Практическая работа №5

Исполнительные устройства. Выбор электродвигателя, коммутационной аппаратуры и исполнительного механизма

Цель работы: изучить виды исполнительных устройств систем автоматики, научиться рассчитывать мощность и номинальный ток электродвигателя рабочей машины, выбирать контактор и тепловое реле, исполнительный механизм регулирующего органа, а также читать схему управления двигателем с самоподхватом.

Оборудование и программное обеспечение: калькулятор или табличный редактор (Microsoft Excel, LibreOffice Calc).

Краткие теоретические сведения

Виды исполнительных устройств

Исполнительное устройство преобразует управляющий сигнал в механическое воздействие на объект. По виду используемой энергии различают электрические (электродвигатели, электромагниты, электрические исполнительные механизмы), пневматические (мембранные и поршневые приводы) и гидравлические исполнительные устройства. Исполнительное устройство вместе с регулирующим органом (клапаном, заслонкой, задвижкой) образует исполнительный механизм в широком смысле.

Электродвигатели рабочих машин (насосов, вентиляторов, конвейеров) включаются и отключаются коммутационными аппаратами: контактором (электромагнитным аппаратом для частых дистанционных включений) и защищаются автоматическим выключателем и тепловым реле. Для плавного изменения положения регулирующих органов применяют однооборотные электрические исполнительные механизмы (МЭО): электродвигатель с редуктором, выходной вал которого поворачивается на 90°, датчиком положения и концевыми выключателями.

Мощность двигателя рабочей машины

Мощность на валу механизма поступательного движения (конвейер, подъёмник) и насоса:

$$P_{мех} = F \cdot v / \eta_{пер}, \quad P_{нас} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta_{нас},$$

где F — тяговое усилие, Н; v — скорость, м/с; $\eta_{пер}$ — КПД передачи; ρ — плотность жидкости (вода — 1 000 кг/м³); $g = 9{,}81$ м/с²; Q — подача, м³/с; H — напор, м; $\eta_{нас}$ — КПД насоса. Расчётная мощность двигателя $P_{расч} = k_з \cdot P_{мех}$, где $k_з = 1{,}1\ldots1{,}3$ — коэффициент запаса. Двигатель выбирают из стандартного ряда мощностей (кВт): 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22 — ближайший больший номинал.

Пример расчёта. Конвейер: $F = 2\,000$ Н, $v = 1{,}0$ м/с, $\eta_{пер} = 0{,}85$, $k_з = 1{,}2$. $P_{мех} = 2\,000 \cdot 1{,}0 / 0{,}85 = 2\,353$ Вт; $P_{расч} = 1{,}2 \cdot 2{,}353 = 2{,}82$ кВт; выбираем двигатель 3,0 кВт. Насос: $Q = 0{,}005$ м³/с, $H = 20$ м, $\eta_{нас} = 0{,}65$, $k_з = 1{,}15$. $P_{нас} = 1\,000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}005 \cdot 20 / 0{,}65 = 1\,509$ Вт; $P_{расч} = 1{,}74$ кВт; выбираем 2,2 кВт.

Номинальный и пусковой ток трёхфазного двигателя

Номинальный ток асинхронного двигателя мощностью Pн при линейном напряжении U

$$I_н = P_н / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{дв}),\ \ I_п = k_п \cdot I_н,$$

где cosφ — коэффициент мощности, ηдв — КПД двигателя (обе величины указаны в паспорте), kп = 5…7,5 — кратность пускового тока.

Пример расчёта. Двигатель 3,0 кВт, U = 400 В, cosφ = 0,84, ηдв = 0,85, kп = 7. Iн = 3 000 / (1,732 · 400 · 0,84 · 0,85) = 6,06 А; Iп = 7 · 6,06 = 42,4 А.

Выбор контактора и теплового реле

Контактор для управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором выбирают по номинальному току в категории применения АС-3 (пуск двигателя и отключение вращающегося двигателя): Iк.АС-3 ≥ Iн. Стандартный ряд номинальных токов контакторов АС-3 (А): 9; 12; 18; 25; 32; 40; 50; 65; 80. Контактор, выбранный по категории АС-3, выдерживает пусковой ток двигателя. Напряжение катушки контактора выбирают равным напряжению цепи управления.

Тепловое реле защищает двигатель от длительной перегрузки. Ток уставки реле устанавливают равным номинальному току двигателя, а реле выбирают так, чтобы этот ток находился внутри его диапазона регулирования. Ток, потребляемый катушкой реле или контактора постоянного тока, I = U / Rк; мощность P = U · I.

Пример расчёта. Для двигателя с Iн = 6,06 А выбираем контактор 9 А (АС-3) и тепловое реле с диапазоном уставки 5,5…8 А, уставка 6,1 А. Промежуточное реле с катушкой 24 В и сопротивлением 480 Ом потребляет I = 24 / 480 = 0,05 А, P = 24 · 0,05 = 1,2 Вт.

Схема управления с самоподхватом

Типовая схема нереверсивного пуска двигателя показана на рисунке 1. При нажатии кнопки SB2 «Пуск» (замыкающий контакт) ток проходит через катушку контактора KM, контактор срабатывает, его главные контакты в силовой цепи подключают двигатель к сети, а вспомогательный замыкающий контакт KM, включённый параллельно кнопке SB2, шунтирует её. После отпускания SB2 катушка остаётся под напряжением через этот контакт — схема «помнит» команду (самоподхват, самоблокировка). Нажатие кнопки SB1 «Стоп» (размыкающий контакт) или срабатывание теплового реле KK разрывает цепь катушки, контактор отключается, контакт самоподхвата размыкается, и двигатель не включится повторно без нового нажатия SB2. Это также защищает от самопроизвольного пуска после восстановления пропавшего напряжения.

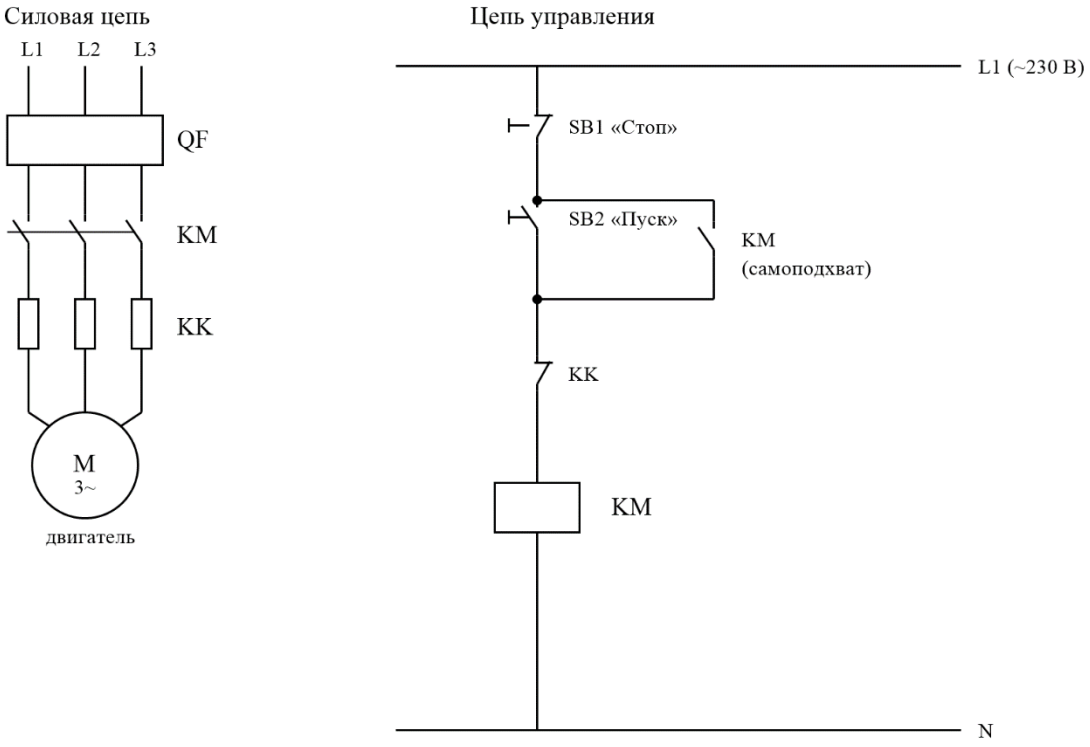


Рисунок 1 – Схема нереверсивного пуска асинхронного двигателя с самоподхватом

Выбор электрического исполнительного механизма

Однооборотный механизм выбирают по номинальному моменту на выходном валу и времени полного хода. Номинальный момент механизма должен превышать момент, необходимый для перестановки регулирующего органа, с запасом:

$$M_{им} \geq k_з \cdot M_{ро},$$

где $k_з = 1{,}3 \ldots 1{,}5$. Время перемещения регулирующего органа из положения x_1 в положение x_2 (в процентах полного хода) при времени полного хода $T_п$:

$$t = T_п \cdot |x_2 - x_1| / 100\ \%.$$

Для расчётов в работе используется условный типовой ряд однооборотных механизмов (таблица 1); в реальном проекте данные берут из каталога выбранного производителя.

Таблица 1 – Условный типовой ряд однооборотных исполнительных механизмов

Обозначение	Номинальный момент, Н·м	Время полного хода, с	Полный ход, оборота
ИМ-16/10	16	10	0,25
ИМ-40/25	40	25	0,25
ИМ-100/25	100	25	0,25
ИМ-250/63	250	63	0,25
ИМ-630/63	630	63	0,25

Пример расчёта. Для поворотной заслонки $M_{ро} = 60$ Н·м, $k_з = 1{,}5$: $M_{им} \geq 90$ Н·м, выбираем ИМ-100/25. Перемещение заслонки с 20 % до 70 % открытия займёт $t = 25 \cdot 50 / 100 = 12{,}5$ с.

Порядок выполнения работы

Шаг 1. Мощность двигателя

По данным карточки варианта рассчитайте мощность на валу рабочей машины и расчётную мощность двигателя. Выберите двигатель из стандартного ряда мощностей.

Шаг 2. Номинальный и пусковой ток

Для выбранного двигателя рассчитайте номинальный и пусковой токи.

Шаг 3. Коммутационная аппаратура

Выберите контактор по категории АС-3 и определите ток уставки теплового реле. Рассчитайте ток и мощность катушки промежуточного реле с параметрами из карточки варианта.

Шаг 4. Схема управления

Начертите схему пуска двигателя с самоподхватом (рисунок 1), обозначьте на ней выбранные аппараты. Опишите последовательность срабатывания аппаратов при пуске, при останове кнопкой и при перегрузке двигателя. Ответьте, что произойдёт при кратковременном исчезновении напряжения сети.

Шаг 5. Исполнительный механизм регулирующего органа

Выберите исполнительный механизм для регулирующего органа из карточки варианта по таблице 1 и рассчитайте время его перемещения между заданными положениями.

Индивидуальное задание

Вариант 1 выполняют студенты с нечётным номером в списке группы, вариант 2 — с чётным. Выполните шаги 1–5 по данным карточки своего варианта.

Содержание отчёта

1) Тема и цель работы.
2) Расчёт и выбор двигателя.
3) Расчёт токов, выбор контактора и теплового реле, расчёт катушки реле.
4) Схема управления с описанием работы.
5) Выбор исполнительного механизма и расчёт времени перемещения.
6) Ответы на контрольные вопросы и выводы.

Контрольные вопросы

1) Какие виды исполнительных устройств применяются в системах автоматики?

2) Чем исполнительное устройство отличается от регулирующего органа?

3) Как рассчитать мощность двигателя насоса и конвейера? Зачем нужен коэффициент запаса?

4) Почему двигатель выбирают из стандартного ряда по ближайшей большей мощности?

5) Как рассчитывается номинальный ток трёхфазного двигателя? Почему пусковой ток больше номинального?

6) По какому току и в какой категории применения выбирают контактор для асинхронного двигателя?

7) Для чего служит тепловое реле и как выбирают ток его уставки?

8) Объясните работу схемы с самоподхватом. Как она защищает от самопроизвольного пуска?

9) По каким параметрам выбирают однооборотный исполнительный механизм?

10) Рассчитайте время перемещения регулирующего органа с 0 до 40 % при времени полного хода 63 с.

Вариант 1

Исходные данные	Значение
Рабочая машина	ленточный конвейер
Параметры рабочей машины	тяговое усилие F = 3 500 Н; скорость ленты v = 1,5 м/с; КПД передачи 0,88
Коэффициент запаса по мощности kз	1,2
Напряжение сети, В	400 (три фазы)
Паспортные данные двигателя	cosφ = 0,86; ηдв = 0,88; kп = 6,5
Промежуточное реле	катушка ~ 220 В, Rк = 4,4 кОм (активное сопротивление, для оценки)
Регулирующий орган	регулирующий клапан, Мро = 150 Н·м, kз = 1,5
Перемещение регулирующего органа	с 10 % до 85 %

Результат	Значение
Рмех / Ррасч / выбранный двигатель, кВт	
Iн / Iп, А	
Контактор (АС-3) / уставка теплового реле	
Ток / мощность катушки реле	
Исполнительный механизм / время перемещения, с	

Вариант 2

Исходные данные	Значение
Рабочая машина	центробежный насос (вода)
Параметры рабочей машины	подача Q = 0,012 м³/с; напор H = 25 м; КПД насоса 0,72
Коэффициент запаса по мощности kз	1,1
Напряжение сети, В	400 (три фазы)
Паспортные данные двигателя	cosφ = 0,87; ηдв = 0,89; kп = 7
Промежуточное реле	катушка = 24 В, Rк = 320 Ом
Регулирующий орган	поворотная заслонка, Mро = 30 Н·м, kз = 1,5
Перемещение регулирующего органа	с 30 % до 60 %

Результат	Значение
Рмех / Ррасч / выбранный двигатель, кВт	
Iн / Iп, А	
Контактор (АС-3) / уставка теплового реле	
Ток / мощность катушки реле	
Исполнительный механизм / время перемещения, с	