

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра электропривода и электротехнологии

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Методические рекомендации
по выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки 35.03.02 «Агроинженерия»,
профиль «Электрооборудование и электротехнологии»
очной и заочной форм обучения

КАРАБАЕВО
Костромская ГСХА
2015

УДК 621.34
ББК 31.291
С 71

Составители: сотрудники кафедры электропривода и электротехнологии Костромской ГСХА к.т.н., доцент *Н.А. Фалилеев*, к.э.н., доцент *А.А. Васильков*.

Рецензент: д.т.н., профессор кафедры электроснабжения Костромской ГСХА *Н.М. Попов*.

Рекомендовано к изданию методической комиссией электрификации и автоматизации сельского хозяйства, протокол № 7 от 01 сентября 2015 года.

С 71 **Специальный электропривод** : методические рекомендации по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 35.03.02 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения / сост. *Н.А. Фалилеев, А.А. Васильков*. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 27 с.

В издании рассмотрены методики по выбору и расчету электродвигателей для различных режимов работы, последовательность расчета добавочных сопротивлений для электроприводов с релейно-контакторным управлением при пуске, расчет количества включений двигателей общего применения для повторно-кратковременного режима, расчет мощности двигателя для кратковременного режима работы, регулирование скорости при частотном управлении двигателем, а также задания для курсовой работы по вариантам.

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы предназначены для студентов направления подготовки 35.03.02 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения.

УДК 621.34
ББК 31.291

Учебно-методическое издание

Специальный электропривод : методические рекомендации по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 35.03.02 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения / сост. Н.А. Фалилеев, А.А. Васильков. — Каравеево : Костромская ГСХА, 2015. — 27 с.

Методические рекомендации издаются в авторской редакции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Задание к курсовой работе	5
Методические указания к разделам курсовой работы	7
Приложение	21

ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие подготовлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом и примерной программой дисциплины «Специальный электропривод» и предназначено для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения.

Пособие предназначено для закрепления теоретического и практического материала дисциплины студентами очной и заочной форм обучения. Он содержит краткие методические советы по выполнению курсовой работы, основные формулы для расчётов.

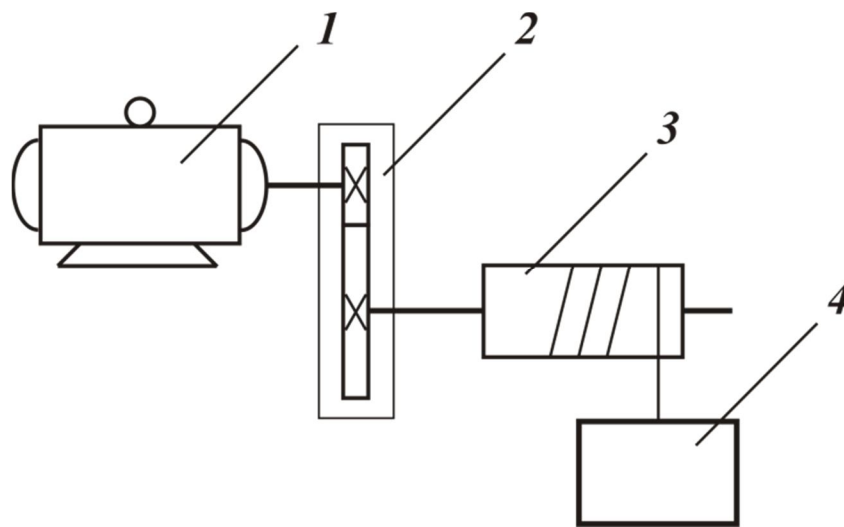
Целью данной курсовой работы является закрепление и систематизация знаний по дисциплине электроприводу, развитие навыков самостоятельной работы с использованием специальной технической литературы.

Задания к курсовой работе

Часть 1 Расчет и выбор асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

Расчет пусковых резисторов. Схемы автоматического управления

1.1 Для подъемного электропривода, выполненного по кинематической схеме, представленной на рисунке 1, в соответствии с индивидуальным заданием выбрать асинхронный электродвигатель с фазным ротором и тип и марку редуктора. Режим работы электропривода – повторно-кратковременный (S3).



1 – электродвигатель; 2 – редуктор;
3 – барабан; 4 – груз.

Рисунок 1. Кинематическая схема подъемного механизма

1.2 Рассчитать ступени пускового резистора и определить пусковой ток в обмотках статора и ротора электродвигателя.

1.3 Определить сопротивления, которые требуется ввести в цепь ротора, чтобы груз двигался на подъем и на спуск со скоростью, равной 0,5 заданного значения. Построить искусственные механические характеристики и определить токи в обмотках статора и ротора при указанных режимах работы.

1.4 Разработать схемы автоматического управления пуском реверсивного и нереверсивного электропривода с тремя ступенями скорости.

Часть 2 Расчет и выбор асинхронных электродвигателей при

повторно - кратковременном режиме работы. Определение времени разбега и допустимого числа включений электродвигателя

2.1 Для кинематической схемы (см. рисунок 1) выбрать асинхронные электродвигатели из серии 4АС и 4А.

2.2 Для двигателя из серии 4А определить допустимое число включений в час. Построить зависимость $\omega = f(t)$ и $M_{\text{дв}} = \varphi(t)$ в процессе пуска. Определить время разбега привода графоаналитическим методом и на ПЭВМ.

Часть 3 Расчет и выбор асинхронного электродвигателя для кратковременного режима работы.

Определение температуры нагрева

3.1 Выбрать асинхронный электродвигатель из серии 4АР для кратковременного режима работы при заданной нагрузке и продолжительности работы 10 мин.

3.2 Определить превышение температуры и построить зависимость $\tau = f(t)$ за весь период работы для двигателей, выбранных по условиям нагрева и по условиям запуска. Сделать заключение об использовании теплового ресурса выбранного электродвигателя.

Часть 4 Расчет характеристик при частотном регулировании угловой скорости асинхронного электродвигателя

4.1. Для асинхронного электродвигателя серии 4А, выбранного в части 2, рассчитать параметры схемы замещения по каталожным данным.

4.2. Построить механические характеристики двигателя при частотном регулировании по закону $U/f = const$ при частотах 10, 25, 50 и 100 Гц.

При выполнении курсовой работы необходимо иметь в виду следующее:

1. Массой троса можно пренебречь.
2. Электродвигатели необходимо выбирать с синхронной частотой вращения 1000 об/мин.
3. Время цикла в повторно-кратковременном режиме принять равным, согласно ГОСТ 183–74, стандартному – 10 минут.
4. Отношение $\alpha=r_1/r_2'$ принять равным единице.
5. Момент сопротивления при спуске и подъеме считать неизменным.
6. Снижение напряжения при пуске принять равным 7.5%.
7. Постоянную времени нагрева T_n принять равной C/A .

Вариант курсовой работы выдает преподаватель. Исходные данные для своего варианта: скорость груза V , масса груза m , момент инерции J_δ , КПД передачи η_{II} , продолжительность включения ПВ и тип схемы берутся из приложения 1.

Методические указания

Часть 1 Расчет и выбор асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

Расчет пусковых резисторов. Схемы автоматического управления

1.1 Для правильного выбора мощности электродвигателя подъемного механизма следует построить нагрузочную диаграмму (см. рисунок 2), для чего необходимо определить мощность сопротивления P_c , время работы t_p и время паузы t_n по выражениям:

$$P_c = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{п}}}, \quad (1.1)$$

где m – масса груза, кг;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

v – скорость груза, м/с ;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи.

$$t_p = t_{\text{ц}} \cdot \frac{\text{ПВ}\%}{100}, \quad (1.2)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла ($t_{\text{ц}} = 10$ мин);

$\text{ПВ}\%$ – продолжительность включения, %.

$$t_n = t_{\text{ц}} - t_p, \quad (1.3)$$

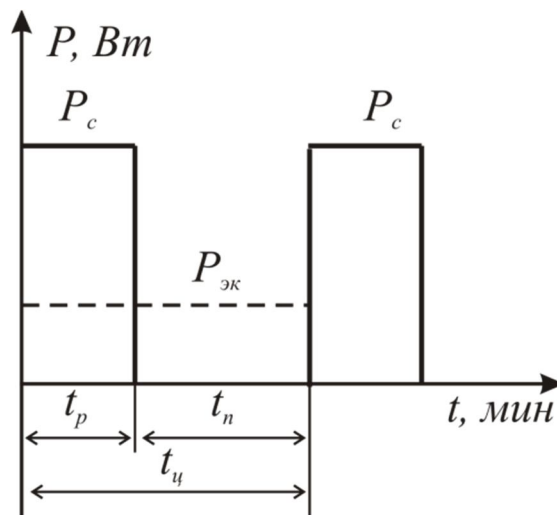


Рисунок 2. Нагрузочная диаграмма подъемного механизма

По нагрузочной диаграмме определяются режимы работы двигателя и эквивалентная мощность $P_{\text{эк}}$.

Повторно-кратковременным номинальным режимом работы (S3) называется режим, при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) чередуются с периодами отключения двигателя (паузами), причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры могли достигнуть установившихся значений.

Эквивалентная мощность – это такая мощность, при работе с которой за весь цикл работы выделяется столько же тепла, сколько при фактическом графике нагрузки.

Мощность электродвигателя выбирается равной или большей эквивалентной мощности.

$$P_n \geq P_{\text{эк}}, \quad (1.4)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя, кВт;

$P_{\text{эк}}$ – эквивалентная мощность в нагрузочной диаграмме, находим по выражению:

$$P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{P_c^2 \cdot t_p}{t_p + \beta_0 \cdot t_{\text{п}}}}, \quad (1.5)$$

где β_0 – коэффициент ухудшения охлаждения двигателя в период паузы ($\beta_0 = 0,5$).

Для обеспечения надежного пуска двигателя, с учетом снижения напряжения ($\Delta U = 7,5\%$), получают пусковой момент и проверяют двигатель на надежность пуска по условию:

$$\kappa_u^2 \cdot M_{\text{п}} \geq M_{\text{тр}} + 0,25 \cdot M_n, \quad (1.6)$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трогания рабочей машины, Н·м;

$M_{\text{п}}$ – пусковой момент электродвигателя, Н·м;

κ_u – коэффициент, учитывающий снижение напряжения при пуске:

$$\kappa_u = 1 - \frac{\Delta U}{100}, \quad (1.7)$$

По паспортным данным двигателя определяют номинальный и критический моменты. У асинхронных двигателей с фазным ротором в паспортных

данных отсутствует кратность пускового момента, поэтому пусковой момент принимают равным критическому с учетом снижения напряжения.

$$M_{ке} = M_{п} \quad (1.8)$$

Синхронная скорость вращения электродвигателя задана ($n_0=1000$ об/мин). Исходя из этого, определяется синхронная частота вращения (ω_0).

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60}, \quad (1.9)$$

Номинальная частота вращения.

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - s_n), \quad (1.10)$$

где s_n - номинальное скольжение двигателя.

Номинальный и критический моменты на естественной определяются выражениями

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (1.11)$$

$$M_{ке} = \mu_k \cdot M_n \quad (1.12)$$

где μ_k - кратность критического момента.

Для определения момента трогания необходимо определить момент сопротивления и соответствующее ему скольжение на механической характеристике электродвигателя (см. рисунок 3).

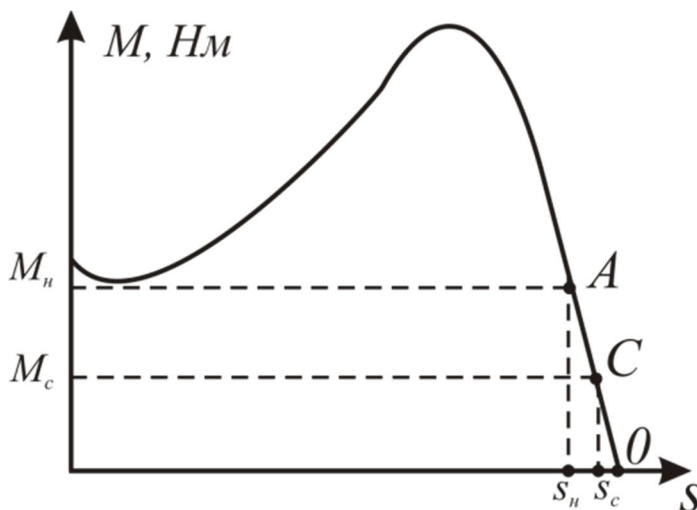


Рисунок 3.. Механическая характеристика двигателя

Из подобия треугольников (s_nAO) и (s_cCO) следует:

$$\frac{s_c}{s_n} = \frac{M_c}{M_n}, \quad (1.13)$$

Момент сопротивления (M_c) и момент номинальный (M_n) выразим через мощность (1.14) и (1.15) и подставим в выражение (1.13) и находим скольжение момента сопротивления (s_c).

$$M_c = \frac{P_c}{\omega_c} = \frac{P_c}{\omega_0 \cdot (1 - s_c)}, \quad (1.14)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{P_H}{\omega_0 \cdot (1 - s_H)}, \quad (1.15)$$

$$s_c = \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{P_c \cdot s_H}{\omega_0 \cdot M_H}}}{2}, \quad (1.16)$$

Для выбора редуктора определяют скорость барабана при заданной скорости подъема груза (ω_6) и передаточное отношение (i):

$$\omega_6 = \frac{2 \cdot v}{D_6}, \quad (1.17)$$

где v – скорость груза, $м/с$;

D_6 – диаметр барабана, $м$.

$$i = \frac{\omega_c}{\omega_6}, \quad (1.18)$$

где ω_c – частота вращения с моментом сопротивления, $рад/сек$.

Максимальный крутящий момент редуктора находят по формуле:

$$M_{max} = m \cdot g \cdot \frac{D_6}{2}, \quad (1.19)$$

где D_6 – диаметр барабана, $м$.

По величине крутящего момента выбирают редуктор, как правило, цилиндрический, так, чтобы максимальный момент двигателя и передаточное отношение находились в пределах момента и отношения выбранного редуктора. Марку выбранного редуктора необходимо раскрыть в курсовой работе.

1.2. При расчете пусковых резисторов в цепи обмотки ротора требуется определить полное их сопротивление, число ступеней и сопротивление каждой ступени. Для расчета пусковых резисторов необходимо определить пусковой момент двигателя $M_{п1}$, момент при отключении ступеней сопротивления $M_{п2}$ и скольжение s_e , которое соответствует моменту $M_{п1}$ на естественной характеристике (в точке А, см. рисунок 4).

$$M_{п1} = \kappa_U^2 \cdot M_{ке}, \quad (1.20)$$

$$M_{п2} = (1,1 \dots 1,3) \cdot M_c, \quad (1.21)$$

где $M_c = M_{ТР}$

Скольжение s_e при моменте M_{II} определяется из упрощённой формулы Клосса:

$$s_e = s_{ке} \cdot \left(\frac{M_{ке}}{M_{п1}} - \sqrt{\left(\frac{M_{ке}}{M_{п1}} \right)^2 - 1} \right), \quad (1.22)$$

где $M_{ке}$ – критический момент на естественной характеристике, $Нм$;
 $s_{ке}$ – критическое скольжение на естественной характеристике.

$$s_{ке} = s_H \cdot \left(\mu_K - \sqrt{\mu_K^2 - 1} \right), \quad (1.23)$$

Пуск двигателя происходит на первой искусственной характеристике, у которой $M_{ку1} = M_{II}$ и $s_{ку1} = 1$. Когда момент двигателя достигает значения M_{II2} , первая ступень пусковых резисторов отключается, а соответствующее этому моменту скольжение на первой искусственной характеристике определится как:

$$s_{и1} = s_{ки1} \cdot \left(\frac{M_{п1}}{M_{п2}} - \sqrt{\left(\frac{M_{п1}}{M_{п2}} \right)^2 - 1} \right), \quad (1.24)$$

После отключения первой ступени двигатель должен выходить на вторую искусственную характеристику при $M_{ку2} = M_{п1}$ и $s_{ку2} = s_{и1}$. Тогда при отключении второй ступени сопротивления при моменте $M_{п2}$ скольжение определится как:

$$s_{и2} = s_{ки2} \cdot \left(\frac{M_{п1}}{M_{п2}} - \sqrt{\left(\frac{M_{п1}}{M_{п2}} \right)^2 - 1} \right), \quad (1.25)$$

Аналогичным образом находятся все скольжения на искусственных характеристиках при моменте M_{II2} до выполнения условия:

$$s_{un} \leq s_e \quad (1.26)$$

где s_{un} – скольжение на последней искусственной характеристике при $M_{п2}$.

В том случае, если $s_{un} = s_e$, расчет искусственных характеристик окончен. Если $s_{un} > s_e$, необходимо моменту $M_{п2}$ присваивать новые значения до тех пор, пока не будет выполняться условие:

$$s_{un} \approx s_e \quad (1.27)$$

По данным строят естественную механическую и искусственные характеристики по упрощенной формуле Клосса, задаваясь скольжением (s) от 0 до 1.

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (1.28)$$

На диаграмме откладывают значения $M_{п1}$ и $M_{п2}$, (см. рисунок 4) и дополнительно выделяем на графике зависимость изменения момента двигателя при пуске до выхода в точку равновесия при заданной нагрузке.

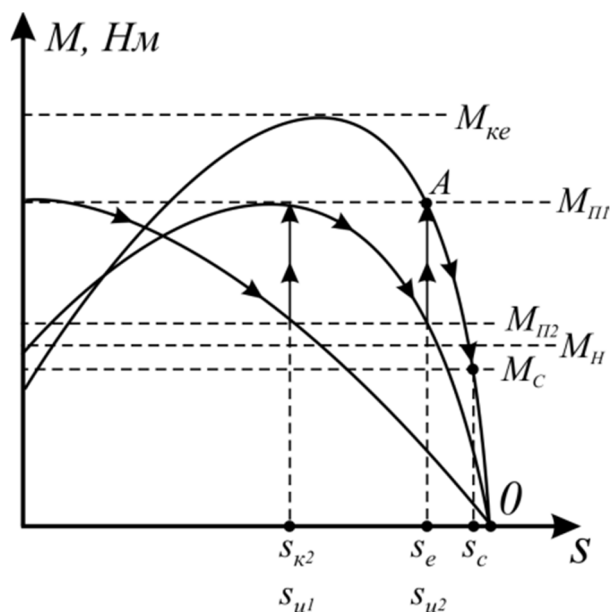


Рисунок 4. График зависимость изменения момента двигателя при пуске до выхода в точку равновесия

Полное добавочное сопротивление цепи ротора $R_{д}$ подбирается так, чтобы $M_{п1}$ был равен критическому моменту с учетом снижения напряжения, но при $\omega = 0$.

$$R_{д1} = r_2 \cdot \left(\frac{1}{s_{ке}} - 1 \right), \quad (1.29)$$

Добавочные сопротивления в цепи ротора для соответствующих искусственных характеристик определяются по выражению:

$$R_{дi} = r_2 \cdot \left(\frac{s_{ки}}{s_{ке}} - 1 \right), \quad (1.30)$$

где r_2 – активное сопротивление фазы обмотки ротора, Ом;

$s_{ки}$ – критическое скольжение на i – характеристике;

$s_{ке}$ – критическое скольжение на естественной характеристике.

Активное сопротивление фазы обмотки ротора определяется по формуле:

$$r_2 = \frac{U_{2н} \cdot s_{н}}{\sqrt{3} \cdot I_{2н}}, \quad (1.31)$$

где $U_{2н}$ – линейное напряжение неподвижного ротора, В;

$I_{2н}$ – номинальный ток ротора, А.

Пусковой ток в обмотках статора можно определить из уравнения закона Ома для Г-образной схемы замещения двигателя:

$$I_{п1} = \frac{U_{\phi 1}}{z}, \quad (1.32)$$

где $U_{\phi 1}$ – фазное напряжение обмотки статора, В;

z – полное сопротивление по схеме замещения при к.з., Ом:

$$z = \sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2 + R'_{д1}}{s}\right)^2 + x_k^2}, \quad (1.33)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом;

r'_2 – приведенное к обмотке статора активное сопротивление фазы обмотки ротора, Ом;

R'_o – добавочное сопротивление в цепи ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_k – индуктивное сопротивление при к.з., Ом.

Входящие в (1.33) активные сопротивления фаз обмоток статора (r_1) и ротора (r'_2) определяются из выражений:

$$r_1 = \frac{\Delta P_{вн} - M_n \cdot (\omega_o - \omega_n)}{3 \cdot I_{1н}^2}, \quad (1.34)$$

где $I_{1н}$ – номинальный ток обмотки статора, А;

$\Delta P_{вн}$ – переменные потери двигателя при номинальной мощности, Вт.

$$\Delta P_{вн} = P_n \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n \cdot (1 + \alpha)}, \quad (1.35)$$

где α – коэффициент потерь, для асинхронных двигателей принимается $\alpha = 0,5 \dots 0,7$;

η_n – номинальный КПД электродвигателя.

$$r'_2 = \frac{\Delta P_{вн}}{3 \cdot I_{1н}^2} - r_1, \quad (1.36)$$

$$x_k = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot M_k \cdot \omega_o} - r_1\right)^2 - r_1^2}, \quad (1.37)$$

где M_k – критический момент двигателя, Нм.

Приведенное к обмотке статора добавочное сопротивление определяется из выражения:

$$R'_{д1} = R_{д1} \cdot \kappa_{тр}^2, \quad (1.38)$$

где $\kappa_{тр}$ – коэффициент трансформации:

$$\kappa_{тр} = \frac{U_{\phi 1}}{U_{\phi 2}}, \quad (1.39)$$

Пусковой ток ротора определяется по соотношению:

$$\frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{I_{1п}}{I_{2п}}, \quad (1.40)$$

1.3. Для определения добавочных сопротивлений в цепи ротора при подъеме и опускании груза с половинной скоростью необходимо вычислить соответствующие значения скольжений при моменте двигателя, равном M_c . На естественной механической характеристике скольжение s_{ce} определяется из упрощенной формулы Клосса на ПЭВМ путем присвоения моменту двигателя значения M_c при коэффициенте снижения напряжения $\kappa_u = 1$.

При подъеме груза с половинной скоростью скольжение определяется:

$$s_{с.под} = 0,5 \cdot (1 - s_{ce}), \quad (1.41)$$

при опускании с половинной скоростью:

$$s_{с.сп} = 1,5 - 0,5 \cdot s_{ce}, \quad (1.42)$$

$$s_{ce} = s_{ке} \cdot \left(\frac{M_{ке}}{M_c} - \sqrt{\left(\frac{M_{ке}}{M_c} \right)^2 - 1} \right), \quad (1.43)$$

Добавочное сопротивление при подъеме ($R_{под}$) и опускании груза с половинной скоростью ($R_{сп}$) определяется из выражений (1.40), (1.42) с использованием значений соответствующих скольжений из (1.38) и (1.39).

$$R_{под} = r_2 \cdot \left(\frac{s_{с.под}}{s_{ce}} - 1 \right), \quad (1.44)$$

$$R_{сп} = r_2 \cdot \left(\frac{s_{с.сп}}{s_{ce}} - 1 \right), \quad (1.45)$$

Пусковой ток в обмотках статора при подъеме ($I_{под1}$) и опускании груза с половинной скоростью ($I_{сп1}$) определяется из выражений (1.44) и (1.45) с использованием значений соответствующих добавочных сопротивлений из (1.41) и (1.42) с учетом приведенное к обмотке статора добавочных сопротивлений выражения (1.38). Отношение токов статора и ротора (1.40) в любом режиме работы электродвигателя остается постоянным. Токи в обмотках статора и ротора

при работе на искусственных характеристиках при спуске и подъеме груза с половинной скоростью определять по соотношениям (1.32) и (1.40) при условии, что в выражении (1.33) используются соответствующие скольжения: при спуске, подъеме груза с половинной скоростью и при работе на естественной характеристике с моментом M_c .

1.4 Для управления асинхронными двигателями широко используются релейно-контакторные аппараты. При релейно-контакторном управлении электродвигателем процесс его пуска обычно автоматизируется, что устраняет возможные ошибки при ручном управлении. Для пуска электродвигателя в этом случае требуется лишь нажать кнопку управления или повернуть в рабочее положение рукоятку командоконтроллера. У асинхронных электродвигателей с фазным ротором пусковые резисторы замыкаются накоротко по ступеням при помощи контакторов, управление которыми осуществляется в функции ЭДС (скорости), тока или времени согласно заданию.

В курсовой работе необходимо составить две схемы в функции того параметра, который указан в задании: схему управления пуска электродвигателя с использованием кнопочных станций и схему управления реверсивным электроприводом с использованием командоконтроллера. В схеме с использованием командоконтроллера необходимо предусмотреть защиту от самозапуска при временном пропадании (или снижении) напряжения.

Часть 2 Расчет и выбор асинхронных электродвигателей при повторно - кратковременном режиме работы. Определение времени разбега и допустимого числа включений электродвигателя

2.1. Для повторно-кратковременного режима работы (S3) выпускается серия специальных электродвигателей, рассчитанных на этот режим – это двигатели серии 4АС (двигатели с повышенным скольжением). Эти электродвигатели рассчитываются на работу при стандартных продолжительностях включения

(ПВ): 15; 25; 40 и 60%. В технической литературе приводятся величины мощности двигателя для всех значений ПВ. За номинальную мощность для серии 4АС принимается мощность при ПВ = 40%. Длительность рабочего цикла не должна превышать 10 мин. (ГОСТ 183 – 74).

Для выбора двигателя данной серии необходимо иметь фактическую относительную продолжительность включения (ПВ указывается в задании) и мощность сопротивления (P_c) по выражению (1.1).

Если продолжительность включения окажется нестандартной, следует мощность нагрузки P_c пересчитать на ближайшее большее стандартное значение относительной продолжительности включения:

$$P'_c = \frac{P_c}{\sqrt{\frac{\varepsilon_{ст}}{\varepsilon_{\phi}} + \alpha \cdot \left(\frac{\varepsilon_{ст}}{\varepsilon_{\phi}} - 1 \right)}}, \quad (2.1)$$

где P_c – мощность сопротивления при фактической продолжительности включения, *Вт*;

P'_c – мощность сопротивления, приведенная к стандартной ПВ ($\varepsilon_{ст}$), *Вт*;

$\alpha = (0,5 \dots 0,7)$ – коэффициент потерь;

ε_{ϕ} – фактическая продолжительность включения по заданию:

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_p}{t_p + t_o}, \quad (2.2)$$

По полученному значению мощность сопротивления, приведенная к стандартному значению ($\varepsilon_{ст}$) выбирают двигатель так, чтобы его номинальная мощность, при принятой по формуле (2.1) стандартной продолжительности включения, была равной или большей.

$$P_{н ст} \geq P'_c, \quad (2.3)$$

после чего двигатель необходимо проверить по условию запуска (1.6).

При повторно-кратковременном режиме работы могут быть использованы двигатели продолжительного режима (*SI*) из серии 4А. Выбор в этом случае производится аналогично выбору двигателя из серии 4АК (п. 1.1).

Выбранный двигатель из серии 4А необходимо также проверить по условию надежного пуска (1.6).

2.2. Допустимое число включений в час можно определить по выражению:

$$h_{\text{доп}} = 3600 \cdot \frac{\Delta P_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (1 - \varepsilon_{\phi}) + (\Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\phi}) \cdot \varepsilon_{\phi}}{\Delta A_{\text{н}} + \Delta A_{\text{т}}}, \quad (2.4)$$

где $\Delta P_{\text{н}}$ – потери мощности при номинальной нагрузке, *Вт*;

ΔP_{ϕ} – фактические потери мощности (при нагрузке P_c), *Вт*,

β_0 – коэффициент ухудшения охлаждения двигателя в период паузы ($\beta_0 = 0,5$);

ε_{ϕ} – фактическая продолжительность включения;

$\Delta A_{\text{н}}$ – потери энергии при пуске, *Дж*;

$\Delta A_{\text{т}}$ – потери энергии при торможении, *Дж*, (принять равными нулю).

Номинальные и фактические потери определяются из выражений:

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \quad (2.5)$$

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P_{\text{н}} \cdot \frac{\alpha - x^2}{\alpha + 1}, \quad (2.6)$$

где x – коэффициент загрузки:

$$x = \frac{P_c}{P_{\text{н}}}, \quad (2.7)$$

При решении задач по определению времени разбега электропривода и потерь энергии в роторе электродвигателя необходимо в уравнение механической характеристики двигателя (в упрощенную формулу Клосса) ввести корректировочный коэффициент, позволяющий получить механическую характеристику с действительным пусковым моментом, т.е. записать уравнение в виде:

$$M_{\text{д}} = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + \alpha \cdot \varepsilon)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot \varepsilon}, \quad (2.8)$$

где α – поправочный коэффициент, ($\alpha = \frac{r_1}{r_2} \approx 1$);

s_k – критическое скольжение;

ε – поправочный коэффициент, ($\varepsilon \approx s_k$).

Время разбега определяется из основного уравнения движения:

$$t(s) = J \cdot \omega_0 \cdot \int_{s_2}^{s_1} \frac{ds}{M_{\text{д}}(s) - M_c(s)}, \quad (2.9)$$

где J – приведенный к скорости вала двигателя момент инерции подвижных частей подъёмного механизма ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$), определяемый как:

$$J = k \cdot J_{\text{д}} + J_{\text{б}} \cdot \frac{1}{i^2} + m \cdot \frac{v^2}{\omega_{\text{д}}^2}, \quad (2.10)$$

где k – коэффициент, учитывающий моменты инерции передаточного механизма ($k = 1, 2$);

$J_{\text{д}}$ – момент инерции ротора двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$J_{\text{б}}$ – момент инерции барабана, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вала двигателя, $\text{рад}/\text{сек}$;

i – передаточное число, определяемое как:

$$i = \frac{\omega_{\text{д}}}{\omega_{\text{б}}}, \quad (2.11)$$

где $\omega_{\text{б}}$ – угловая скорость барабана:

$$\omega_{\text{б}} = \frac{2 \cdot v}{D_{\text{б}}}, \quad (2.12)$$

Потери энергии в роторе определяются из уравнения потерь:

$$A_p(s) = \int_{t_2}^{t_1} M_{\text{д}}(s) \cdot \omega_o \cdot s \cdot ds, \quad (2.13)$$

Из основного уравнения движения находим значение dt :

$$dt = -J \cdot \omega_o \cdot \frac{ds}{M_{\text{д}}(s) - M_c(s)}, \quad (2.14)$$

Подставляя значение dt из (2.14) в (2.13), получим:

$$A_p = J \cdot \omega_o^2 \cdot \int_{s_2}^{s_1} \frac{M_{\text{д}}(s) \cdot s \cdot ds}{M_{\text{д}}(s) - M_c(s)}, \quad (2.15)$$

где $M_c(s) = M_c$ – момент сопротивления, определяемый в 1-й части.

Потери в двигателе при пуске определяются как:

$$A_{\text{п}} = A_p \cdot \left(\frac{r_1}{r_2} + 1 \right), \quad (2.16)$$

Учитывая, что $\alpha = \frac{r_1}{r_2} \approx 1$, окончательно получим:

$$A_{\text{п}} = 2 \cdot A_p, \quad (2.17)$$

Для построения зависимостей $M_{\text{дв}} = f(t)$ и $\omega = \varphi(t)$ (изменение момента и скорости двигателя в переходном процессе) необходимо предварительно построить механические характеристики двигателя и рабочей машины $M_{\text{д}} = f_1(\omega)$ и $M_c =$

$f_2(\omega)$, (см. рисунок 5) . Механическая характеристика двигателя строится по координатам 5 точек: $(M_n, \omega = 0)$; (M_{min}, ω_{min}) ; (M_k, ω_k) ; (M_n, ω_n) ; и $(M=0, \omega_0)$. Механическая характеристика рабочей машины строится по уравнению $M_c = M_{mp}$.

Построение зависимостей $M_{\text{дв}} = f(t)$ и $\omega = \varphi(t)$ и определение времени разбега электропривода ведется графоаналитическим методом – методом пропорций. Полученное путем графических расчетов время разбега сравнить с результатами аналитического расчета времени на ПЭВМ.

Часть 3 Расчет и выбор асинхронного режима работы.

Определение температуры нагрева

3.1. Правильно выбранным по нагреву электродвигателем при любом режиме работы считается тот, у которого в процессе работы превышение температуры максимально приближается к допустимому, но не превышает его.

Для полного использования по нагреву двигателя продолжительного режима (например, серии 4AP) при работе в кратковременном режиме его следует перегружать, т.е. выбирать, исходя из условия:

$$P_H < P_c, \quad (3.1)$$

По этому условию выбрать двигатель серии 4AP и для него определить коэффициенты термической (ρ_T) и механической перегрузок (ρ_M):

$$\rho_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_H}}}, \quad (3.2)$$

$$\rho_M = \sqrt{\rho_T \cdot (1 + \alpha) - \alpha}, \quad (3.3)$$

где t_p – время работы, сек.;

T_H – постоянная времени нагрева, сек.;

$\alpha = (0,5 \dots 0,7)$ – коэффициент потерь.

Постоянная времени нагрева определяется как:

$$T_H = \frac{C}{A}, \quad (3.4)$$

где $C = c_o \cdot m$ – теплоемкость двигателя, Дж/°C;

c_o – удельная теплоемкость (берется по стали), Дж/кг·град;

m – масса электродвигателя, кг;

A – теплоотдача двигателя, Дж/с·град;

$$A = \frac{\Delta P_H}{\tau_H}, \quad (3.4)$$

где τ_H – номинальное превышение температуры, соответствующее нагревостойкости изоляции (принимается по таблице 1).

Изоляция двигателей 4А по классам нагревостойкости (ГОСТ 8865-93) выполняется для двигателей с высотами оси вращения 56...63 мм – класса Е; 71...132 мм - класса В; 150...365 мм – класса F.

Таблица 1 Классы нагревостойкости и соответствующие им температуры

Класс изоляции по нагревостойкости	А	Е	В	F	Н
Предельно допустимая температура, °С	105	120	130	155	180
Номинальное превышение температуры, °С	65	80	90	115	140

После определения коэффициента механической перегрузки производится расчет потребной мощности электродвигателя. По известной мощности нагрузки P_c и найденному коэффициенту механической перегрузки определяется расчетная мощность двигателя:

$$P_{\text{рас}} = \frac{P_c}{P_M}, \quad (3.5)$$

Номинальная мощность электродвигателя выбирается равной или большей расчетной мощности.

$$P_H \geq P_{\text{рас}}, \quad (3.6)$$

Для выбранного по этому условию электродвигателя необходимо рассчитать превышение температуры в конце рабочего цикла и далее проверить по условиям запуска.

Если данный двигатель не обеспечивает надежного пуска, необходимо произвести выбор следующего по мощности. Для этого двигателя также рассчитать превышение температуры в конце рабочего цикла и сопоставить его с нагревом двигателя, выбранного по условиям нагрева и перегрузочной способности.

3.2. Превышение температуры двигателя в любой момент рабочего периода определяется по уравнению нагрева:

$$\tau = \tau_{y\phi} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}}\right), \quad (3.9)$$

Превышение температуры в конце рабочего периода определяется как:

$$\tau_{t_p} = \tau_{y\phi} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_p}{T_H}}\right), \quad (3.10)$$

где $\tau_{y\phi}$ – установившееся превышение температуры при нагрузке P_c :

$$\tau_{y\phi} = \tau_H \cdot \frac{\Delta P_\phi}{\Delta P_H}, \quad (3.11)$$

где ΔP_ϕ – потери мощности при нагрузке P_c (2.6), Вт;

ΔP_H – номинальные потери мощности (2.5), Вт.

Для выбранных по условиям нагрева и запуска двигателей построить графики изменения превышения температуры за рабочий цикл.

Часть 4 Расчет характеристик при частотном регулировании угловой скорости асинхронного электродвигателя при изменении напряжения

4.1. Для определения параметров двигателя ($r_1, r_2', x_1, x_2', I_{2H}^I$) достаточно воспользоваться упрощенной Г – образной схемой замещения (см. рисунок 5). При этом ошибка будет в пределах допустимой для инженерных расчетов.

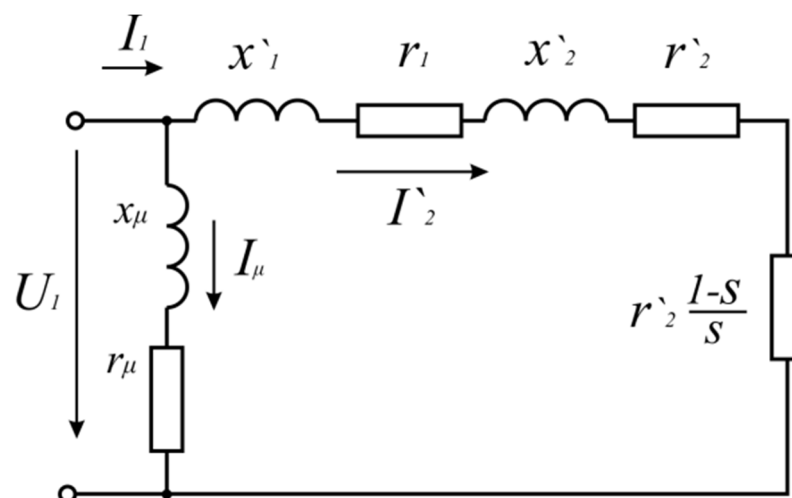


Рисунок 5 Упрощенная Г – образная схема замещения одной фазы асинхронного электродвигателя

Параметры схемы замещения рассчитать по формулам (1.31...1.34).

4.2. Для построения механических характеристик асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости необходимо в уравнение механической характеристики в параметрической форме ввести относительные значения напряжения и частоты.

$$M = \frac{m \cdot U_{\text{н}}^2 \cdot u^2 \cdot r_2' \cdot s}{\omega_{\text{он}} \cdot \varphi \cdot [(r_1 \cdot s + r_2')^2 + x_k^2 \cdot s^2]} , \quad (4.1)$$

где $u = U/U_{\text{н}}$ и $\varphi = f/f_{\text{н}}$ – соответственно относительные напряжение и частота тока;

$\omega_{\text{он}}$ – синхронная скорость при номинальной частоте тока;

m – количество фаз в двигателе, $m=3$.

При частотном регулировании скорости по закону $U/f = \text{const}$ эти относительные величины между собою равны, т.е. $u = \varphi$:

$$M = \frac{m \cdot U_{\text{н}}^2 \cdot u^2 \cdot r_2' \cdot (\omega_{\text{он}} \cdot \varphi - \omega)}{[r_1 \cdot (\omega_{\text{он}} \cdot \varphi - \omega) + r_2' \cdot \omega_{\text{он}} \cdot \varphi]^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot \varphi^2 \cdot (\omega_{\text{он}} \cdot \varphi - \omega)^2} , \quad (4.2)$$

Подставляя в выражение (4.2) значения найденных по (1.31...1.34) параметров двигателя и величин относительного напряжения ($u = \varphi = 0,2; 0,5; 1,0$ и $2,0$), строятся соответствующие характеристики. Для их построения необходимо использовать ПЭВМ.

Список источников

1. Басов, А.М. Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве [Текст] / учеб. пособие для вузов / А. М. Басов, А. Т. Шаповалов, С. А. Кожевников. - М : Колос, 1972. - 344 с.: ил. - (Учебники и учебные пособия для вузов)
2. Симоненко, А.С. Основы электропривода [Текст] / учебное пособие для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» очной и заочной форм обучения / А.С. Симоненко - 2-е изд., стереотип. - Кострома : КГСХА, 2010. - 182 с. (Учебник и учебное пособие для вузов)
3. Кадмин, Н.Е. Основы электропривода [Текст]/учебное пособие для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений / Н.Е. Кадмин. – М. : ФГПУ ВПО МГАУ, 2007. – 217с. (Учебник и учебное пособие для вузов) – ISBN 978–5–86785–207–8
4. Электропривод: Методические рекомендации по выполнению курсовой работы для студентов спец. 110302 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" очной и заочной форм обучения [Текст] / [А.С. Симоненко]; Костромская ГСХА. Каф. электропривода и электротехнологии. - 3-е изд., испр. доп. - Кострома : КГСХА, 2008. - 22 с. (методические рекомендации)

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Варианты задания к курсовой работе

Вариант, №	Тип схемы	Масса, m , кг	Скор. груза, v , м/с	Диам. бараб. D , м	Момент инерц., J , кг·м ²	КПД $\eta_{пер}$	ПВ%
1	В функции скорости	800	1,5	0,4	17	0,9	12
2		700	1,5	0,5	20	0,8	20
3		900	1,5	0,4	17	0,86	30
4		750	1,2	0,35	10	0,9	12
5		800	1,2	0,4	17	0,8	20
6	В функции времени	1200	1,2	0,35	10	0,86	30
7		1500	1,0	0,35	8	0,9	12
8		1700	1,0	0,35	10	0,8	20
9		1900	1,0	0,35	8	0,85	30
10		2000	0,8	0,4	10	0,9	12
11	В функции тока	2700	0,8	0,36	8	0,8	20
12		3000	0,8	0,36	10	0,85	30
13		2500	0,6	0,5	20	0,9	12
14		3300	0,6	0,4	8	0,8	20
15		3700	0,7	0,5	20	0,65	30
16	В функции скорости	3500	0,6	0,45	11	0,8	35
17		3100	0,7	0,5	12	0,9	45
18		1800	0,7	0,4	13	0,85	50
19		3200	0,9	0,36	14	0,75	55
20		2600	0,9	0,45	15	0,8	20
21	В функции времени	2100	0,9	0,5	16	0,85	17
22		2300	1,3	0,55	18	0,9	12
23		1400	1,3	0,46	19	0,85	18
24		1100	1,3	0,48	20	0,75	20
25		600	1,4	0,37	6	0,85	35
26	В функции тока	1500	1,4	0,39	7	0,8	28
27		1600	1,4	0,52	9	0,9	37
28		1700	1,1	0,53	8	0,9	46
29		700	1,1	0,36	15	0,7	50
30		850	1,1	0,37	12	0,75	52
31	В функции скорости	800	1,6	0,35	6	0,8	12
32		900	1,6	0,4	7	0,86	17
33		1000	1,6	0,45	8	0,9	20
34		1100	0,7	0,5	15	0,75	28
35		1200	0,7	0,55	14	0,8	32

Вариант, №	Тип схемы	Масса, m , кг	Скор. груза, v , м/с	Диам. бараб. D , м	Момент инерц., J , кг·м ²	КПД $\eta_{пер}$	ПВ%
36	В функции времени	1300	0,7	0,35	13	0,85	35
37		1400	0,8	0,4	12	0,9	45
38		1500	0,8	0,45	10	0,75	50
39		850	0,8	0,5	11	0,9	48
40		950	0,9	0,55	9	0,8	30
41	В функции тока	1700	0,9	0,4	17	0,85	27
42		1600	0,9	0,45	20	0,8	34
43		1900	1,1	0,36	18	0,75	12
44		1800	1,0	0,5	21	0,86	11
45		2000	1,0	0,55	19	0,9	10
46	В функции скорости	2000	1,1	0,2	13	0,7	26
47		2400	1,2	0,3	14	0,72	30
48		2500	1,3	0,8	15	0,8	33
49		2600	1,4	0,7	16	0,81	37
50		2100	1,5	0,6	17	0,63	41
51	В функции времени	2200	1,1	0,5	18	0,85	45
52		2300	1,2	0,4	19	0,78	50
53		2700	1,3	0,2	20	0,8	55
54		3100	0,6	0,3	15	0,78	30
55		2100	1,4	0,4	13	0,87	25