталогах приведены также параметры схемы замещения АД в **относительных единицах**, а именно активное и индуктивное сопротивления статора R_1^* и X_1^* , приведенные активное и индуктивное сопротивления ротора $R_2'^*$ и $X_2'^*$ и индуктивное сопротивление цепи намагничивания X_μ^* . Для перехода от относительных единиц к абсолютным, необходимо найти номинальное фазное напряжение двигателя $U_\phi=U_{ном.}/\sqrt{3}$ и номинальный ток:

$$I_{I_{ном.}} = \frac{P_{2ном.}}{\sqrt{3}U_{ном.} \cos\varphi_{ном.} \eta_{ном.}}$$

Базовое сопротивление:

$$Z = \frac{U_\phi}{I_{I_{ном.}}}$$

Тогда активное сопротивление статора будет равно

$$R_1 = R_1^* Z$$

Индуктивное сопротивление статора

$$X_1 = X_1^* Z$$

Приведенное активное сопротивление ротора

$$R_2' = R_2'^* Z$$

Приведенное индуктивное сопротивление ротора

$$X_2' = X_2'^* Z.$$

Для двигателей серии 4А также указывается критическое скольжение s_k , если оно не дано, то его можно вычислить приближенно по формулам:

$$S_k = S_n (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}) \quad \text{или} \quad s_k = \pm \frac{R_{2\Sigma}'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}},$$

где X_k – индуктивное сопротивление КЗ, s_n – номинальное скольжение.

$$X_k = X_1 + X_2'.$$

Механическую характеристику асинхронного двигателя можно построить по уточненной (или упрощенной) формуле Клосса. Воспользуемся уточненной формулой, имеющей вид:

$$M = \frac{2 \cdot M_k (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k},$$

где M_k – критический момент; s_k – критическое скольжение; $a=R_1/R'_2$ – отношение активных сопротивлений статора и приведенного сопротивления ротора; s – текущее скольжение; M – текущий момент.

Скольжение – величина, характеризующая запаздывание скорости вращения ротора по отношению к скорости вращения статора. Определяется по выражению:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad \text{или} \quad s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100 \%$$

где $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$, $n_0 = 60 f_1 / p$ – синхронная угловая скорость и частота вращения статора (или же угловая скорость (частота вращения) холостого хода), f_1, p – соответственно частота сети и число пар полюсов.

При использовании полученных формул можно построить естественную механическую характеристику. При построении механической характеристики $M(\omega)$ или $M(n)$ не забываем, что $n=(1-s)n_0$ или $\omega=(1-s)\omega_0$.

При построении искусственной механической характеристики необходимо узнать как изменятся параметры a , s_k и M_k в уточненной формуле Клосса. **(НАПОМИНАНИЕ: В АДК невозможно регулирование скорости путем изменения параметров со стороны ротора).**

$$a_{иск} = (R_1 + R_{1доб}) / R'_2.$$

$$s_k = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}}, \text{ то}$$

$$s_{киск} = \frac{s_{кест} \left(\sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right)}{\sqrt{(R_1 + R_{1доб})^2 + X_k^2}} - \text{при регулировании введением добавочного}$$

сопротивления в цепь статора.

$$s_{киск} = \frac{s_{кест} \left(\sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right)}{\left(\sqrt{R_1^2 + (X_k + X_{1доб})^2} \right)} - \text{при регулировании введением добавочной}$$

индуктивности в цепь статора.

$$s_{киск} = \frac{s_{кест} \left(\sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right)}{\left(\sqrt{R_1^2 + \frac{f_1^2}{f_{ном}^2} X_k^2} \right)} - \text{при регулировании изменением частоты}$$

питающего напряжения.

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}, \text{ то}$$

Т.к.

$$M_{\text{киск}} = \frac{U_{\phi}^2 \cdot M_{\text{кест}}}{U_{\phi\text{ном}}^2} \quad - \quad \text{при регулировании амплитудой питающего}$$

напряжения.

$$M_{\text{киск}} = \frac{M_{\text{кест}} \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}{R_1 + R_{1\text{доб}} + \sqrt{(R_1 + R_{1\text{доб}})^2 + X_k^2}} \quad - \quad \text{при регулировании введением}$$

добавочного сопротивления в цепь статора.

$$M_{\text{киск}} = \frac{M_{\text{кест}} (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_k + X_{1\text{доб}})^2}} \quad - \quad \text{при регулировании введением}$$

добавочной индуктивности в цепь статора.

$$M_{\text{киск}} = \frac{M_{\text{кест}} (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + \left(X_k \frac{f_1}{f_{1\text{ном}}} \right)^2}} \quad - \quad \text{при регулировании частотой}$$

питающего напряжения.

Напоминание:

$$M_{\text{кест}} = K_M \cdot M_{\text{ном}};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / \omega_{\text{ном}};$$

$$\omega_{\text{ном}} = \pi n_{\text{ном}} / 30 .$$

$f_{1\text{ном}}$ – номинальная частота питающей сети (50 Гц).

Далее по уточненной формуле Клосса строим искусственные характеристики:

$$M = \frac{2M_{\text{киск}} (1 + a_{\text{иск}} \cdot s_{\text{киск}})}{\frac{s}{s_{\text{киск}}} + \frac{s_{\text{киск}}}{s} + 2a_{\text{иск}} \cdot s_{\text{киск}}}$$

Таблица 3.1. Данные для задачи №1.

| № вар. | Тип двигателя | Искусственная 1 | Искусственная 2 | Искусственная 3 |
|--------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 4A100S2Y3 | $U_{\phi}=0,5U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=20$ Гц | $R_{1\text{доб}}=2R_1$ |
| 2 | 4AA63B4Y3 | $X_{1\text{доб}}=2X_k$ | $U_{\phi}=0,75U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=40$ Гц |
| 3 | 4A180M6Y3 | $R_{1\text{доб}}=3R_1$ | $X_{1\text{доб}}=3X_k$ | $U_{\phi}=0,8U_{\phi\text{ном}}$ |
| 4 | 4A112MB8Y3 | $f_1=35$ Гц | $R_{1\text{доб}}=4R_1$ | $X_{1\text{доб}}=4X_k$ |
| 5 | 4A250S10Y3 | $U_{\phi}=0,65U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=30$ Гц | $R_{1\text{доб}}=2,5 R_1$ |
| 6 | 4A355M2Y3 | $X_{1\text{доб}}=4X_k$ | $U_{\phi}=0,45U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=45$ Гц |
| 7 | 4AA225M4Y3 | $R_{1\text{доб}}=1,5 R_1$ | $X_{1\text{доб}}=1,5X_k$ | $U_{\phi}=0,5U_{\phi\text{ном}}$ |
| 8 | 4AA63A6Y3 | $f_1=20$ Гц | $R_{1\text{доб}}=2R_1$ | $X_{1\text{доб}}=2X_k$ |
| 9 | 4A100L8Y3 | $U_{\phi}=0,75U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=40$ Гц | $R_{1\text{доб}}=3R_1$ |
| 0 | 4A315M12Y3 | $X_{1\text{доб}}=3X_k$ | $U_{\phi}=0,8U_{\phi\text{ном}}$ | $f_1=35$ Гц |

Контрольные вопросы к задаче №1.

1) При каких способах регулирования АД жесткость механической характеристики остается постоянной?

2) Чем ограничивается регулирование скорости АД при увеличении частоты питающего напряжения?

3) Каковы достоинства регулирования скорости АДФ при введении добавочного сопротивления в цепь ротора? Недостатки?

4) Какие способы регулирования скорости АД являются энергоэффективными?

5) Почему стараются увеличить пусковой момент АД?

6) Как называются двигатели, в которых можно изменить число пар полюсов? Какие недостатки регулирования скорости изменением числа пар полюсов?

7) С помощью каких устройств возможно регулирование скорости АД путем изменения напряжения на статоре (минимум 2 устройства)? Каковы достоинства и недостатки такого метода регулирования?

8) Почему отношение пускового тока к номинальному значительно выше, чем отношение пускового момента к номинальному?

9) Какими способами ограничивают пусковые токи АД (минимум 3 метода написать)?

Задача №2. По данным предыдущей задачи построить естественную и искусственные механические характеристики асинхронного двигателя при способе регулирования $U/f=\text{const}$. Естественная и искусственные (2 шт.) механические характеристики должны быть построены в одной оси координат (в одной системе координат **3 графика: 2 искусственной механической характеристики + 1 естественная !!!!**). Данные к задаче приведены в таблице 3.2. **Недостающие данные необходимо получить из каталогов двигателей. В конце задачи необходимо ответить НА ВСЕ контрольные вопросы.**

Существуют 3 вида скалярного управления. Одним из них является метод, при котором поддерживают постоянными отношения напряжения и частоты питающего напряжения – $U/f=\text{const}$. При данном способе регулирования остается постоянным критический момент:

$$M_{к\text{иск}}=M_{к\text{ест}}=K_M \cdot M_{ном}$$

Скорость холостого хода падает пропорционально уменьшению частоты. В современных преобразователях частоты (ПЧ) при осуществлении скалярного управления стараются минимизировать влияние активного сопротивления статора, поэтому критическое скольжение будет расти обратно пропорционально уменьшению частоты питающего напряжения:

$$s_{киск} = \frac{s_{кест} \left(\sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right)}{\left(\sqrt{R_1^2 + \frac{f_1^2}{f_{1ном}^2} X_k^2} \right)} \approx \frac{s_{кест} \left(\sqrt{X_k^2} \right)}{\left(\sqrt{\frac{f_1^2}{f_{1ном}^2} X_k^2} \right)} = \frac{s_{кест} X_k}{\frac{f_1}{f_{1ном}} X_k} = s_{кест} f_{1ном} / f_1$$

Таблица 3.2. Данные для задачи №2.

| № вар. | Тип двигателя | Искусственная 1 | Искусственная 2 |
|--------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 4A100S2Y3 | f1=25Гц | f1=30Гц |
| 2 | 4AA63B4Y3 | f1=45Гц | f1=35Гц |
| 3 | 4A180M6Y3 | f1=45Гц | f1=25Гц |
| 4 | 4A112MB8Y3 | f1=25Гц | f1=30Гц |
| 5 | 4A250S10Y3 | f1=40Гц | f1=20Гц |

| | | | |
|---|------------|-------------------|-------------------|
| 6 | 4A355M2Y3 | $f_1=45\text{Гц}$ | $f_1=30\text{Гц}$ |
| 7 | 4AA225M4Y3 | $f_1=15\text{Гц}$ | $f_1=45\text{Гц}$ |
| 8 | 4AA63A6Y3 | $f_1=25\text{Гц}$ | $f_1=35\text{Гц}$ |
| 9 | 4A100L8Y3 | $f_1=45\text{Гц}$ | $f_1=25\text{Гц}$ |
| 0 | 4A315M12Y3 | $f_1=25\text{Гц}$ | $f_1=20\text{Гц}$ |

Контрольные вопросы к задаче №2.

- 1) Запишите 3 закона скалярного управления.
- 2) При регулировании $U/f=\text{const}$ как ведет себя жесткость механической характеристики? Критический момент?
- 3) Что такое преобразователь частоты?
- 4) Какие еще системы управления АД существуют?
- 5) На какие 3 части можно условно разделить преобразователь частоты?
- 6) Что предусмотрено в звене постоянного тока ПЧ для торможения двигателя?
- 7) В чем достоинства векторного управления перед скалярным?
- 8) Какие ключевые полупроводниковые элементы используются в инверторе ПЧ?
- 9) Какую функцию выполняет выпрямитель в ПЧ? Инвертор?
- 10) По каким 2 основным параметрам необходимо правильно подбирать преобразователь частоты к АД?

Критерии оценки самостоятельной работы

- Правильность решения;
- Способность студента объяснить ход решения;
- Способность студента объяснить основные понятия «Электропривода»

Список информационного обеспечения

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.: ил. ISBN 978-5-383-00918-5
2. Электропривод промышленных установок: учебное пособие/ С.В. Петухов, М.В. Кришьянис. – Архангельск: С(А)ФУ, 2015. – 303 с.
3. Новиков В.А. Электропривод в современных технологиях/ М: Издательский центр «Академия», 2014 – 400 с.