

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

Кафедра электропривода и электротехнологии

ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Методические рекомендации
по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы
для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»,
профиль «Технический сервис в агропромышленном комплексе»
заочной формы обучения

КАРАВАЕВО
Костромская ГСХА
2015

УДК 621.34
ББК 31.291
Э 45

Составитель: к.э.н., доцент кафедры электропривода и электротехнологий Костромской ГСХА *А.А. Васильков.*

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

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, протокол № 7 от 19 октября 2015 года.

Э 45 **Электропривод и электрооборудование** : методические рекомендации по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Технический сервис в агропромышленном комплексе» заочной формы обучения / сост. А.А. Васильков. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 25 с.

В издании представлены методики по расчёту и выбору электродвигателей по мощности, последовательность расчёта статических и динамических характеристик электроприводов с релейно-контакторным управлением при пуске, регулировании скорости и торможении.

Методические рекомендации по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы предназначены для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Технический сервис в агропромышленном комплексе» заочной формы обучения.

УДК 621.34
ББК 31.291

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Цель и задачи дисциплины. Требования к уровню освоения курса	6
2. Общие методические рекомендации по изучению дисциплины методические указания к разделам контрольной работы	7
3. Задания и методические указания по выполнению контрольной работы.....	7
Контрольные вопросы	17
Список рекомендуемых источников	20
Приложение	22

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия имеет огромное значение в решении задач, стоящих перед сельскохозяйственным производством страны. Она является основой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов в сельском хозяйстве, повышения производительности труда, улучшения условий работы работников сельскохозяйственных предприятий и организаций.

В животноводстве и птицеводстве области применения электрической энергии весьма разнообразны: в процессах приготовления и раздачи кормов, водоснабжения, доения коров, переработки продукции, стрижки овец, уборки помещений, поддержания нужного микроклимата и т.д.

В растениеводстве электрическая энергия используется, главным образом, для очистки, сортировки, обмолота, сушки и транспортировки зерна.

Курс «Электропривод и электрооборудование» имеет существенное значение при подготовке инженера-механика, работающего в сельском хозяйстве.

Целью дисциплины является изучение будущими инженерами-механиками основ работы электрооборудования сельскохозяйственных машин и установок, а также систем автоматического управления ими.

При изучении курса студенты должны ознакомиться: с технологическими основами электрификации и автоматизации сельскохозяйственных производственных процессов; с техническими средствами, используемыми в системах электрификации и автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства, включая средства дискретной автоматики и микропроцессорные устройства; с принципами построения и функционирования автоматизированных, систем управления (АСУ), робототехнических и гибких перестраиваемых систем, а также изучить принципы и основные технологические решения, используемые для электрификации и автоматизации мобильных и стационарных технологических процессов сельскохозяйственного производства.

В результате изучения дисциплины студент должен: понимать значение электрификации и автоматизации в деле повышения, эффективности сельскохозяйственного производства;

– знать технологические основы электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства; устройство, принцип действия, основные характеристики и методы выбора электрооборудования и средства автоматизации; правила эксплуатации электрифицированных установок;

- уметь ориентироваться в принципе действия и схемах электрификации и автоматизации сельскохозяйственных процессов: осуществлять выбор электрооборудования и средств автоматизации и организовать их наладку и эксплуатацию.

Настоящие методические указания написаны в соответствии с программой курса «Электропривод и электрооборудование», утвержденной Учебно-методическим объединением по инженерным специальностям, и учебными планами.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ. ТРЕБОВАНИЯ КУРОВНЮ ОСВОЕНИЯ КУРСА

Целями изучения дисциплины (модуля) «Электропривод и электрооборудование» являются – освоение устройства и работы электрооборудования сельскохозяйственных машин и установок, а также систем автоматического управления ими.

Учебная дисциплина (модуль) «Электропривод и электрооборудование» относится вариативной части профессионального цикла дисциплин.

В результате освоения учебной дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

профессиональные компетенции (ПК)

- способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и теплообмена; знанием устройства и правил эксплуатации гидравлических машин и теплотехнического оборудования (ПК-3);
- способностью использовать современные методы монтажа, наладки машин и установок, поддержания режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, непосредственно связанных с биологическими объектами (ПК-13);

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- способностью к использованию основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования;
- основы теории и методы расчета рационального электропривода
- принципы автоматического управления электроприводом машин, агрегатов и поточных линий в с.-х. производстве.

уметь:

- способностью использовать современные методы монтажа, наладки машин и установок, поддержания режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, непосредственно связанных с биологическими объектами
- применять средства измерения для контроля качества продукции и технологических процессов;

владеть:

- навыками работы с современными универсальными и специальными средствами измерения и контроля;
- способностью обеспечивать выполнение правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда и природы готовностью к участию в проектировании новой техники и технологии.

2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электропривод

Определение понятия «*электропривод*». Структурная схема электропривода. Классификация электроприводов. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей, их классификация. Электродвигатели постоянного и переменного тока и области их применения. Электромеханические свойства электродвигателей (механические характеристики, пуск, торможение и т.д.). Регулирование угловой скорости электропривода. Динамика электропривода. Переходные процессы в электроприводах. Расчет продолжительности переходных процессов. Нагрев и охлаждение электродвигателей. Нагрузочные диаграммы. Режимы работы электродвигателей. Выбор установленной мощности электропривода из условия допустимого нагрева при работе в различных режимах. Типовые схема управления электроприводами.

2. Электрооборудование

Аппаратура управления и защиты электрических установок. Классификация аппаратуры управления и защиты, ее назначение, характеристики, выбор и использование. Контактные и бесконтактные аппаратура управления. Программное управление электрооборудованием.

Осветительное электрооборудование. Электрические источники оптического излучения, их классификация. Виды и системы освещения. Типы светильников. Выбор и методы расчета систем освещения.

Электронагревательное оборудование. Классификация электронагревательных установок по способу нагрева и теплопередачи (метод сопротивления, электроконтактного, электродного, инфракрасный, тепловой насосы, теплоаккумулятор). Их свойства и области применения. Тепловой расчет и выбор мощности нагревательных установок.

4. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Общие указания

Учебным планом для студентов-заочников по курсу «*Электропривод и электрооборудование*» предусмотрено выполнение контрольной работы.

Для выполнения контрольной работы студенту необходимо изучить соответствующую литературу, решить задачи и упражнения, приводимые в рекомендованных учебниках, с тем, чтобы получить полное представление по рассматриваемому вопросу.

В начале работы должно быть указано задание, которое выбирается каждым студентом индивидуально в «Приложение А» по двум последним цифрам шифра зачетной книжки, если значение цифр более 50 то необходимо вычесть 50 и полученный остаток и будет являться вариантом задания.

Решения поставленных в контрольных заданиях задач даются в общем виде с краткими пояснениями. В формулу подставляются числовые значения величин с указанием единиц измерения в системе СИ. Вычисления следует производить с помощью калькулятора или на персональной ПЭВМ.

Задание для контрольной работы

Для системы *трехфазный асинхронный двигатель - рабочая машина* (двигатель питается от сети напряжением 380/220 В):

1. По данным нагрузочной диаграммы, используя метод эквивалентных величин, определить необходимую мощность приводного электродвигателя по нагреву. Выбрать по каталогу в качестве приводного электродвигателя асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором общего назначения серии 4А в «Приложение Б». Оценить условия запуска электродвигателя с нагрузкой при снижении питающего напряжения ΔU %.

2. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя $M_{\text{дв}} = f_1(\omega)$.

3. Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины, приведенную к угловой скорости вала электродвигателя $M_c = f_2(\omega)$.

4. Определить графоаналитическим методом (методом конечных разностей) продолжительность пуска электродвигателя с нагрузкой при номинальном напряжении.

5. Составить согласно заданию принципиальную электрическую схему автоматического управления электродвигателем. Предусмотреть защиту электродвигателя от перегрузки и токов короткого замыкания, а цепей управления от токов короткого замыкания. Выбрать соответствующую аппаратуру автоматической защиты и управления.

Методические советы

К пункту 1

Нагрузочную диаграмму строят на отдельном листе размером 210x297 мм. Эквивалентная мощность нагрузки ($P_{\text{экв}}$, кВт) на валу электродвигателя рассчитывается по выражению:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum_1^m (P_i^2 \cdot t_i)}{\sum_1^m t_i}}, \quad (1)$$

где P_i - мощность на валу электродвигателя в i -й период работы, кВт;
 t_i - продолжительность i -го периода работы, мин;
 m - количество периодов нагрузки.

Номинальная мощность электродвигателя (P_n , кВт) выбирается по условию:

$$P_n \geq P_{\Sigma}, \quad (2)$$

Каталожные параметры выбранного электродвигателя (Приложение Б) по условию (2) свести в таблицу 1.

Таблица 1 Каталожные параметры электродвигателя

Тип электродвигателя	P_n , кВт	U_n , В	μ_m	μ_n	μ_k	$\cos\varphi_n$	η , %	s_n	i_n

Примечания:

где μ_m - кратность минимального вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;
 μ_n - кратность пускового вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;
 μ_k - кратность максимального вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;

$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}$ - номинальное скольжение электродвигателя, соответствующее номинальному вращающему моменту;

$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}$ - синхронная частота вращения электродвигателя (магнитного поля статора), об/мин;

$p = \frac{60 \cdot f}{n_n}$ - число пар полюсов электродвигателя (ближайшее меньшее целое число);

$f = 50$ Гц - частота тока в электрической сети;

i_n - кратность пускового тока.

Ток, потребляемый двигателем в номинальном режиме работы, определяется по формуле:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (3)$$

где U_n - номинальное напряжение электродвигателя;
 $\cos\varphi_n$ - коэффициент мощности;
 η_n - коэффициент полезного действия.

Пусковой ток электродвигателя находим по выражению:

$$I_{\text{п}} = i_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} , \quad (4)$$

Для обеспечения статической устойчивости электропривода должно соблюдаться условие статической устойчивости:

$$M_{\text{к}} \geq M_{\text{с.мак}} , \quad (5)$$

где $M_{\text{к}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{к}}$, - максимальный (критический) момент двигателя, $H \cdot м$.

$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}$, - номинальный вращающий момент электродвигателя, $H \cdot м$;

$\omega_{\text{н}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{н}}}{60}$, - номинальная угловая скорость вала ротора электродвигателя, $рад/с$, ($n_{\text{н}}$ - номинальная частота вращения, $об/мин$)

$M_{\text{с.мак}} = \frac{P_{\text{с.мак}}}{\omega_{\text{н}}}$, - максимальный момент статической нагрузки на валу двигателя при его работе с максимальной нагрузкой согласно нагрузочной диаграмме, $H \cdot м$.

Для устойчивого запуска электропривода должно соблюдаться условие по выражению:

$$M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot u^2 \geq M_{\text{стр}} + M_{\text{изб}} , \quad (6)$$

где $u = 1 - \frac{\Delta U\%}{100}$, - относительное напряжение при пуске асинхронного двигателя ($\Delta U\%$ - процент снижения напряжения в сети);

$M_{\text{стр}} = \frac{P_1}{\omega_{\text{н}}}$, - момент статической нагрузки вала двигателя принять равным при его работе на первом участке согласно нагрузочной диаграмме, $H \cdot м$;

$M_{\text{изб}} = 0,25 \cdot M_{\text{н}}$, - минимальный избыточный момент, необходимый для обеспечения пуска двигателя, $H \cdot м$.

К пункту 2

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя $M_{\text{дв}} = f_1(\omega)$ строят на основании расчета его вращающих моментов для скоростей, соответствующих скольжениям: 0; $s = s_{\text{н}}$; 0,1; $s = s_{\text{к}}$; 0,3; 0,4.

Пусковой вращающий момент электродвигателя при $s = 1,0$ ($\omega = 0$) и минимальный момент при $s = 0,8$ определить, используя кратности пускового $\mu_{\text{п}}$ и минимального $\mu_{\text{м}}$ моментов, по выражениям:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{п}} , M_{\text{м}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{м}} , \quad (7)$$

Остальные вращающие моменты электродвигателя для скольжений от 0 до 0,4 рассчитываются на основании уточненной формулы Клосса (8

), приняв в ней отношение активного сопротивления обмотки фазы статора к приведенному активному сопротивлению фазы обмотки ротора равным единице:

$$M = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + s_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2 \cdot s_K} \quad (8)$$

$$s_K = s_H \cdot \frac{\mu_K + \sqrt{\mu_K^2 - 1 + 2 \cdot s_H \cdot (\mu_K - 1)}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot (\mu_K - 1)} \quad (9)$$

где s_K - критическое скольжение электродвигателя, соответствующее максимальному вращающему моменту;

Такой метод расчета механической характеристики с графической интерполяцией в ее пусковой части позволяет достаточно точно определить значение критического скольжения асинхронного электродвигателя, воспроизвести номинальный, максимальный и пусковой вращающие моменты, а также отобразить незначительный провал в механической характеристике при скольжении около 0,8, связанный с наличием составляющих вращающего момента от высших гармонических (в основном от 5-й и 7-й гармоник), определяющих минимальный момент.

Данные расчета механической характеристики $M_{об} = f_1(\omega)$ свести в таблицу 2. Переход от скольжения (s) к угловой скорости (ω) произвести по формуле:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) \quad (10)$$

где $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$, - синхронная угловая скорость электродвигателя

(магнитного поля) , рад/с.

Таблица 2. Данные к построению механических характеристики асинхронного двигателя

s	0	$s_H =$	0,1	$s_K =$	0,3	0,4	0,8	1,0
ω , рад/с	$\omega_0 =$	$\omega_H =$		$\omega_K =$				0
$M(U_H)$, Н·м	0	$M_H =$		$M_K =$			$M_M =$	$M_n =$
$M(U)$, Н·м								

Вращающий момент асинхронного двигателя для любой фиксированной частоты вращения прямо пропорционален квадрату приложенного напряжения поэтому для всех значений частоты вращения справедливо соотношение:

$$M(U) = M(U_H) \cdot u^2 \quad (11)$$

где $M(U_n)$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении, $H \cdot м$;

$M(U)$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения, но при напряжении по величине отличном от номинального, $H \cdot м$.

При построении механических характеристик $M = f(\omega)$ значения ω располагают по оси абсцисс (аргумент), а значения M - по оси ординат (функция).

Интерполируя механическую характеристику двигателя в ее пусковой части, следует учесть, что при скольжениях $s > s_k$ формула Клосса занижает действительные вращающие моменты. В частности, для $s = 0,4$ вращающий момент, вычисленный по (8), будет несколько занижен.

К пункту 3

Зависимость изменения момента статического сопротивления рабочей машины от угловой скорости определяем на валу машины:

$$M_M = M_{MO} + (M_{MH} - M_{MO}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{MH}} \right)^x, \quad (12)$$

где ω - угловая скорость, $рад/с$;

ω_n - номинальная угловая скорость вала электродвигателя, $рад/с$;

M_{MO} - начальный момент статического сопротивления рабочей машины за вычетом момента сопротивления, обусловленного трением покоя, $H \cdot м$;

M_{MH} - момент статического сопротивления рабочей машины при ее номинальной угловой скорости ω_{MH} , $H \cdot м$;

x - показатель степени, характеризующий изменение момента статического сопротивления рабочей машины.

Для приведения моментов сопротивления машины к валу электродвигателя необходимо использовать следующее соотношение:

$$M_C = \frac{M_M}{i \cdot \eta_{пер}}, \quad (13)$$

где i - передаточное число передачи от электродвигателя к рабочей машине:

$$i = \frac{n_n}{n_{MH}}, \quad (14)$$

С учетом (11) уравнение механической характеристики, рабочей машины, приведенной к скорости вала двигателя имеет вид:

$$M_C = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \cdot \left[M_{MH} + (M_{MH} - M_{MO}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \right], \quad (15)$$

Задавая значения скорости от 0 до $\omega = \omega_o$, рассчитать зависимость $M_C = f_2(\omega)$. Результаты свести в таблицу 3.

Таблица 3 Данные к построению механической характеристики рабочей машины относительно вала электродвигателя

ω , рад/с	0						$\omega_0=$
M_c , Н·м							

На основании расчетных данных строится кривая $M_c=f_2(\omega)$ на том же графике, что и механическая характеристика электродвигателя $M_{\text{дв}}=f_1(\omega)$.

К пункту 4

Расчет продолжительности пуска и торможения электропривода изложен в рекомендованных пособиях заключается в следующем.

Предварительно необходимо маховой момент рабочей машины и электродвигателя, выраженный в $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, перевести в систему единиц измерения СИ по соотношению:

$$J = \frac{GD^2}{4}, \quad (16)$$

где J - момент инерции массы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Если маховый момент выражен в $\text{Н} \cdot \text{м}^2$, то момент инерции массы в $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ определяют по выражению:

$$J = \frac{GD^2}{4 \cdot g}, \quad (17)$$

где $g = 9,81$ - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Тогда приведенный момент инерции системы электродвигатель - рабочая машина относительно вала электродвигателя можно выразить в виде:

$$J = k \cdot J_{\text{дв}} + \frac{J_M}{i^2}, \quad (18)$$

где $k=1,2$ - коэффициент, учитывающий момент инерции механической передачи от электродвигателя к рабочей машине.

Затем, используя построенные механические характеристики электродвигателя $M_{\text{дв}} = f_1(\omega)$ и рабочей машины $M_c = f_2(\omega)$, находится их разность - кривая избыточного (динамического) момента: $M_{\text{изб}} = M_{\text{дв}} - M_c = f_3(\omega)$. Эту кривую заменяют ступенчатой с участками, на которых избыточный момент постоянен и равен его средней величине $M_{\text{ср.изб.}i}$.

Продолжительность разгона электропривода на каждом участке скорости рассчитывают по выражению:

$$\Delta t_i = J \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{ср.изб.}i}}, \quad (19)$$

где $\Delta \omega_i$ - интервал скорости на i -м участке, $\text{рад}/\text{сек}$.

$M_{\text{ср.изб.}i}$ - средний избыточный момент на i -м участке, принимаемый постоянным, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Полная продолжительность пуска равна сумме частичных продолжительностей:

$$t_n = \sum_{i=1}^m \Delta t_i, \quad (20)$$

Результаты расчета свести в таблицу 4.

Таблица 4. Данные расчета продолжительности пуска электропривода

Номера участков по направлению разгона	1	2	3	4	5	6	7	8
$\omega_{нач}, \text{ рад/с}$	0							
$\omega_{кон}, \text{ рад/с}$								
$\Delta\omega = \omega_{нач} - \omega_{кон}, \text{ рад/с}$								
$M_{изб}(U_n), \text{ Н}\cdot\text{м}$								
$M_{изб}(U), \text{ Н}\cdot\text{м}$								
$\Delta t(U_n), \text{ с}$								
$\Delta t(U), \text{ с}$								

Вращающий момент асинхронного двигателя для любой фиксированной частоты вращения прямо пропорционален квадрату приложенного напряжения поэтому для всех значений частоты вращения справедливо соотношение:

$$M(U) = M(U_n) \cdot u^2 \quad (21)$$

где $M(U_n)$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

$M(U)$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения, но при напряжении по величине отличном от номинального, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

$u = 1 - \frac{\Delta U\%}{100}$, - относительное напряжение при пуске асинхронного двигателя ($\Delta U\%$ - процент снижения напряжения в сети);

Поэтому для расчета продолжительности пуска электропривода с нагрузкой в случае снижения питающего напряжения на зажимах двигателя на $\Delta U\%$ от номинального значения необходимо пересчитать вращающие моменты асинхронного двигателя при номинальном напряжении $M(U_n)$ для фиксированных частот вращения (скольжения) таблицы 2 по соотношению (21). Внести соответствующие значения пересчитанных вращающих моментов $M(U)$ в нижнюю строку этой таблицы и повторить необходимые построения для расчета продолжительности пуска электропривода при пониженном напряжении. Данные расчета внести в соответствующие строки таблицы 4.

Если хотя бы на одном участке механических характеристик разгона электропривода $M_{изб}(U) \leq 0$, то необходимо сделать заключение, что при пуске с нагрузкой и понижении питающего напряжения на $\Delta U\%$ электропривод не запустится.

К пункту 5

Для схемы автоматического управления (приложение С) электродвигателем выбранного в пункте 2 необходимо рассчитать защиту цепи электропривода от токов короткого замыкания и перегрузки и выбрать соответствующую аппаратуру. Рекомендуются, прежде всего, пользоваться рекомендованной литературой и действующими стандартами и ГОСТ на условные графические и буквенные обозначения в электрических схемах.

При выборе аппаратуры управления и защиты необходимо руководствоваться следующим общими и дополнительными требованиями.

К общим требованиям:

- степень защиты аппаратуры должна соответствовать требуемому конструктивному исполнению и принятому способу монтажа;

- номинальное напряжение аппарата ($U_{ан}$, В) должно быть не менее номинального напряжения сети ($U_{сн}$, В):

$$U_{ан} \geq U_{сн} , \quad (22)$$

- номинальный ток аппарата ($I_{ан}$, А) должен быть не менее рабочего тока электрической цепи ($I_{раб}$, А):

$$I_{ан} \geq I_{раб} , \quad (23)$$

Дополнительными требованиями:

Выбор магнитных пускателей

- номинальное напряжение катушки аппарата ($U_{кан}$, В) должно быть не менее номинального напряжения сети управления ($U_{с.упр}$, В):

$$U_{кан} \geq U_{с.упр} , \quad (24)$$

Выбор электротепловых реле

- номинальный ток тепловых реле ($I_{трн}$, А) должен иметь не менее 10% запаса от номинально тока защищаемого электрооборудования (I_n , А):

$$I_{трн} \geq (1,1 \dots 1,3) \cdot I_n , \quad (25)$$

Выбор автоматического воздушного выключателя

- номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя ($I_{трн}$, А) должен иметь не менее 10% запаса от номинально тока защищаемого электрооборудования (I_n , А):

$$I_{трн} \geq (1,1 \dots 1,3) \cdot I_n , \quad (26)$$

- номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя ($I_{уст.эм}$, А) выбирают из условия при пусковых токах (I_n , А):

$$I_{уст.эм} \geq 1,5 \cdot I_n , \quad (27)$$

Выбор плавких предохранителей

Для обеспечения надежной работы плавких предохранителей номинальный ток плавкой вставки предохранителя ($I_{вн}$, А) должен отвечать условию:

$$I_{вн} \geq \frac{I_n}{\alpha}, \quad (28)$$

где I_n - ток пусковой (включения) защищаемой цепи; $\alpha = 1 - 2,5$ - коэффициент, учитывающий кратность пускового тока по отношению к номинальному и скорость снижения пускового тока. При защите силовых цепей электродвигателей плавкими предохранителями значения коэффициента $\alpha = 1,6$ при тяжелом (пуск более 10 сек.) пуске и $\alpha = 2,5$ при легком пуске (пуск менее 10 сек.) электродвигателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация электроприводов и их общая характеристика.
2. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей. Определения, уравнения, графические изображения, понятия жесткости.
3. Понятия, вывод уравнения и анализ статической устойчивости электропривода.
4. Системы относительных единиц, характеризующих работу электропривода.
5. Уравнения и графики скоростных и механических характеристик двигателей постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением для двигательного режима.
6. Построение естественной и искусственных скоростных и механических характеристик ДПТ с независимым (параллельным) возбуждением по паспортным данным.
7. Искусственные скоростные и механические характеристики ДПТ с независимым (параллельным) возбуждением. Регулирование частоты вращения ДПТ независимого возбуждения.
8. Расчет пусковых сопротивлений ДПТ с независимым (параллельным) возбуждением аналитическим методом.
9. Тормозные режимы ДПТ с независимым (параллельным) возбуждением. Механические характеристики тормозных режимов.
10. Паспортные данные 3-х фазного асинхронного электродвигателя.
11. Схема замещения 3-х фазного асинхронного электродвигателя, параметры схемы замещения.
12. Уравнения механической характеристики 3-х фазного асинхронного электродвигателя.
13. Уравнения механической характеристики 3-х фазного асинхронного электродвигателя к формуле Клосса.
14. Построение естественной механической характеристики 3-х фазного асинхронного электродвигателя по паспортным и каталожным данным.
15. Искусственные механические характеристики 3-х фазного асинхронного электродвигателя при измерении напряжения и активного сопротивления в обмотке ротора.
16. Искусственные механические характеристики 3-х фазного асинхронного электродвигателя при измерении частоты и напряжения на статоре.
17. Тормозные режимы 3-х фазных асинхронных электродвигателей (АД). Способы получения, область применения.

18. Расчет пусковых и тормозных сопротивлений 3-х фазных АД.
19. Уравнения движения электропривода и его анализ.
20. Приведение вращающих моментов и сил к скорости одного вала.
21. Приведение моментов инерции и масс к скорости одного вала.
22. Методы определения момента инерции деталей и механизмов в электроприводах.
23. Определение времени разбега электропривода с асинхронным электродвигателем. Метод конечных разностей.
24. Анализ механических переходных процессов электропривода с линейной механической характеристикой электродвигателя при постоянном моменте сопротивления. Вывод уравнения, графики изменения определяющих величин.
25. Электромеханическая постоянная времени электропривода, ее влияние на характер переходных процессов электропривода и физический смысл.
26. Анализ механических переходных процессов электропривода с линейной механической характеристикой электродвигателя при моменте сопротивления, зависящем от скорости. Вывод уравнений, графики изменения определяющих величин.
27. Анализ механических переходных процессов электропривода с линейной механической характеристикой электродвигателя при моменте сопротивления, зависящем от времени. Вывод уравнений, графики изменения определяющих величин.
28. Потери энергии в переходных режимах асинхронного электродвигателя без нагрузки.
29. Регулирование частоты вращения электроприводов. Диапазон регулирования. Плавность регулирования. Жесткость характеристик. Зависимость момента и мощности от угловой скорости при различных способах регулирования.
30. Регулирование частоты вращения ДПТ независимого возбуждения изменением сопротивления в цепи якоря.
31. Регулирование частоты вращения ДПТ независимого возбуждения изменением магнитного потока.
32. Замкнутая система преобразователь - двигатель с положительной обратной связью по току якоря.
33. Способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей.
34. Регулирование частоты вращения АД с короткозамкнутым ротором изменением напряжения на обмотке статора.
35. Регулирование частоты вращения АД изменением числа пар полюсов.
36. Системы преобразования частоты тока для регулируемого электропривода.
37. Регулирование частоты вращения АД введением сопротивления в цепи ротора.

38. Импульсное регулирование АД.
39. Нагрев и охлаждение электродвигателей. Понятие установившегося, допустимого и номинального превышения температуры. Уравнение нагрева и охлаждения электродвигателей.
40. Влияние температуры окружающей среды и конструктивных параметров на номинальную мощность электродвигателя. Зависимость установившегося превышения температуры двигателя от нагрузки.
41. Факторы, определяющие величину нагрева двигателя. Коэффициент потерь.
42. Классификация режимов работы по ГОСТ 183 - 66.
43. Постоянная времени нагрева и способы ее определения.
44. Определение мощности электродвигателя, работающего при кратковременном режиме работы.
45. Расчет мощности электродвигателей, работающих в продолжительном режиме по методу средних потерь.
46. Расчет мощности электродвигателей, работающих в продолжительном режиме по методу эквивалентных тока, момента, мощности.
47. Аппаратура ручного управления. Устройство, принцип работы.
48. Контакторы постоянного и переменного тока. Устройство, принцип работы.
49. Плавкие предохранители. Назначение, типы, устройства, принцип работы, защитные характеристики, выбор, недостатки.
50. Автоматические воздушные выключатели. Назначение, устройство, принцип работы.
51. Схема реверсивного магнитного пускателя с блокировкой размыкающими контактами контактора.
52. Типовые схемы управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Симоненко, А.С. Основы электропривода [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» очной и заочной форм обучения / сост. А.С. Симоненко. — Кострома : КГСХА, 2009. — 182 с.
2. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода [Текст] / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. — М. : Энергоиздат, 1981. — 576 с. : ил.
3. Электропривод и электрооборудование [Текст] : учебник для вузов / Коломиец А.П. ; Кондратьева Н.П. ; Владыкин И.Р. ; Юран С.И. - М: КолосС, 2006. - 328 с
4. Шичков Л.П. Электрический привод [Текст] : учебник для вузов / Л. П. Шичков. - М : КолосС, 2006. - 279 с.
5. Фролов Ю.М. Основы электрического привода. Краткий курс [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - М : КолосС, 2007. - 252 с.
6. Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу [Текст] : учеб. пособие для сред. проф. образования / М. М. Кацман. - 4-е изд., стереотип. - М : Академия, 2008. - 256 с.
7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием [Текст] : учебник для вузов / Г. Г. Соколовский. - М : Академия, 2006. - 272 с.
8. Москаленко В.В. Электрический привод [Текст] : учебник для вузов / В. В. Москаленко. - М : Академия, 2007. - 368 с.
9. Онищенко Г.Б. Электрический привод [Текст] : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. - М : Академия, 2006. - 288 с.
10. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. - М : Академия, 2008. - 208 с.
11. Епифанов А.П. Основы электропривода [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. П. Епифанов. - СПб : Лань, 2008, 2009. - 192 с.
12. Онищенко Г.Б. Электрический привод [Текст] : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. - 2-е изд., стер. - М : Академия, 2008. - 288 с.
13. Епифанов, А.П. Электропривод в сельском хозяйстве [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. П. Епифанов, А. Г. Гущинский. - СПб : Лань, 2010. - 224 с.
14. Фролов, Ю.М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - СПб : Лань, 2012. - 368 с.
15. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / Г. В. Никитенко. -

- 2-е изд., испр. и доп. - Электрон. дан. - СПб : Лань, 2013. - 224 с. : ил. - (Учебник для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: <http://e.lanbook.com>. - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-8114-1468-0.
16. Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. В. Никитенко. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб : Лань, 2013. - 224 с.
 17. Крылов, Ю.А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Крылов, А. С. Карандаев. - СПб : Лань, 2013. - 176 с.
 18. Электропривод [Текст] : лаборатор. практикум для студентов направлений подготовки 110800.62 "Агроинженерия" и 140400.62 "Электроэнергетика и электротехника" очной и заочной формы обучения / Костромская ГСХА ; Васильков А.А. ; Бушуев И.В. - Караваево : КГСХА, 2013. - 34 с.
 19. Фролов, Ю.М. Проектирование электропривода промышленных механизмов [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Электрон. дан. - СПб : Лань, 2014. - 448 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: <http://e.lanbook.com>. - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-8114-1571-7.
 20. Электропривод [Электронный ресурс] : лаборатор. практикум для студентов направлений подготовки 110800.62 "Агроинженерия" и 140400.62 "Электроэнергетика и электротехника" очной и заочной формы обучения / Костромская ГСХА. Каф. электропривода и электротехнологии ; Васильков А.А.; Бушуев И.В. // Учебно-методические издания факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства. - КГСХА, 2013. - Режим доступа: <http://lib.ksaa.edu.ru/marcweb>, требуется регистрация. - Загл. с этикетки диска. - Электрон. дан. (1 файл).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Задание для контрольной работы

Вариант, №	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	P_4 , кВт	P_5 , кВт	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	t_5 , мин	$\eta_{пер}$	$n_{рмв}$ об/мин	$M_{рмв}$ Нм	$J_{рмв}$ кг·м ²	a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01	0,3	0,4	7,0	0,3	2	10	8	12	20	13	0,6	1470	1,6	0,02	2
02	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	14	8	22	18	16	0,6	2800	0,60	0,01	0
03	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	12	10	20	8	13	0,8	2700	0,40	0,07	1
04	5,0	5,8	0,1	3	3	15	18	24	10	17	0,9	2850	12	0,07	2
05	5	8	5	4	6	20	15	22	26	21	0,9	1470	32	0,01	1
06	7	16	0,1	14	9	15	18	22	24	20	0,9	1420	70	0,04	2
07	13	12	4,6	10	10	22	13	28	16	20	0,9	960	70	0,08	1
08	8	24	6	16	14	24	18	10	16	17	0,9	1460	100	0,06	2
09	18	33	10	16	19	20	20	18	26	21	0,9	1480	140	0,04	1
10	28	40	6	10	21	18	16	24	20	20	0,8	1430	170	0,26	2
11	30	50	10	20	28	20	20	22	18	20	0,8	1400	200	0,03	1
12	40	6,6	20	4	18	15	16	20	22	18	0,6	1440	35	0,01	2
13	5	1,7	20	1,3	7	16	18	14	6	14	0,9	1460	65	0,38	2
14	1	3,2	30	1	9	18	12	20	24	19	0,8	2700	60	0,06	1
15	2,6	4,2	4,5	3	4	20	20	22	24	22	0,9	2800	8	0,65	1
16	3,6	1,6	0,8	1,6	2	16	16	10	20	16	0,8	1460	6,2	0,32	0
17	1,0	3,2	1,8	1	2	16	16	20	10	16	0,8	2700	6,2	0,06	1
18	2,8	6	2,8	3	4	16	18	20	22	19	0,7	2850	13	0,07	0
19	5	4	0,8	3	3	16	20	12	20	17	0,9	1460	25	0,07	0
20	6	30	2	15	13	15	20	25	30	23	1,0	960	25	0,26	1
21	40	3,8	4	4	13	16	20	25	30	23	0,7	1460	16	0,06	2
22	4,5	0,4	5	2,2	3	18	16	20	26	20	0,8	1470	1,4	0,18	0
23	0,3	0,3	2,0	0,1	1	12	16	18	20	17	0,8	960	2,2	0,02	2
24	0,4	2	2,6	0,8	1	20	10	15	22	17	1	2700	3,2	0,38	1

Продолжение таблицы приложения А

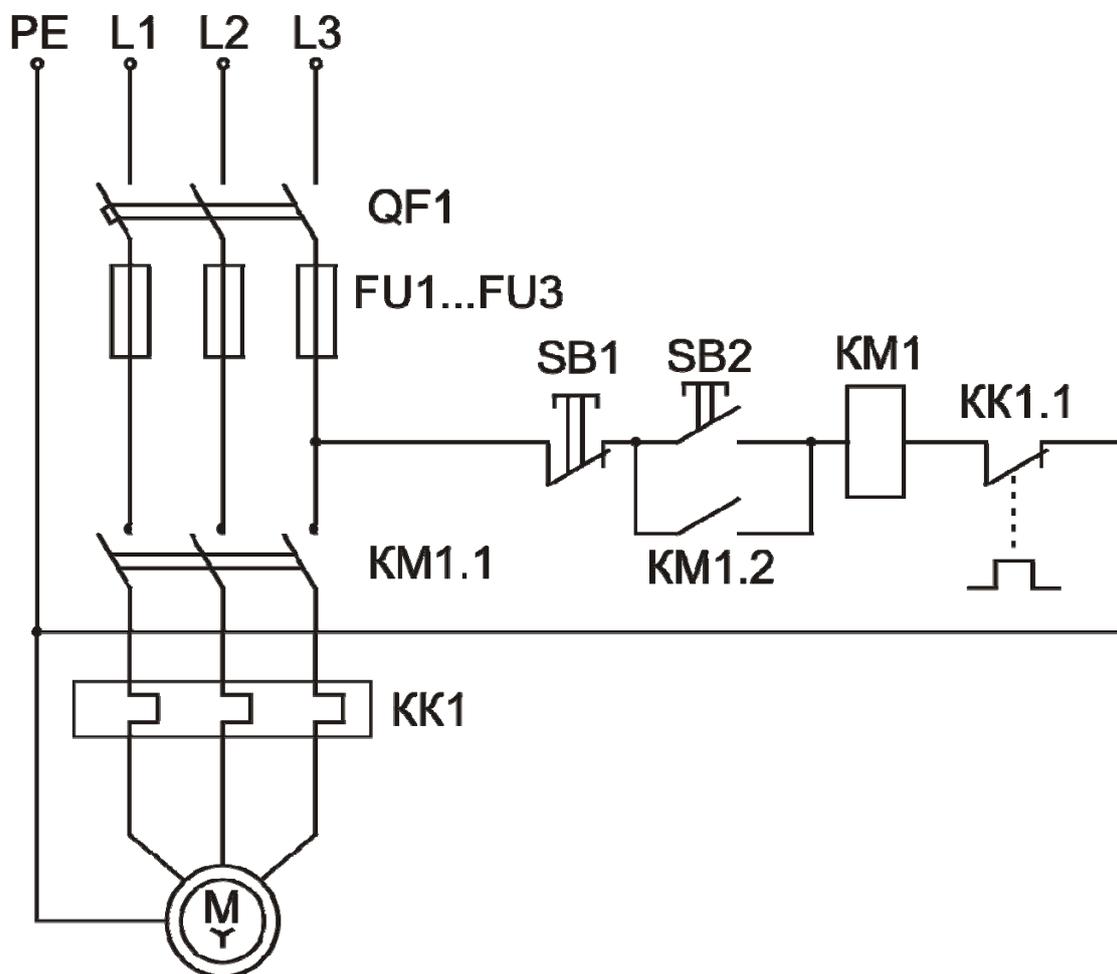
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	1	20	0,2	10	8	18	20	22	26	22	1	1460	100	0,06	2
26	24	28	0,2	15	17	10	15	18	20	16	0,9	1480	140	0,04	1
27	33	3	1,4	2	10	16	20	18	24	20	0,8	2700	10	0,6	2
28	5	12	18	6	10	18	16	20	22	19	1	960	66	0,06	1
29	8	6	20	5	10	10	14	16	22	16	0,9	1470	35	0,08	0
30	8	10	4	12	9	12	20	24	18	19	1	1420	60	0,04	1
31	18	10	10	4	11	12	16	20	22	18	0,9	960	66	0,09	2
32	12	0,4	4	0,4	4	18	12	16	20	17	0,9	1470	1,6	0,02	1
33	0,3	6	8	5	5	12	16	20	18	17	0,9	2700	18	0,01	1
34	8	14	8	12	11	12	14	20	12	15	0,9	1420	70	0,04	0
35	18	40	0,2	20	20	15	16	20	22	18	1	1400	200	0,03	1
36	50	6	4	3	16	18	20	24	15	19	0,9	1440	30	0,01	0
37	7	10	10	12	10	12	20	24	18	19	1	1420	70	0,04	1
38	18	4	30	4	14	12	14	16	20	16	1	1460	16	0,65	0
39	5	0,4	4	0,5	2	20	16	18	18	18	0,9	2700	0,8	0,04	2
40	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	22	12	25	8	17	0,6	960	2,4	0,02	1
41	0,3	0,4	7,0	0,3	2	10	8	12	20	13	0,6	1470	1,6	0,02	2
42	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	14	8	22	18	16	0,6	2800	0,60	0,01	0
43	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	12	10	20	8	13	0,8	2700	0,40	0,07	1
44	5,0	5,8	0,1	3	3	15	18	24	10	17	0,9	2850	12	0,07	2
45	5	8	5	4	6	20	15	22	26	21	0,9	1470	32	0,01	1
46	7	16	0,1	14	9	15	18	22	24	20	0,9	1420	70	0,04	2
47	13	12	4,6	10	10	22	13	28	16	20	0,9	960	70	0,08	1
48	8	24	6	16	14	24	18	10	16	17	0,9	1460	100	0,06	2
49	18	33	10	16	19	20	20	18	26	21	0,9	1480	140	0,04	1
50	28	40	6	10	21	18	16	24	20	20	0,8	1430	170	0,26	2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Технические данные электродвигателей серии 4А
основного исполнения

Тип	P _н ,кВт	I _н ,А	n _н ,об/мин	cosφ _н	η _н ,%	i _н	μ _н	μ _к	μ _м	J _{дв} , ² кг·м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4А50А4У3	0,06	0,31	1380	0,60	50	2,5	2,0	2,2	1,7	29·10 ⁻⁶
4А50А4У3	0,09	0,42	1370	0,60	55	2,5	2,0	2,2	1,7	33·10 ⁻⁶
4А56А4У3	0,12	0,44	1375	0,66	63	3,5	2,1	2,2	1,5	0,00070
4А56В4У3	0,18	0,66	1365	0,64	64	3,5	2,1	2,2	1,5	0,00079
4А6ЭА4У3	0,95	0,85	1380	0,66	68	4	2,0	2,2	1,5	0,0012
4А6ЭВ4У3	0,37	1,2	1365	0,69	68	4	2,0	2,2	1,5	0,0014
4А71А4У3	0,55	1,7	1390	0,70	70,5	4,5	2,0	2,2	1,8	0,0013
4А71В4У3	0,75	2,17	1390	0,73	72	4,5	2,0	2,2	1,8	0,0014
4А80А4У3	11	2,76	1420	0,81	75	5	2,0	2,2	1,6	0,0032
4А80В4У3	1,5	3,57	1415	0,83	77	5	2,0	2,2	1,6	0,0033
4А90А4У3	2,2	5,02	1425	0,83	80	6	2,1	2,4	1,6	0,0056
4А100А4У3	3,0	6,7	1435	0,83	82	6	2,0	2,4	1,6	0,0087
4А110А4У3	4,0	8,6	1430	0,84	84	6	2,0	2,4	1,6	0,011
4А112М4У3	5,5	11,5	1445	0,85	84,5	7	2,0	2,2	1,6	0,017
4А132А4У3	7,5	15,1	1455	0,86	87,5	7,5	2,2	3,0	1,7	0,028
4А132М4У3	11	22	1460	0,87	87,5	7,5	2,3	3,0	1,7	0,04
4А1.60А4У3	15	29,3	1465	0,88	89	7	1,4	2,3	1,0	0,10
4А160М4У3	18,5	35,7	1465	0,88	90	7	1,4	2,3	1,0	0,13
4А180А4У3	22	41,3	1470	0,90	90	6,5	1,4	2,3	1,0	0,18
4А180М4У3	30	56	1470	0,89	91	6,5	1,4	2,3	1,0	0,23
4А200М4У3	37	68,8	1475	0,90	91	7	1,4	2,5	1,0	0,37
4А200А4У3	45	82,6	1475	0,90	92	7	1,4	2,5	1,0	0,45
1А225М4У3	55	100	1480	0,90	92,5	7	1,3	2,5	1,0	0,64
4А250А4У3	75	136	1480	0,80	93	7	1,2	2,3	1,0	1,0
4А250М4У3	90	162	1480	0,91	93	7	1,2	2,3	1,0	1,2
4А280А4У3	110	201	1470	0,90	82,5	5,5	1,2	2,0	1,0	2,3
4А280М4У3	132	240	1480	0,90	93	5,5	1,3	2,0	1,0	2,5
4А315А4У3	160	285	1480	0,91	93,5	6	1,3	2,2	1,9	3,1
4А315М4У3	200	351	1480	0,92	94	6	1,3	2,2	0,9	3,6
4А355А4У3	250	438	1485	0,92	94,5	7	1,2	2,0	0,9	6,0
4А355М4У3	315	549	1485	0,92	94,5	7	1,2	2,0	0,9	7,0

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Схема автоматического управления асинхронным 3-х фазным электродвигателем



Учебно-методическое издание

Электропривод и электрооборудование : методические рекомендации по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Технический сервис в агропромышленном комплексе» заочной формы обучения / сост. А.А. Васильков. — Караваяво : Костромская ГСХА, 2015. — 25 с.

Методические рекомендации издаются в авторской редакции.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваяво, уч. городок, д. 34, КГСХА

Компьютерный набор. Подписано в печать 14/12/2015.
Заказ №1209. Формат 84х60/16. Тираж 80 экз. Усл.
печ. л. 2,16. Бумага офсетная. Отпечатано 30/12/2015.
Цена 20,00 руб.

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе. Качество соответствует предоставленным оригиналам.
вид издания: авторская редакция (электронная версия)
(редакция от 24.11.2015 № 1176 тит)

Цена 20,00 руб.



2015*1209