



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

# **РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2006

УДК 621.87(075.8)  
ББК 31.261.2я73  
Р36

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого*

Авторы-составители: *Л. В. Веппер, В. В. Логвин*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*О. Г. Широков*

Р36

**Релейно-контакторные системы управления и защиты автоматизированных электроприводов** : лаб. практикум по одному. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: Л. В. Веппер, В. В. Логвин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 61 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

В лабораторном практикуме рассмотрены теоретические вопросы, необходимые для выполнения лабораторных работ; предлагаются доступные к пониманию конкретные примеры, которые иллюстрируют подход к выполнению лабораторных работ.

Для студентов специальности 1-53 01 05 дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.87(075.8)  
ББК 31.261.2я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2006

## РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Под управлением электроприводом понимается пуск его в работу, регулирование скорости, реверсирование, торможение, а также поддержание постоянства заданной скорости, момента, мощности или другой какой-либо величины, обеспечивающей технологический процесс рабочей машины. Если управление электроприводом осуществляется с помощью аппаратов ручного управления (рубильников, кнопочных или пакетных выключателей, контроллеров и т.п.), то имеет место неавтоматическое (ручное) управление. Электропривод, управляемый таким способом, называется неавтоматизированным. Если же при управлении электроприводом человек участвует только в подаче начального управляющего воздействия, а остальное действие по управлению осуществляют различные аппараты (реле, контакторы, логические и бесконтактные устройства), то такой управляемый электропривод называется автоматизированным.

В зависимости от типа используемых регулирующих устройств автоматики системы управления могут быть: а) релейно-контакторными; б) с усилителями (электромашинные, электронные, магнитные, полупроводниковые); в) с преобразователями (электромашинные, полупроводниковые); г) комбинированными.

Наиболее распространенной операцией является пуск электродвигателей, который производится в функции: а) скорости; б) тока; в) времени; г) пути.

Первый способ основан на непосредственном или косвенном измерении скорости. Более просто и надежно осуществляется косвенный контроль скорости по значению ЭДС в обмотке якоря двигателя постоянного тока или частоте в обмотке ротора двигателей переменного тока.

*Управление в функции ЭДС.* При таком управлении контакторы или реле ускорения срабатывают в зависимости от изменения ЭДС двигателя в процессе разгона. При нажатии кнопки SB1 «Пуск» включается линейный контактор КМ(рис.1), подключающий двигатель к сети при полностью введенном пусковом сопротивлении. Одновременно вспомогательный контакт КМ2 шунтирует кнопку, чем обеспечивается питание контактора после её отпускания. По мере разгона двигателя увеличивается ЭДС в обмотке якоря, уменьшается ток в нем и растет напряжение на его зажимах. При определенной частоте вращения  $\omega_1$  оно достигает значения, при котором срабатыва-

ет реле напряжения KV1, шунтирующее первую пусковую ступень R<sub>1</sub>. В этот момент скачком возрастают ток в якоре и вращающий момент, что вызывает дальнейшее увеличение скорости. При  $\omega_2$  срабатывает KV2, шунтирующее ступень R<sub>2</sub>.

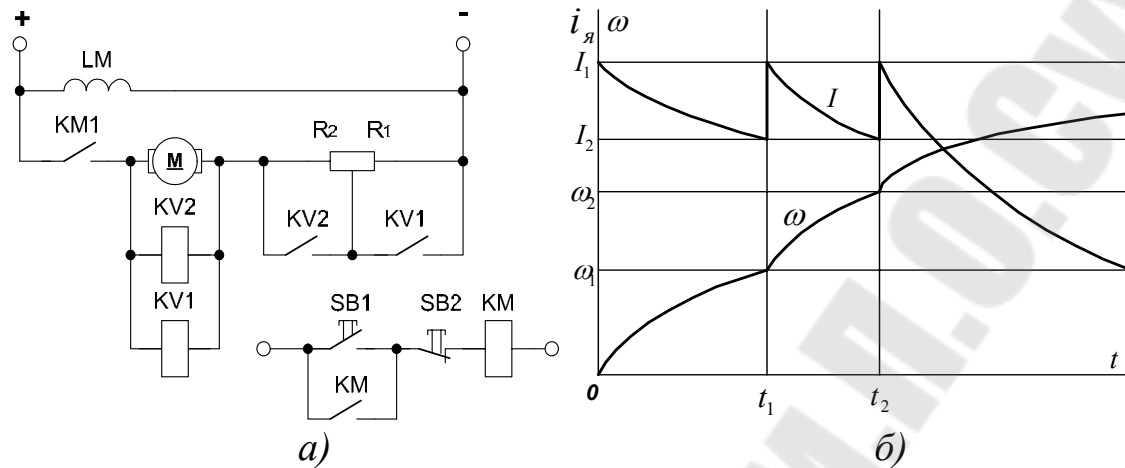


Рис. 1. Схема управления пуском двигателя постоянного тока в функции ЭДС (а) и пусковая диаграмма (б)

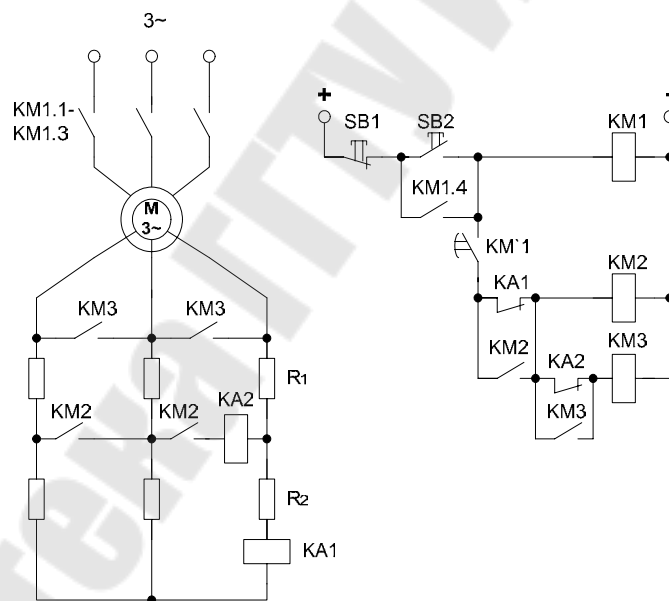


Рис. 2. Схема управления пуском асинхронного двигателя в функции тока

*Управление в функции тока.* На рис.2 показана схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции тока. При нажатии кнопки SB1 «Пуск» срабатывает контактор KM1, подающий питание на обмотку статора двигателя и шунтирующий кнопку. В роторе появляется большой пусковой ток, вызывающий срабатывание реле тока KA1, которое размыкает свои контакты. Этим предотвраща-

ется включение контакторов КМ2, КМ3 после замыкания с выдержкой времени контакта КМ'1. По мере разгона уменьшается ток в роторе, и при определенном его значении реле КА1 отпустит якорь. Включается контактор КМ2, который шунтирует первую ступень пускового сопротивления вместе с реле КА1.

После броска ток в роторе вторично начинает уменьшаться и наступит момент, когда отпадет якорь реле КА2. Это приведет к срабатыванию контактора КМ3 и шунтированию второй пусковой ступени.

*Управление в функции времени.* Контакторы ускорения (реле напряжения и тока) нужно включать в определенные моменты времени, когда ток спадает до нужного значения (рис. 1,2).

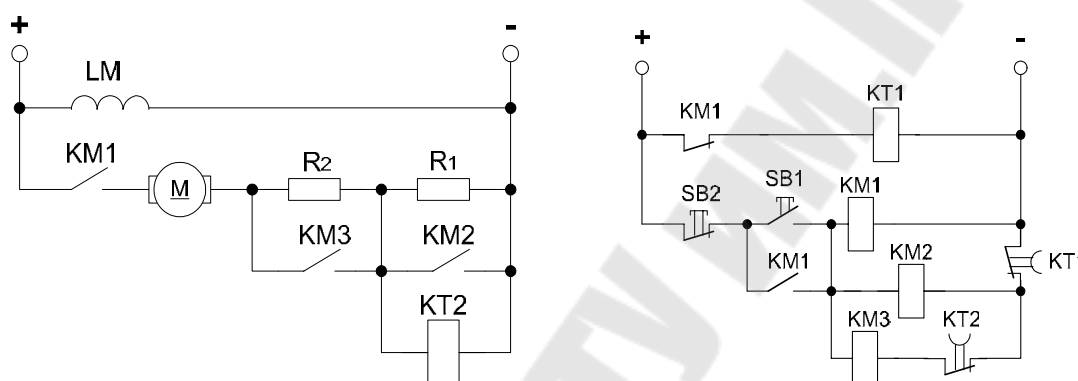


Рис. 3. Схема управления пуском двигателя постоянного тока в функции времени

На рис. 3 показана схема пуска двигателя постоянного тока в функции времени. Включение цепи управления вызывает срабатывание реле времени КТ1, которое размыкает свои контакты и предотвращает подачу питания на контакторы КМ2 и КМ3. При нажатии кнопки SB1 «Пуск» контактор КМ1 подключает якорь двигателя к сети и отключает реле КТ1. Падение напряжения от пускового тока на сопротивлении  $R_1$  вызывает срабатывание реле КТ2, которое размыкает свой контакт. С определенной выдержкой времени замыкается контакт КТ1, и контактор КМ2 шунтирует ступень  $R_1$  вместе с катушкой реле КТ2. Последнее с выдержкой времени замыкает свой контакт, что приводит к шунтированию ступени  $R_2$ .

Управление в функции времени получило широкое применение в современных электроприводах постоянного и переменного тока благодаря своим достоинствам: простоте схемы, надежности и независимости её работы от колебаний нагрузки или напряжения сети.

## Лабораторная работа №1

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПУСКА, ТОРМОЖЕНИЯ И РЕВЕРСА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КЗ РОТОРОМ В ФУНКЦИИ СКОРОСТИ

**Цель работы:** изучение релейно-контакторной схемы пуска, торможения противовключением и реверса асинхронного двигателя с КЗ ротором в функции скорости и ознакомление с конструкцией и принципом действия реле контроля скорости.

#### Основные теоретические положения

В релейно-контакторных схемах управления электроприводами переменного тока в функции скорости наряду с реле напряжения используют реле контроля скорости (РКС). Это реле переключает свои контакты в начале вращения двигателя и возвращает их в исходное положение, когда скорость приближается к нулевой. В связи с этим РКС используют для контроля остановки двигателя при различных видах торможения.

#### Построение естественной механической характеристики и характеристики торможения противовключением

Построение механических характеристик рассмотрим на примере.

*Пример:* Рассчитать и построить естественную механическую характеристику и характеристику торможения противовключением для АД с КЗ ротором 4А160S4У3. Исходные данные (берутся из справочника):

$$P_n = 15 \text{ кВт}; n_n = 1465 \text{ об/мин}; I_{1n} = 29,3 \text{ А}; \lambda_n = \frac{M_\kappa}{M_n} = 2,3; 2p = 4;$$

$$f_{1n} = 50 \text{ Гц}; U_{1n} = 380 \text{ В}.$$

#### Решение

1. Зная номинальную частоту вращения двигателя  $n_n$ , рассчитаем номинальную угловую скорость  $\omega_n$  и скорость идеального холостого хода  $\omega_0$

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1465}{30} = 153 \text{ рад/с},$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{p_e} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с.}$$

2. Определим номинальные момент и скольжение двигателя

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15 \cdot 10^3}{153} = 98 \text{ Н·м,}$$

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{157 - 153}{157} = 0,025.$$

3. Определим критический (максимальный) момент двигателя и критическое скольжение

$$M_K = \lambda_M \cdot M_H = 2,3 \cdot 98 = 225 \text{ Н·м;}$$

$$s_K = s_H (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0,025(2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,11.$$

4. Для построения характеристик используем упрощенную формулу Клосса  $M = \frac{2M_K}{s/s_K + s_K/s}$ . Задаваясь рядом значений скольжения  $s$  от 0 до 1 (двигательный режим) и  $s > 1$  (тормозной режим) рассчитываем моменты. Величину угловой скорости можно определить по формуле  $\omega = \omega_0(1 - s)$ . Результаты расчета сведем в табл. 1. Искомые характеристики представлены на рис. 4.

Таблица 1

Двигательный режим									
$s, \text{ о.е.}$	0	0,01	$s_H = 0,025$	0,05	$s_K = 0,11$	0,2	0,6	0,8	1
$\omega, \text{ рад/с}$	157	155,4	153	145,2	139,7	125,6	62,8	31,4	0
$M, \text{ Н·м}$	0	40,5	97,3	169,5	225	190	79,8	60,7	49,8
Тормозной режим									
$s, \text{ о.е.}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0				
$\omega, \text{ рад/с}$	-31,4	-62,8	-92,4	-125,4	-157				
$M, \text{ Н·м}$	40,9	35,1	30,8	27,4	24,7				

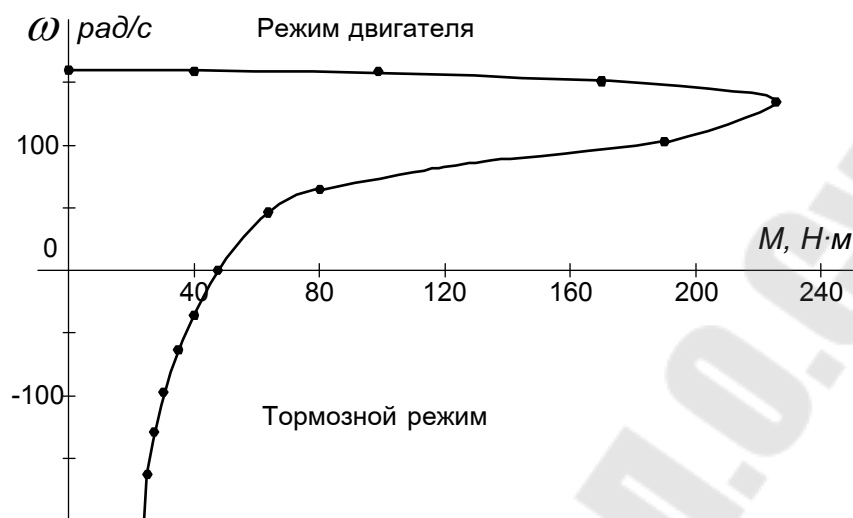


Рис. 4. Механическая характеристика двигателя

### Описание работы релейно-контакторной схемы (рис.5)

*Пуск «Вперед».* Включаем автомат QF. При нажатии на кнопку SB2 напряжение подается на катушку контактора КМ1 по цепи: фазаВ-FU2-SB1-K1.1-SB2-SB3-КМ2.5-катушка КМ1-FU1-фазаС. Контактор КМ1 срабатывает, при этом:

- замыкается контакт КМ1.4 (шунтируется кнопка SB2);
- замыкаются силовые контакты КМ1.1-КМ1.3 (на статор электродвигателя подается трехфазное напряжение);
- размыкается контакт КМ1.5 (блокировка от одновременного срабатывания контакторов КМ1 и КМ2);
- замыкается контакт КМ1.6 (подготавливается к включению промежуточное реле К1).

Двигатель начинает разгоняться и замыкается контакт 2KR реле контроля скорости Кп (вал реле Кп соединен с валом электродвигателя). Скорость электродвигателя достигает установившегося значения.

Пуск в другую сторону из неподвижного состояния осуществляется аналогично, при нажатии кнопки SB3.

*Торможение.* Двигатель вращается «Вперед» с установившейся скоростью. Нажимаем кнопку SB1, при этом:

- обесточивается катушка контактора КМ1 и все его контакты переключаются;
- подается напряжение на катушку промежуточного реле К1.



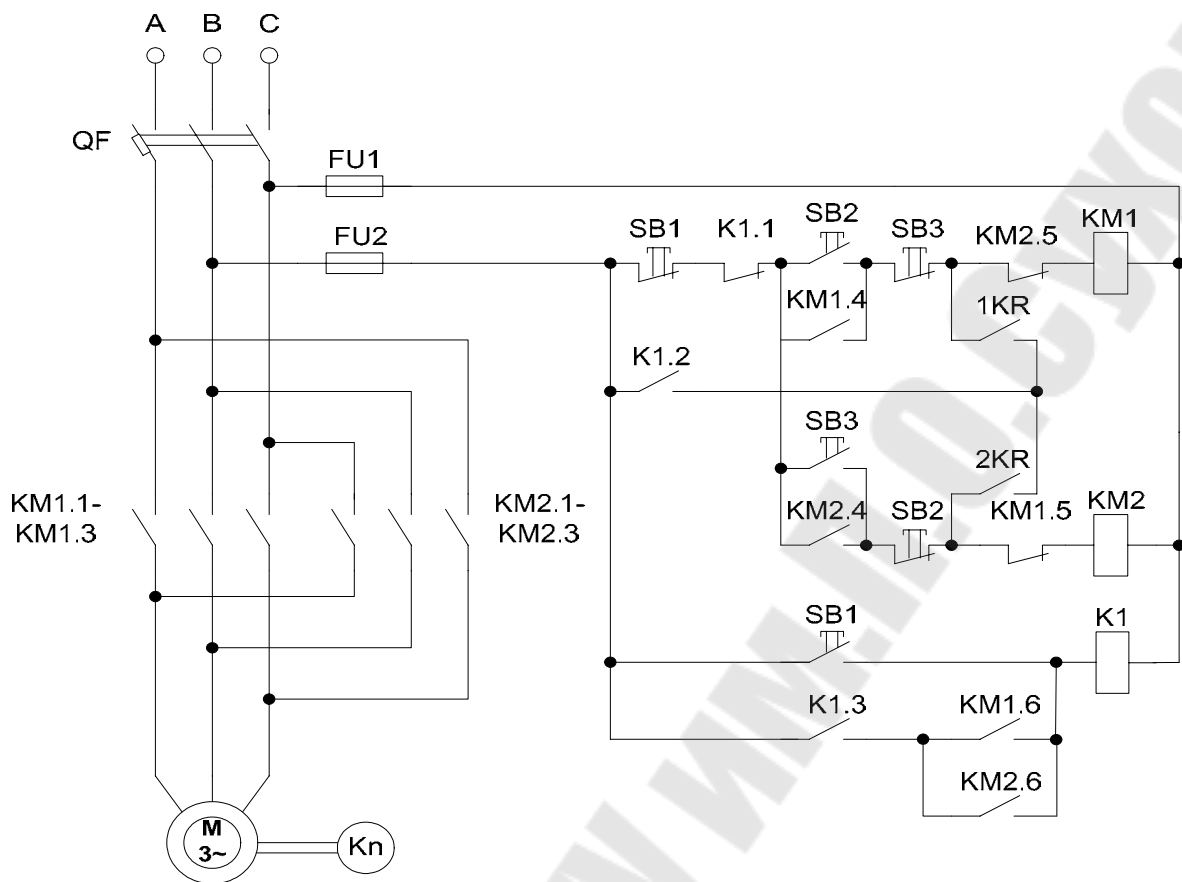


Рис. 5. Схема испытательной установки

Реле K1 срабатывает при этом :

- замыкается контакт K1.3 (шунтируется кнопка SB1);
- размыкается контакт K1.1 (предотвращает подачу питания на контактор KM2 после окончания торможения);
- замыкается контакт K1.2 (на катушку контактора KM2 подается питание по цепи: фаза В-FU2-K1.2-2KR-KM1.5-катушка KM2-FU1-фаза С).

Контактор KM2 срабатывает и на статор АД подается напряжение с чередованием фаз СВА. Начинается процесс торможения противовключением. Когда скорость двигателя станет близкой к нулю, размыкается контакт 2KR, контактор KM2 отключается, и статор двигателя отключается от сети.

*Реверсирование.* Двигатель вращается “Вперед” с установившейся скоростью. Нажимаем кнопку SB3, при этом:

- обесточивается катушка контактора KM1 и все его контакты переключаются;
- подается напряжение на катушку контактора KM2 по цепи: фаза В-FU2-SB1-K1.1-SB3-SB2-KM1.5-катушка KM2-FU1-фаза С.

Контактор КМ2 срабатывает и на статор двигателя подается напряжение с чередованием фаз СВА. Начинается процесс торможения противовключением. Двигатель тормозится до нулевой скорости, а затем начинает разгоняться в обратную сторону до установившейся скорости.

Защита электродвигателя от короткого замыкания и перегрузки осуществляется автоматом QF. Для защиты цепей управления от короткого замыкания используются предохранители FU1, FU2.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия РКС.
2. Ознакомится с исследуемым двигателем. Для этого необходимо выписать паспортные данные электродвигателя и по формуле Клосса построить естественную механическую характеристику и характеристику торможения противовключением (см. пример).
3. Изучить последовательность работы аппаратов и устройств при пуске, торможении и реверсе АД (по рис.5). Для этого необходимо заполнить табл.2. Знак «+» обозначает включение аппарата или перевод его в вынужденное состояние, а знак «-» – его отключение. Знаки  $\uparrow\downarrow$  с индексом изменяющейся величины означают, что эта величина растет или снижается.
4. Собрать схему по рис.5 и осуществить пуск, торможение и реверс электродвигателя. Проверить правильность заполнения табл. 2 по загоранию лампочек.
5. Определить, как изменяется время торможения двигателя при изменении нагрузки на валу. Для этого необходимо дополнительно собрать схему рис.6 и изменяя нагрузку определить время торможения.
6. Сделать выводы.

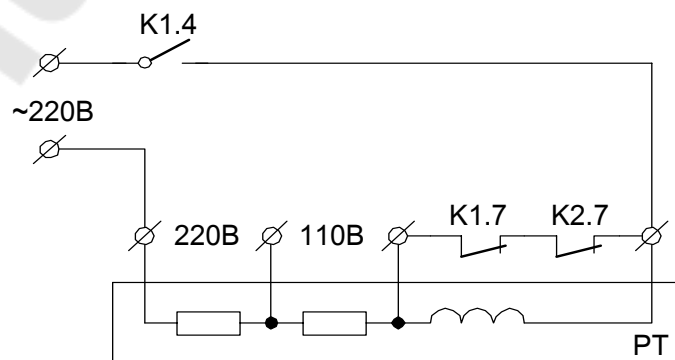


Рис. 6. Схема для определения времени торможения

Таблица 2

## Последовательность работы аппаратов и устройств

Состояние схемы	Аппараты или устройства													$\omega$ , рад/с		
	Контактор КМ1					Контактор КМ2					Реле К1				РКС Кп	
	КМ1 (кат.)	КМ1.1-1.3	КМ1.4	КМ1.5	КМ1.6	КМ2 (кат.)	КМ2.1-2.3	КМ2.4	КМ2.5	КМ2.6	К1 (кат.)	К1.1	К1.2		К1.3	КР
1.Исходное положение																
2.Пуск двигателя																
3.Окончание ускорения																
4.Торможение двигателя																
5. Окончание торможения																
6.Реверс двигателя																

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Естественная механическая характеристика и характеристика торможения противовключением.
3. Таблица последовательности работы аппаратов и устройств.
4. Релейно-контакторная схема управления АД с КЗ ротором в функции скорости.
5. Электрическая схема определения времени торможения электродвигателя.
6. Выводы по результатам исследований.

## Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия РКС.
2. Какие защиты от аварийных режимов предусмотрены в релейно-контакторной схеме?
3. Какие блокировки имеются в схеме?
4. Как осуществить пуск АД?
5. Как осуществить торможение АД?
6. Что произойдет в схеме, если при работающем электродвигателе нажать одновременно кнопки: SB1 и SB2; SB2 и SB3; SB3 и SB1.
7. Назначение промежуточного реле К1.
8. Как изменится работа релейно-контакторной схемы, если ошибочно не подключили следующие контакты: а) К1.1; б) КМ2.5; в) КМ1.5; г) К1.3 ?
9. Объясните назначение контактов КМ1.6, КМ2.6, КМ1.4, КМ2.4.
10. В чем отличие режимов торможения противовключением и реверса?
11. Почему при изменении порядка следования фаз начинается процесс торможения?

## *Лабораторная работа №2*

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПУСКА, ТОРМОЖЕНИЯ И РЕВЕРСА ДПТ В ФУНКЦИИ ЭДС**

**Цель работы:** изучение релейно-контакторной схемы управления пуском, торможением и реверсом ДПТ параллельного возбуждения в функции ЭДС.

#### **Основные теоретические положения**

В релейно-контакторных схемах управления электроприводами постоянного тока в функции скорости используются реле напряжения, катушки которых подключают параллельно якорю двигателя. По мере разгона ЭДС якоря возрастает в соответствии с выражением  $E = c\omega\Phi$ , реле напряжения последовательно срабатывают при определенных напряжениях и подают сигналы на включение силовых аппаратов.

#### **Построение пусковых и тормозных характеристик**

Построение пусковых и тормозных характеристик рассмотрим на примере.

*Пример:* ДПТ параллельного возбуждения с параметрами  $P_n=75 \text{ кВт}$ ,  $U_n=220 \text{ В}$ ,  $I_n=380 \text{ А}$ ,  $n_n=900 \text{ об/мин}$ , используется для автоматизации пуска, реверса и торможения в функции ЭДС (рис. 7).

Для данного двигателя необходимо:

- 1) рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
- 2) рассчитать и построить две искусственные характеристики и характеристику торможения противовключением;
- 3) рассчитать пусковые и тормозные сопротивления;
- 4) определить при каком напряжении происходит срабатывание реле KV1, KV2 и KV3.

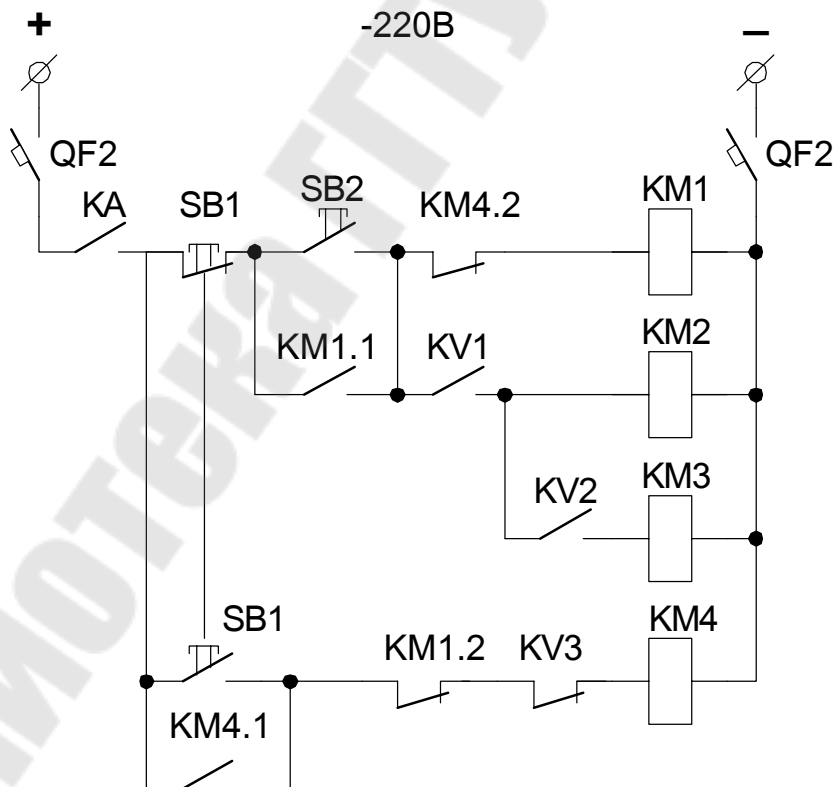
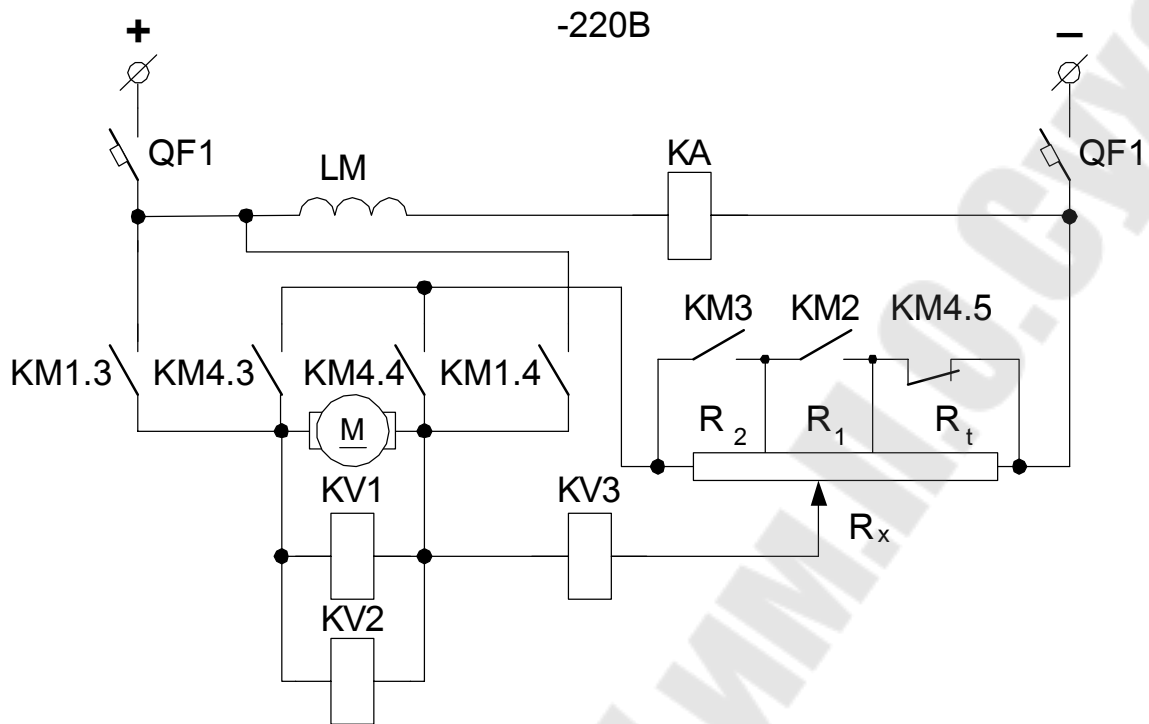


Рис. 7. Исследуемая схема

## Решение

1. Построение естественной механической характеристики.

Рассчитаем номинальный КПД двигателя

$$\eta_H = \frac{P_H}{U_H \cdot I_H} = \frac{75 \cdot 10^3}{220 \cdot 380} = 0,9.$$

Сопротивление обмотки якоря

$$R_{яH} = \frac{0,5 \cdot U_H (1 - \eta_H)}{I_H} = \frac{0,5 \cdot 220 \cdot (1 - 0,9)}{380} = 0,029 \text{ Ом.}$$

Частота вращения идеального холостого хода, считая, что  $I_я = I_H$

$$n_0 = n_H \frac{U_H}{U_H - I_H R_{яH}} = 900 \cdot \frac{220}{220 - 380 \cdot 0,029} = 950 \text{ об/мин.}$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_H}{n_0} = \frac{9550 \cdot 75}{900} = 800 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Естественную характеристику строим по двум точкам (рис. 8)

т.А  $n_{(A)} = n_0 = 950$  об/мин,  $M_{(A)} = 0$ ;

т.В  $n_{(B)} = n_H = 900$  об/мин,  $M_{(B)} = M_H = 800$  Н·м;

2. Построение искусственных и тормозной характеристик.

Для построения искусственных характеристик задаемся моментами: наибольшим  $M_1 = (2 - 2,5)M_H = 2,5M_H = 2,5 \cdot 800 = 2000$  Н·м и  $M_2 \geq (1,1 - 1,2)M_c = 0,94 \cdot M_H = 0,94 \cdot 800 = 750$  Н·м, при котором происходит шунтирование пусковых сопротивлений. Момент  $M_2$  подбирается графически, в зависимости от мощности электродвигателя и числа пусковых ступеней. Через точки, соответствующие моментам  $M_1$  и  $M_2$  проводим линии, перпендикулярные оси моментов. Соединяем точки 1 и А. Получаем первую искусственную характеристику по которой разгоняется двигатель с пусковым сопротивлением  $R_1 + R_2$ . В точке 2 срабатывает реле KV1 и закорачивается сопротивление  $R_1$ . Двигатель “переходит” в точку 3 и разгоняется по второй искусственной характеристике. В точке 4 срабатывает реле KV2, закорачивающее пусковое сопротивление  $R_2$  и двигатель выходит на естественную характеристику в точке 5. Если при построении пусковой диаграммы не попадаем в точку 5, то необходимо изменить значение  $M_2$  независимо от предварительного расчета.





Сопротивления пускового реостата (отрезки берутся при номинальном моменте двигателя  $M_H$ ) равны

$$R_1 = m_R \cdot [2', 4'] = 0,0609 \cdot 5,6 = 0,341 \text{ Ом},$$

$$R_2 = m_R \cdot [4', B] = 0,0609 \cdot 2,3 = 0,14 \text{ Ом}.$$

Сопротивление торможения противовключением равно (задаем-ся током  $I_{\text{доп}} = 2,5 I_H$ )

$$R_{T\Sigma} = \frac{2 \cdot U_H}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{ян}} = \frac{2 \cdot U_H}{2,5 I_H} - R_{\text{ян}} = \frac{2 \cdot 220}{2,5 \cdot 380} - 0,029 = 0,434 \text{ Ом}.$$

4. Определим напряжения срабатывания реле KV1, KV2 и KV3. При постоянном магнитном потоке ЭДС якоря ДПТ прямо пропорциональна скорости  $E = k\Phi\omega$ . Поэтому катушку реле напряжения можно включать непосредственно на зажимы якоря. Однако напряжение на зажимах якоря  $U_{\text{я}}$  отличается от  $E_{\text{я}}$  на величину падения напряжения в обмотке якоря, тогда

$$U_{\text{я}} = E + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

В соответствии с пусковой диаграммой (рис. 8) шунтирование пусковых сопротивлений происходит при моменте двигателя  $M_2 = 0,94 M_H$ . Т.к. момент  $M$  пропорционален току  $M = k\Phi I$ , то величина тока, при котором происходит шунтирование, равна

$$I_2 = 0,94 \cdot I_H = 0,94 \cdot 380 = 375 \text{ А}.$$

Определим напряжение срабатывания реле KV1

$$U_{\text{ср1}} = U_{\text{KV1}} = k\Phi\omega_1 + I_2 \cdot R_{\text{ян}} = 2,1 \cdot 61,7 + 375 \cdot 0,029 = 140 \text{ В},$$

где  $\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 590}{30} = 61,7 \text{ рад/с}$  – угловая скорость, при которой

шунтируется  $R_1$  (рис.7);

$$k\Phi = \frac{M_H}{I_H} = \frac{800}{380} = 2,1 \text{ В}\cdot\text{с} \text{ из формулы } M = k\Phi I.$$

Напряжение срабатывания реле KV2 определим аналогично

$$U_{\text{ср2}} = U_{\text{KV2}} = k\Phi\omega_2 + I_2 R_{\text{ян}} = 2,1 \cdot 85,9 + 375 \cdot 0,029 = 191 \text{ В},$$

где  $\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 820}{30} = 85,9 \text{ рад/с}$  – угловая скорость, при

которой шунтируется  $R_2$ .

Определим напряжение срабатывания реле KV3, когда двигатель остановится ( $\omega = 0$ ). Напряжение на катушке KV3 может быть определено по формуле

$$U_{KV3} = U_c - (U_c + k\Phi\omega) \frac{R_x}{R_{я\Sigma}},$$

где  $U_c = 220 \text{ В}$  – напряжение сети;  
 $k\Phi = 2,1 \text{ В с}$  – определено ранее;  
 $\omega = 0$

$R_{я\Sigma} = R_{ян} + R_1 + R_2 + R_T$  – суммарное сопротивление цепи якоря при пуске;

$R_x$  – часть пускового сопротивления, которая зависит от точки подключения катушки реле KV3.

Как видно из формулы напряжение  $U_{KV3}$  зависит от величины  $R_x$ . Зададимся отношением  $\frac{R_x}{R_{я\Sigma}} = 0,5$ , тогда

$$U_{KV3} = 220 - (220 + 2,1 \cdot 0) \cdot 0,5 = 110 \text{ В.}$$

С учетом времени срабатывания аппаратов напряжение срабатывания реле KV3 равно

$$U_{CP1} = 0,8 \cdot U_{KV3} = 0,8 \cdot 110 = 88 \text{ В.}$$

При таком напряжении скорость двигателя практически равна нулю.

### Описание работы релейно-контакторной схемы

Включаем автоматы QF1 и QF2. По обмотке возбуждения LM начинает протекать ток и срабатывает токовое реле КА. Его контакт КА в цепи управления замыкается.

*Пуск.* При нажатии кнопки SB2 напряжение подается на катушку KM1 по цепи: QF2 – КА – SB1 – SB2 – KM4.2 – катушка KM1 – QF2. Контактор KM1 срабатывает, при этом:

- замыкается KM1.1 (шунтируется кнопка SB2);
- размыкается KM1.2 (предотвращает одновременное срабатывание контакторов KM1 и KM4);
- замыкаются силовые контакты KM1.3, KM1.4 (напряжение подается на якорь электродвигателя).

Двигатель начинает разгоняться по первой искусственной характеристике с номинальным магнитным потоком и пусковым сопротивлением в цепи якоря ( $R_1+R_2$ ). При достижении некоторой скорости (по пусковой диаграмме) ЭДС якоря увеличится настолько, что сработает реле напряжения KV1. Контакт KV1 в цепи управления замыкается и напряжение подается на катушку контактора KM2. Замыкается контакт KM2 и шунтирует первую ступень пускового реостата  $R_1$ . Двигатель продолжает разгоняться по второй искусственной характеристике. При достижении некоторой скорости срабатывает реле напряжения KV2. Контакт KV2 в цепи управления замыкается, напряжение подается на катушку KM3 и шунтирует вторую ступень пускового реостата  $R_2$ . Все сопротивления в цепи якоря закорочены и двигатель разгоняется по естественной характеристике.

*Торможение.* Нажимаем кнопку SB1 при работающем двигателе. Обесточивается катушка контактора KM1 и все его контакты переключаются. Якорь двигателя отключается от сети. Подается напряжение на катушку контактора KM4 и его якорь притягивается, при этом:

- замыкается контакт KM4.1 (шунтируется кнопка SB1);
- размыкается контакт KM4.2 (предотвращает одновременное срабатывание контакторов KM1 и KM4);
- размыкается контакт KM4.5 ( в цепь якоря включается тормозное сопротивление  $R_T$ );
- замыкаются силовые контакты KM4.3, KM4.4 (на якорь двигателя подается напряжение другой полярности).

Начинается процесс торможения противовключением с полным сопротивлением ( $R_1+R_2+R_T$ ) в цепи якоря (т. С на рис. 8, если двигатель работал в номинальном режиме). По мере снижения скорости ЭДС якоря уменьшается и растет напряжение на катушке реле напряжения KV3. При уменьшении скорости двигателя до нуля срабатывает реле KV3. Размыкается его контакт KV3, катушка контактора KM4 отключается и якорь двигателя отключается от сети (т. D).

Защита силовой цепи от КЗ и перегрузок осуществляется автоматом QF1. Защиту от обрыва цепи возбуждения выполняет токовое реле КА. От КЗ цепь управления защищает автомат QF2.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить принцип пуска, торможения ДПТ параллельного возбуждения в функции ЭДС.
2. Изучить принцип торможения противовключением ДПТ.

3. По паспортным данным исследуемого двигателя необходимо:
  - рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
  - рассчитать и построить две искусственные характеристики и характеристику торможения противовключением;
  - рассчитать тормозное и пусковые сопротивления;
  - определить, при каком напряжении срабатывают реле напряжений KV1, KV2 и KV3;
  - пояснить (при необходимости рассчитать) как изменится напряжение срабатывания KV1 и KV2 при изменении нагрузки двигателя.
4. Изучить последовательность работы аппаратов и устройств при пуске, торможении и реверсе ДПТ (по рис.7). Для этого необходимо заполнить табл. 3. Знак «+» обозначает включение аппарата или перевод его в вынужденное состояние, а знак «-» – его отключение. Знаки  $\uparrow\downarrow$  с индексом изменяющейся величины обозначают, что эта величина растет или снижается.
5. Собрать схему по рис. 7. Выставить рассчитанные пусковые и тормозные сопротивления. К зажимам якоря подключить магнитоэлектрический вольтметр.
6. Осуществить пуск, торможение и реверс электродвигателя. Проверить правильность расчета сопротивлений по напряжению переключения пусковых ступеней.
7. Проверить правильность заполнения табл. 3 по загоранию лампочек.
8. Проверить правильность расчета напряжений срабатывания реле KV1 и KV2 при изменении нагрузки двигателя (нагрузка электродвигателя задается преподавателем).

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Естественная механическая характеристика ДПТ, пусковые и тормозная характеристики (строятся в одних осях).
3. Расчет пусковых и тормозного сопротивлений.
4. Таблица последовательности работы аппаратов и устройств.
5. Релейно-контакторная схема управления ДПТ параллельного возбуждения в функции ЭДС.
6. Выводы по результатам исследований.

Таблица 3

## Последовательность работы аппаратов и устройств

Состояние схемы	Аппараты или устройства														$\omega$ , рад/с						
	Контакт тор КМ1				Контакт тор КМ2		Контакто р КМ3		Контакт тор КМ4			Реле КВ1		Реле КВ2		Реле КВ3					
	КМ1 (кат.)	КМ1.1	КМ1.2	КМ1.3	КМ1.4	КМ2	КМ2(кат.)	КМ3	КМ3(кат.)	КМ4.1	КМ4.2	КМ4.3	КМ4.4	КМ4.5		КВ1 (кат.)	КВ1	КВ2 (кат.)	КВ2	КВ3 (кат.)	КВ3
<b>1.Исходное положение</b>																					
<b>2.Пуск "Вперед" и ускорение :</b>																					
<b>на 1-й ступени</b>																					
<b>на 2-й ступени</b>																					
<b>3.Окончание ускорения</b>																					
<b>4.Торможение до <math>\omega = 0</math></b>																					

## Контрольные вопросы

1. Какие защиты и блокировки предусмотрены в релейно-контакторной схеме?
2. Как осуществляется расчет пусковых и тормозных сопротивлений?
3. Как осуществляется пуск ДПТ в функции ЭДС?
4. Как осуществляется торможение ДПТ?
5. Пояснить какие расцепители имеют автоматы QF1, QF2?
6. Назначение токового реле КА.
7. Как производится расчет напряжений срабатывания реле KV1, KV2 и KV3?
8. Как изменится работа релейно-контакторной схемы при отсутствии контактов КМ1.1, КМ4.1?
9. Как выбирается уставка токового реле КА?

### *Лабораторная работа №3*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ**

**Цель работы:** изучение релейно-контакторной схемы пуска и торможения ДПТ параллельного возбуждения в функции времени, методики расчета пусковых и тормозных сопротивлений, времени пуска и торможения электродвигателя.

### **Основные теоретические положения**

Автоматизация пуска ДПТ параллельного возбуждения в функции времени получила широкое применение в современных электроприводах благодаря своим достоинствам: простоте схемы, надежности и независимости её работы от колебаний нагрузки или напряжения сети. В таких схемах в качестве управляющих реле используются реле времени (электромагнитные, пневматические, с часовым механизмом).

### **Построение пусковых и тормозных характеристик**

Построение пусковых и тормозных характеристик рассмотрим на примере предыдущей лабораторной работы. Исходные данные для расчета будут такими же.

Для данного двигателя необходимо:

- 1) рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
- 2) рассчитать и построить две искусственные механические характеристики и характеристику динамического торможения;
- 3) рассчитать пусковые и тормозные сопротивления;
- 4) определить выдержки времени, при которых происходит переключение пусковых ступеней.

### *Решение*

1. Расчет и построение естественной и искусственной характеристик, расчет пусковых сопротивлений производится аналогично приме-

ру предыдущей лабораторной работы. Характеристика динамического торможения построена на рис. 8 штриховой линией. (отрезок СО)

2. Сопротивление динамического торможения  $R_{\partial} = R_3$  (см. рис. 10) может быть определено следующим образом.

Задаёмся значением допустимого тока (момента)  $I_{\text{доп}}$  ( $M_{\text{доп}}$ ), который зависит от замедления электропривода или условий коммутации двигателя. Будем считать, что допустимый ток (момент) равен пусковому току (моменту), ограничиваемому пусковыми сопротивлениями

$$I_{\text{доп}}(M_{\text{доп}}) = (2,0 - 2,5)I_n(M_n).$$

Предположим, что динамическое торможение начинается в т.В механической характеристики (номинальная нагрузка), тогда сопротивление  $R_{\partial}$  равно

$$R_{\partial} = \frac{E_n}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{ян}} = \frac{209}{2,5 \cdot 380} - 0,029 = 0,191 \text{ Ом};$$

где  $E_n = U_n - I_n \cdot R_{\text{ян}} = 220 - 380 \cdot 0,029 = 209 \text{ В}$  – ЭДС при номинальной нагрузке.

Если динамическое торможение начинается не в т.В механической характеристики, а в любой другой т.Х, то сопротивление равно:

$$R_{\partial(X)} = \frac{E_{(X)}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{ян}},$$

где  $E_{(X)} = \frac{n_{(X)}}{n_n} (U_n - I_n \cdot R_{\text{ян}})$  – ЭДС якоря, соответствующая т.Х;

$n_{(X)}$  – частота вращения двигателя в т.Х.

3. Определение выдержек времени, при которых происходит переключение пусковых ступеней.

На основании уравнения движения  $M - M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$ , при условии линейности механической характеристики и  $M_C = \text{const}$ , время разгона при изменении скорости от  $\omega_{\text{нач}}$  до  $\omega_{\text{кон}}$  выражается формулой:

$$t = J \cdot \frac{(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})}{(M - M_C)},$$

где  $J$  – приведённый момент инерции электропривода;

$\omega_{\text{нач}}$ ,  $\omega_{\text{кон}}$  – начальная и конечная угловые скорости разгона;



$$M = M_{cp} = \frac{M_1 + M_2}{2} \text{ - среднее значение момента при разгоне}$$

(см. рис. 8)

$$M_C = (5 - 15\%)M_n \text{ - статический момент.}$$

4. Экспериментальное определение момента инерции якоря производится методом падающего груза (рис. 9)

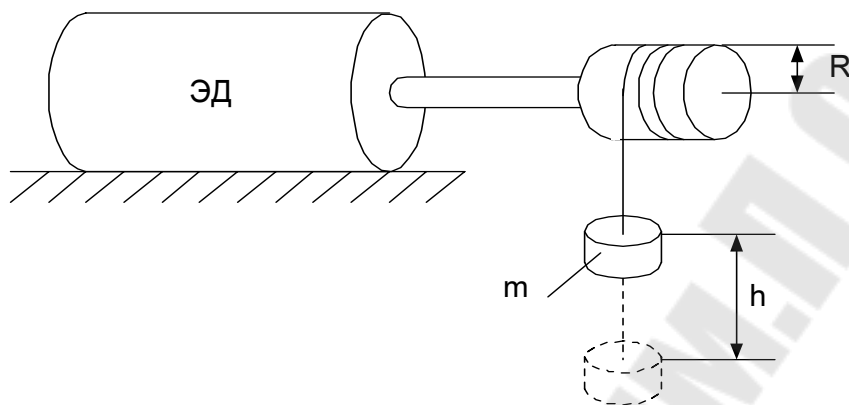


Рис. 9. Определение момента инерции якоря

На вал электродвигателя с радиусом  $R$  наматывается нить, на которой подвешен груз массой  $m$ . С помощью секундомера определяется время, за которое груз опустится на высоту  $h$ . Момент инерции якоря определяется по формуле

$$J_{як} = m \cdot R^2 \left( \frac{gt^2}{2h} - 1 \right) [\text{кг} \cdot \text{м}^2],$$

где  $m$  [кг] – масса груза;

$R$  [м] – радиус вала (шкива);

$t$  [с] – время опускания груза;

$h$  [м] – высота опускания груза;

$g=9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

### Описание работы релейно-контакторной схемы (рис. 10)

При включении автомата QF1 по обмотке возбуждения LM и катушке токового реле начинает протекать ток. Токовое реле срабатывает и замыкается контакт КА в цепи питания контактора КМ1.

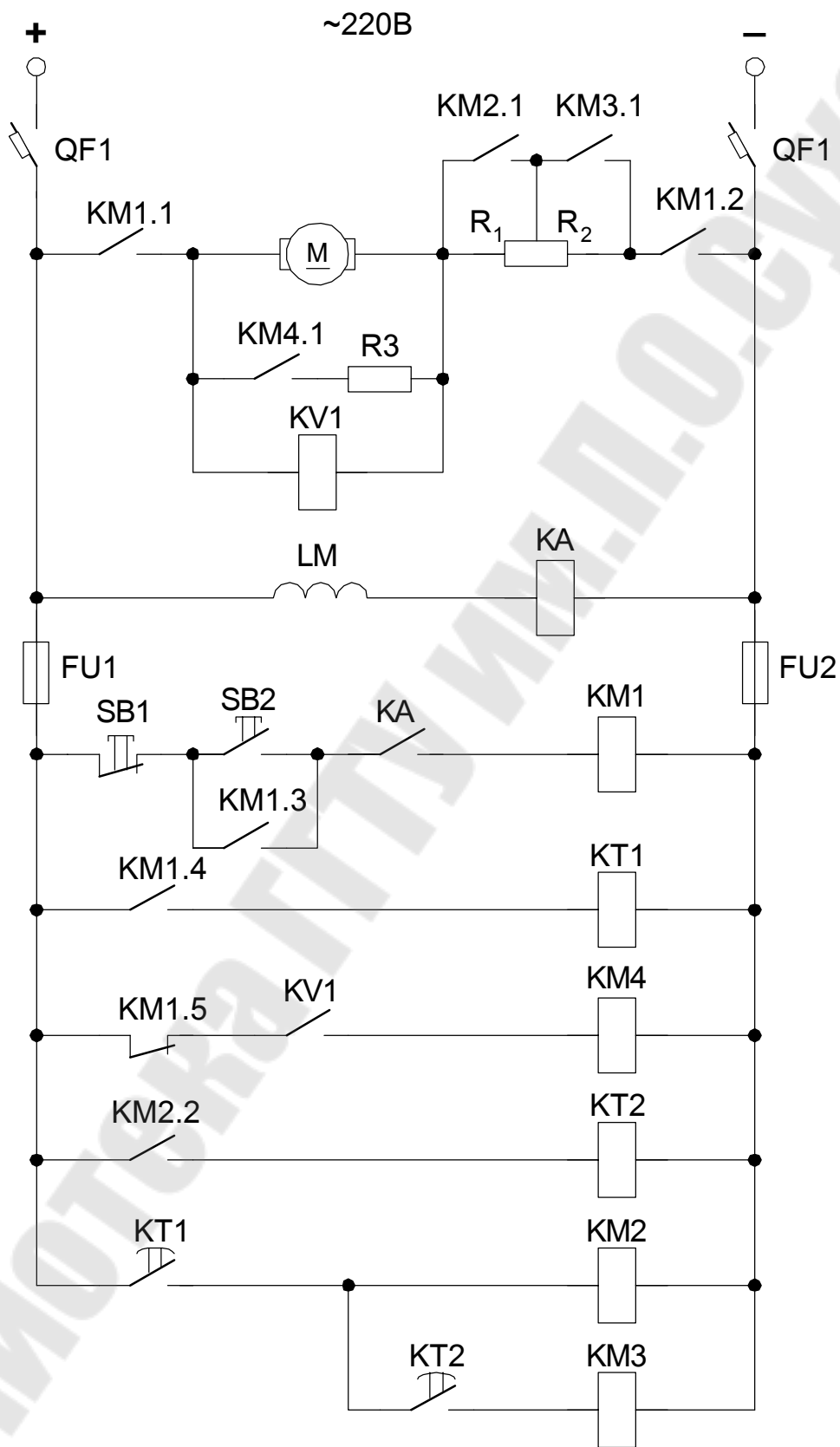


Рис. 10. Исследуемая схема

*Пуск.* При нажатии кнопки SB2 напряжение подается на катушку контактора КМ1 по цепи: QF1–FU1–SB1–SB2–КА–катушка КМ1–FU2–QF1. Контактор КМ1 срабатывает, при этом:

- замыкается КМ1.3 (шунтируется кнопка SB2);
- замыкаются силовые контакты КМ1.1, КМ1.2 (напряжение подается на якорь электродвигателя);
- размыкается КМ1.5 (подготавливается цепь динамического торможения);
- замыкается КМ1.4 (напряжение подается на катушку реле времени КТ1 и начинается отсчет выдержки времени).

Двигатель начинает разгоняться по первой искусственной характеристике с номинальным магнитным потоком и пусковым сопротивлением в цепи якоря ( $R_1 + R_2$ ). По истечении выдержки времени замыкает контакт реле времени КТ1 и напряжение подается на катушку контактора КМ2. Контактор КМ2 срабатывает, замыкается контакт КМ2.1, который шунтирует первую ступень пускового реостата  $R_1$ . Двигатель продолжает разгоняться по второй искусственной характеристике. Замыкается контакт КМ2.2 и напряжение подается на катушку реле времени КТ2. Начинается отсчет выдержки времени (время разгона по второй искусственной характеристике), по истечении которой замыкается контакт реле КТ2 и срабатывает контактор КМ3, закорачивающий своим контактом КМ3.1 вторую ступень пускового реостата. Двигатель выходит на естественную характеристику.

*Торможение.* При вращающемся двигателе нажимаем кнопку SB1. Обесточивается катушка контактора КМ1 и все его контакты переключаются. Якорь электродвигателя отключается от сети. Замыкается контакт КМ1.5 и напряжение подается на катушку КМ4 (контакт реле напряжения KV1 замкнут, т.к. оно срабатывает в самом начале пуска, когда ЭДС якоря небольшая). Замыкается контакт КМ4.1 и к якорю двигателя подключается тормозное сопротивление  $R_3$ . Начинается процесс динамического торможения. При скорости близкой к нулю ЭДС якоря становится незначительной, реле напряжения KV1 отключается и отключается контактор КМ4.

Защита силовой цепи от коротких замыканий и перегрузок осуществляется автоматом QF1. Защиту от обрыва цепи возбуждения выполняет токовое реле КА.

## Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип пуска и торможения ДПТ параллельного возбуждения в функции времени.
2. Изучить принцип динамического торможения ДПТ.
3. По паспортным данным исследуемого двигателя необходимо:
  - рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
  - рассчитать и построить искусственные характеристики и характеристику динамического торможения;
  - рассчитать пусковые и тормозные сопротивления;
  - определить время пуска на каждой ступени пускового реостата при различной нагрузке двигателя (величина нагрузки задается через момент инерции якоря (см. рис. 9)).
4. Изучить последовательность работы аппаратов и устройств при пуске и торможении ДПТ (по рис.10). Для этого необходимо заполнить табл.4. Знак «+» обозначает включение аппарата или перевод его в вынужденное состояние, а знак «–» – его отключение. Знаки  $\uparrow$  $\downarrow$  с индексом изменяющейся величины обозначают, что эта величина растет или снижается.
5. Собрать схему по рис. 10, выставить рассчитанные пусковые выдержки времени.
6. Осуществить пуск и торможение электродвигателя.
7. Проверить правильность заполнения табл. 4 по загоранию лампочек.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Естественная механическая характеристика ДПТ, пусковые и тормозная характеристики (строятся в одних осях).
3. Расчет пусковых и тормозного сопротивлений. Расчет выдержек времени.
4. Таблица последовательности работы аппаратов и устройств.
5. Релейно-контакторная схема управления ДПТ параллельного возбуждения в функции времени.
6. Выводы по результатам исследований.

Таблица 4

## Последовательность работы аппаратов и устройств

Состояние схемы	Аппараты или устройства						$\omega$ , рад/с
	Контактор KM1	Контактор KM2	Контакт тор KM4	Реле врем. KT1	Реле врем. KT2	Реле напряж. KV1	
1. Исходное положение	KM1.5	KM2.2	KM4.1	KT1	KT2	KV1	
	KM1.4	KM2.1	KM4(кат.)	KT1 (кат.)	KT2 (кат.)	KV1 (кат.)	
2. Пуск "Вперед"	KM1.3	KM2(кат.)					
	KM1.2						
3. Ускорение: на 1-й ступени	KM1.1						
	KM1(кат.)						
на 2-й ступени							
4. Окончание ускорения							
5. Торможение до $\omega = 0$							

## Контрольные вопросы

1. Какие защиты и блокировки предусмотрены в релейно-контакторной схеме?
2. Как осуществляется расчет пусковых и тормозных сопротивлений?
3. Как осуществляется расчет выдержек времени?
4. Как осуществляется пуск ДПТ в функции времени?
5. Как осуществляется торможение ДПТ?
6. В чем заключается принцип динамического торможения ДПТ?
7. Как осуществляется экспериментальное определение момента инерции якоря?
8. Назначение токового реле КА?
9. Что необходимо изменить в схеме, если по ошибке подключен контакт КМ1.4 нормально замкнутый?

## *Лабораторная работа № 4*

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ НАВЫКИ СБОРКИ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ НА МАКЕТЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ ДПТ**

**Цель работы:** изучение релейно-контакторной схемы пуска, торможения и реверса электродвигателя, получение практических навыков по сборке и наладке релейно-контакторных схем управления электродвигателями.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить принцип работы и последовательность срабатывания аппаратов одной из предложенных преподавателем релейно-контакторной схемы (рис. 13-24).
2. Выбрать необходимые аппараты из предложенных на макете.
3. Изучить принцип действия и ознакомиться с конструкцией выбранных аппаратов.
4. С помощью проводов соединить электрические аппараты защиты и управления по предложенной релейно-контакторной схеме.
5. Произвести пробный пуск.

#### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. Релейно-контакторная схема управления электродвигателем.
3. Принципиальное устройство и работа одного из аппаратов защиты.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие защиты и блокировки представлены в релейно-контакторной схеме?
2. Принципиальная работа релейно-контакторной схемы.
3. Как выбираются аппараты защиты?
4. По каким параметрам выбираются аппараты цепей управления?
5. Принципиальное устройство и работа аппаратов защиты и цепей управления.

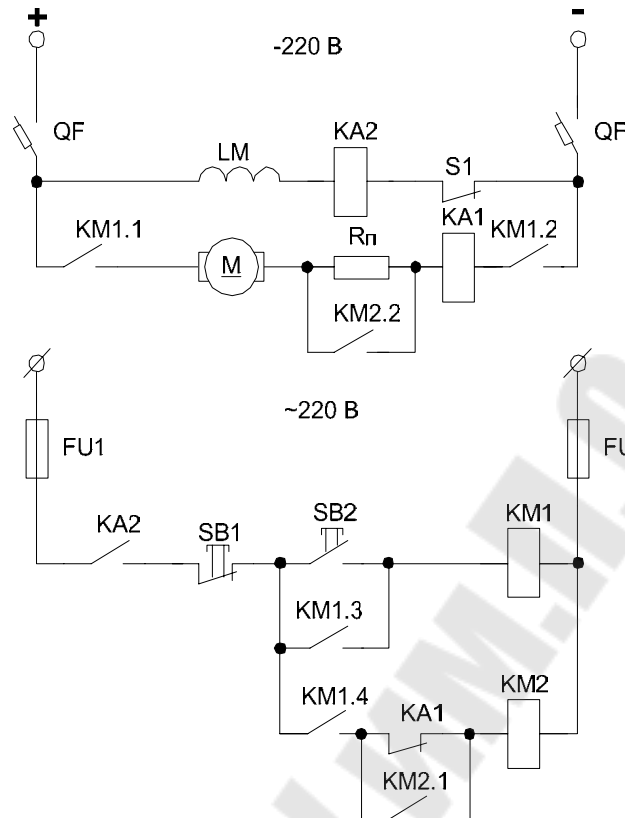


Рис. 11. Пуск ДПТ в функции тока

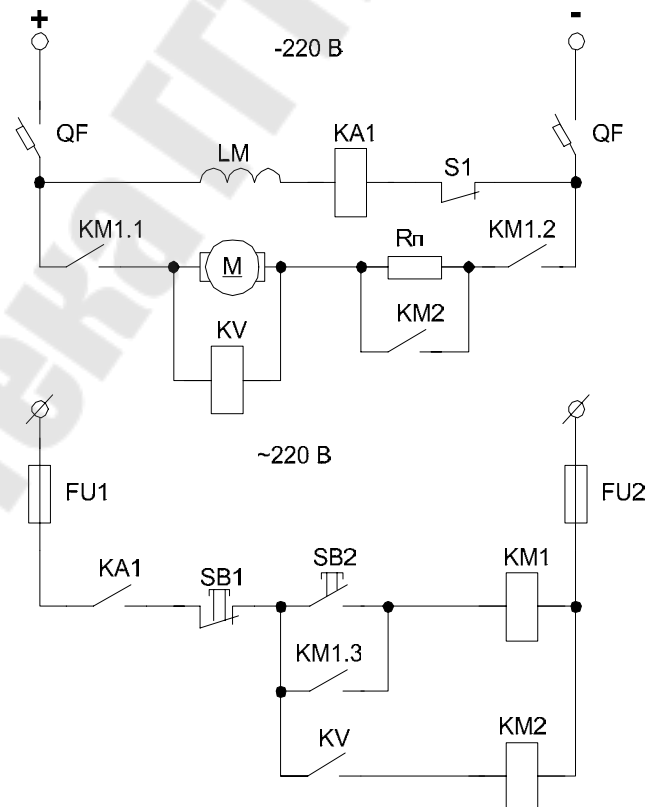


Рис. 12. Пуск ДПТ в функции скорости



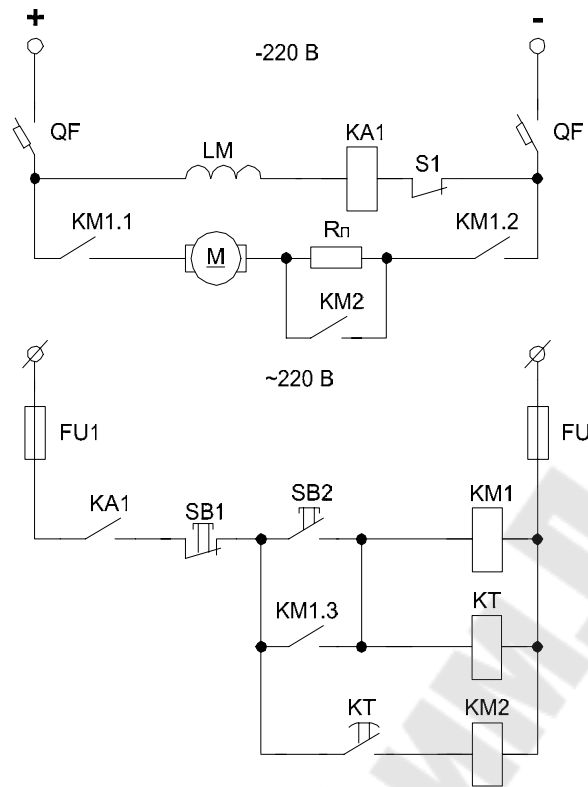


Рис. 13. Пуск ДПТ в функции времени

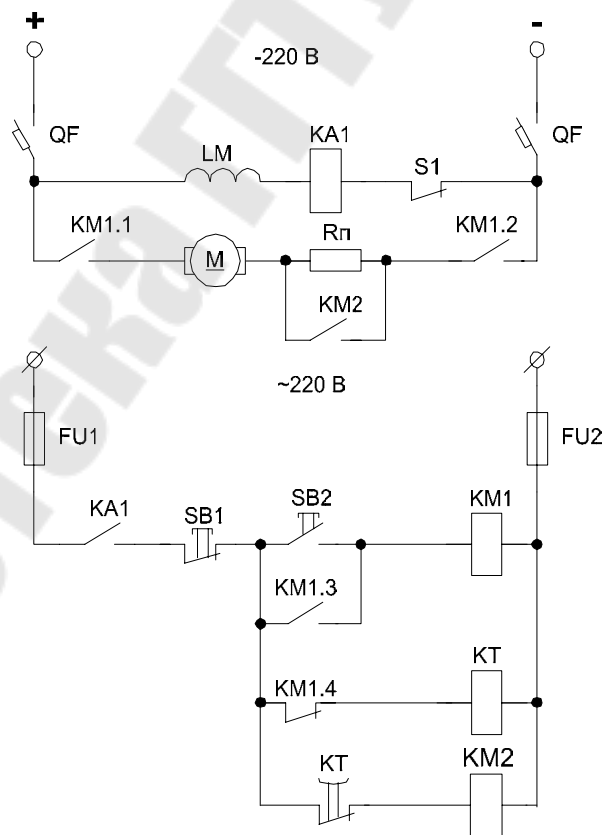


Рис. 14. Пуск ДПТ в функции времени

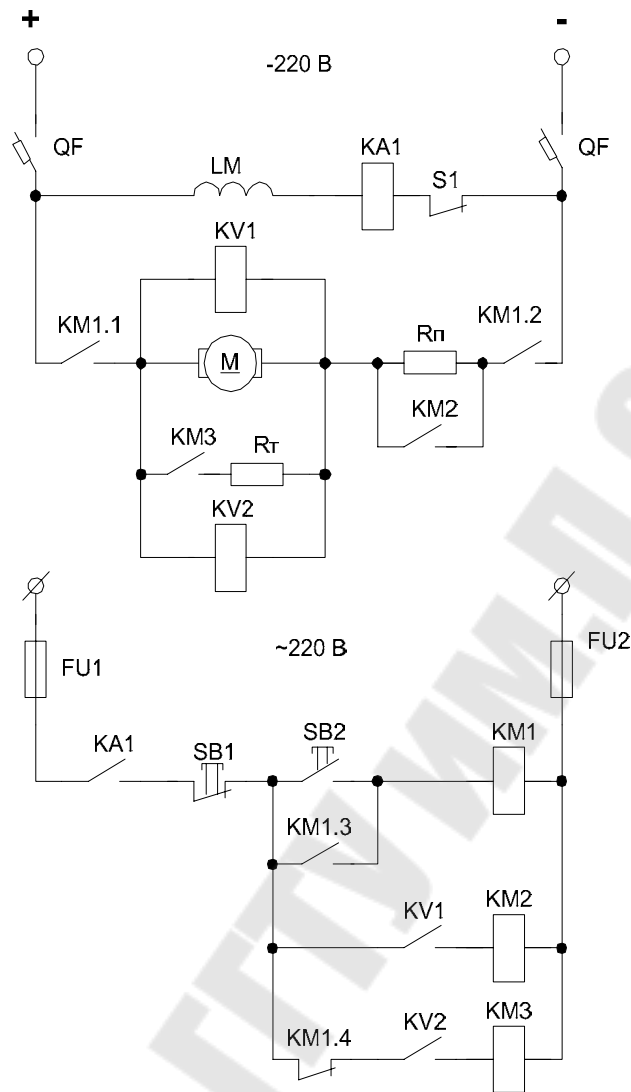


Рис. 15. Пуск и динамическое торможение ДПТ в функции скорости

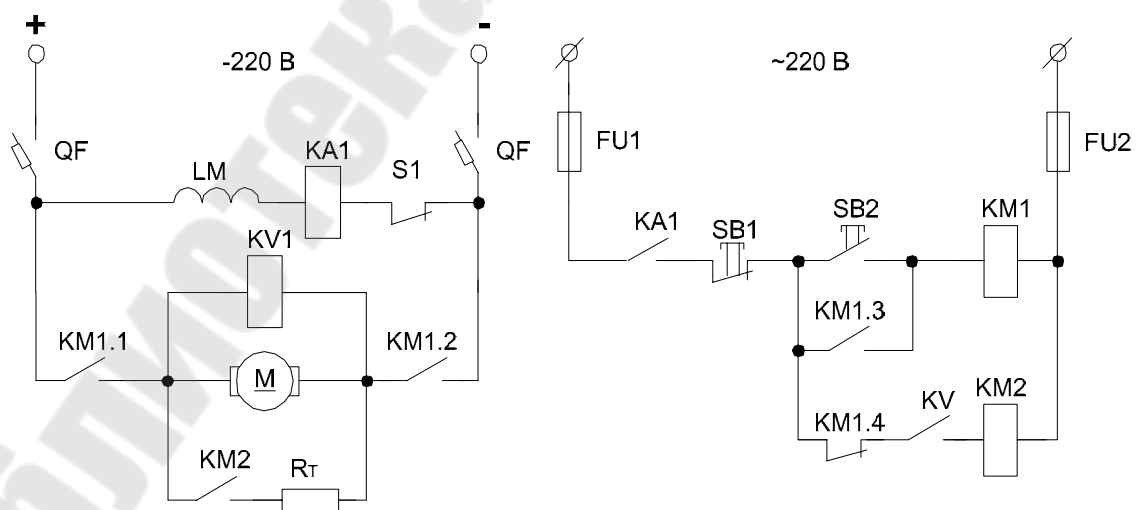


Рис. 16. Динамическое торможение ДПТ в функции ЭДС (скорости)

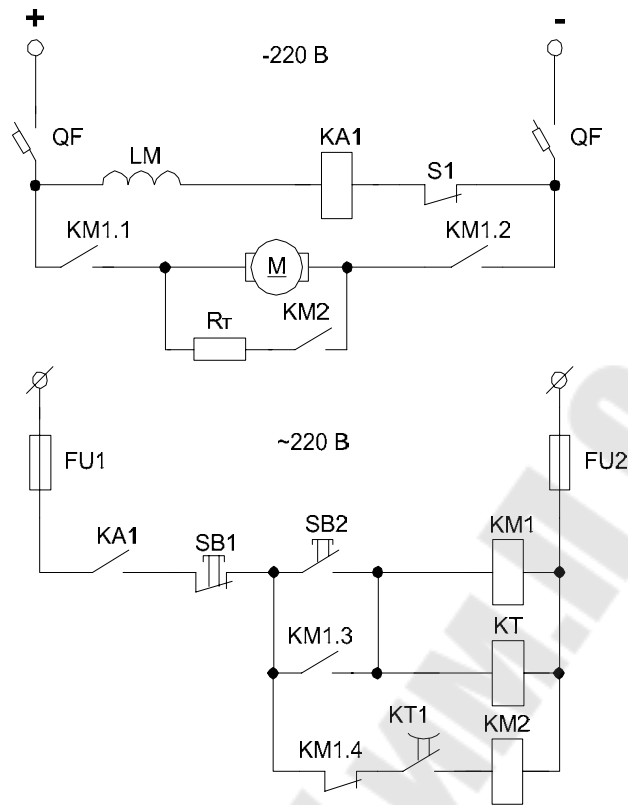


Рис. 17. Динамическое торможение ДПТ в функции времени

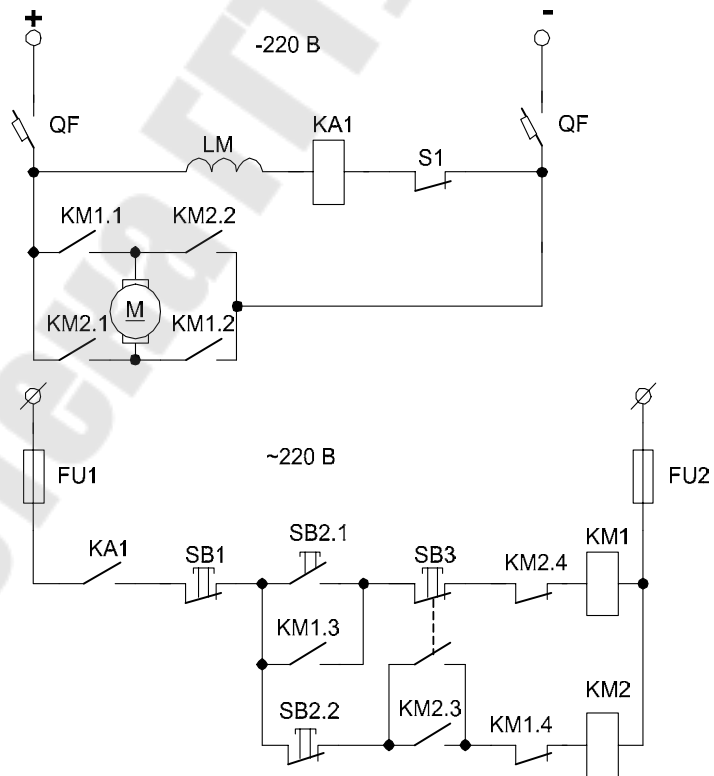


Рис. 18. Реверсирование ДПТ

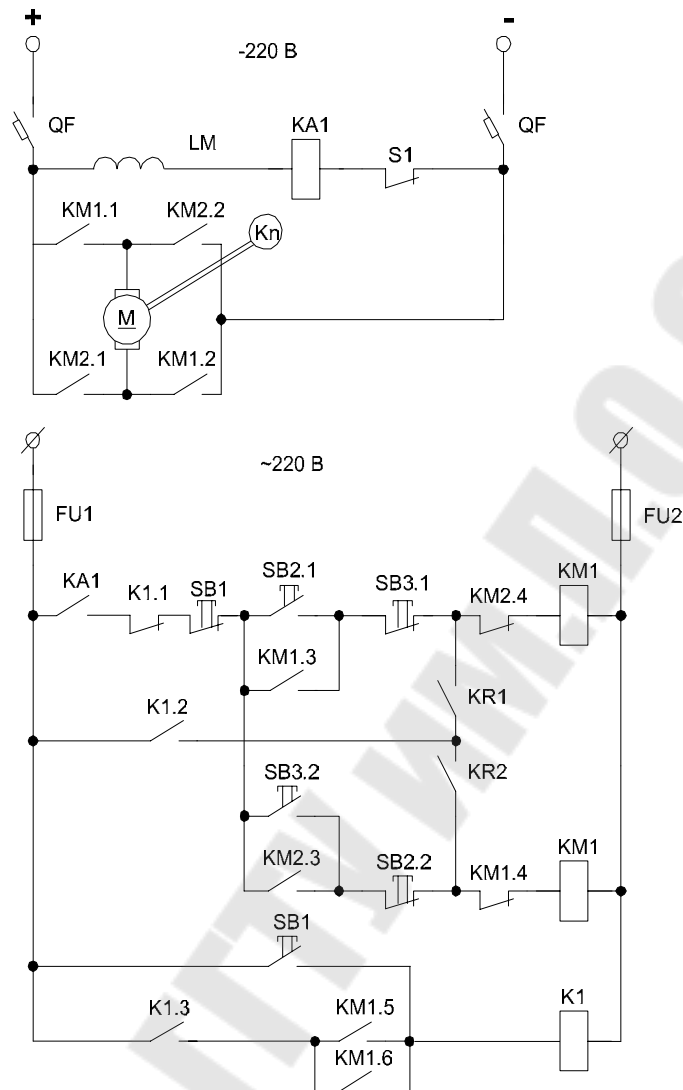


Рис. 19. Торможение противовключением ДПТ в функции скорости

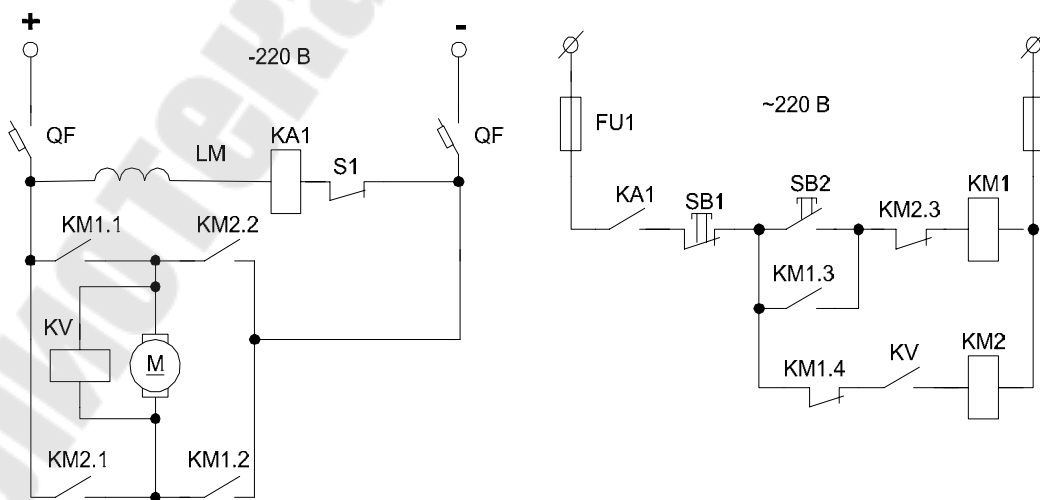


Рис. 20. Торможение противовключением ДПТ в функции ЭДС



## *Лабораторная работа № 5*

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ НАВЫКИ СБОРКИ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ НА МАКЕТЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗЦИИ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ АД**

**Цель работы:** изучение релейно-контакторной схемы пуска, торможения и реверса электродвигателя, получение практических навыков по сборке и наладке релейно-контакторных схем управления электродвигателями.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить принцип работы, последовательность срабатывания аппаратов одной из предложенных преподавателем релейно-контакторной схемы (рис. 25-36).
2. Выбрать необходимые аппараты из предложенных на макете.
3. Изучить принцип действия и ознакомиться с конструкцией выбранных аппаратов.
4. С помощью проводов соединить электрические аппараты защиты и управления по предложенной релейно-контакторной схеме.
5. Произвести пробный пуск.

#### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. Релейно-контакторная схема управления электродвигателем.
3. Принципиальное устройство и работа одного из аппаратов защиты.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие защиты и блокировки представлены в релейно-контакторной схеме?
2. Принципиальная работа релейно-контакторной схемы.
3. Как выбираются аппараты защиты?
4. По каким параметрам выбираются аппараты цепей управления?
5. Принципиальное устройство и работа аппаратов защиты и цепей управления.

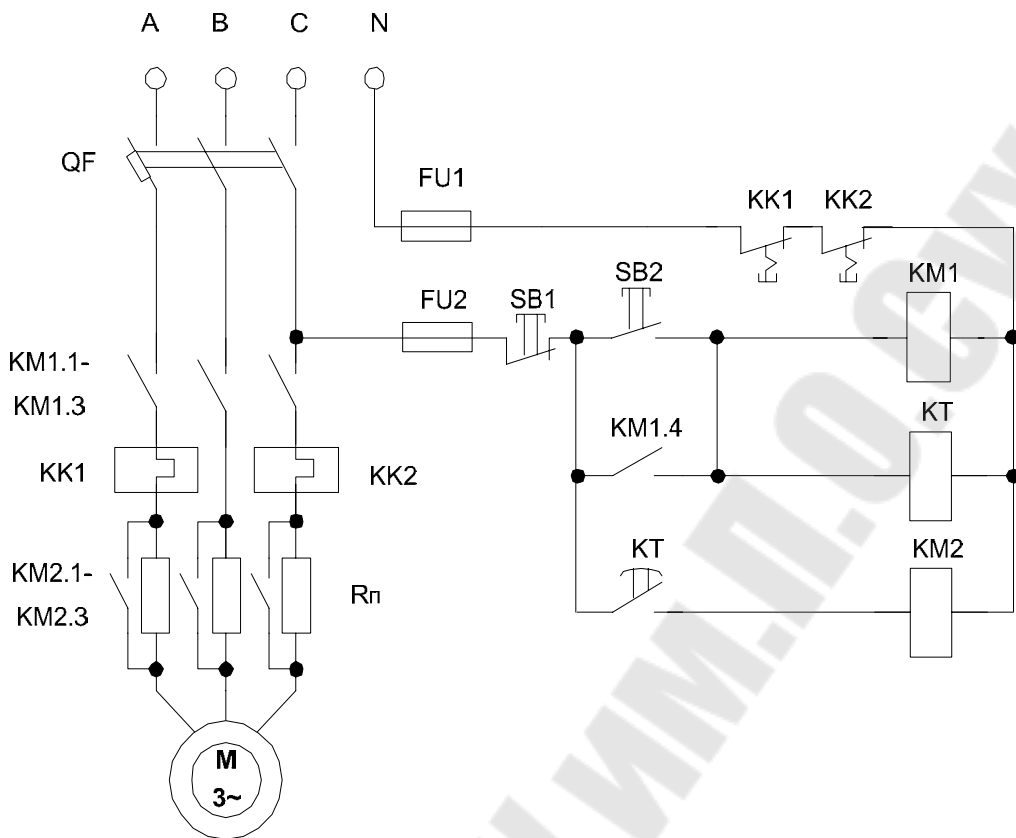


Рис. 23. Пуск АД в функции времени

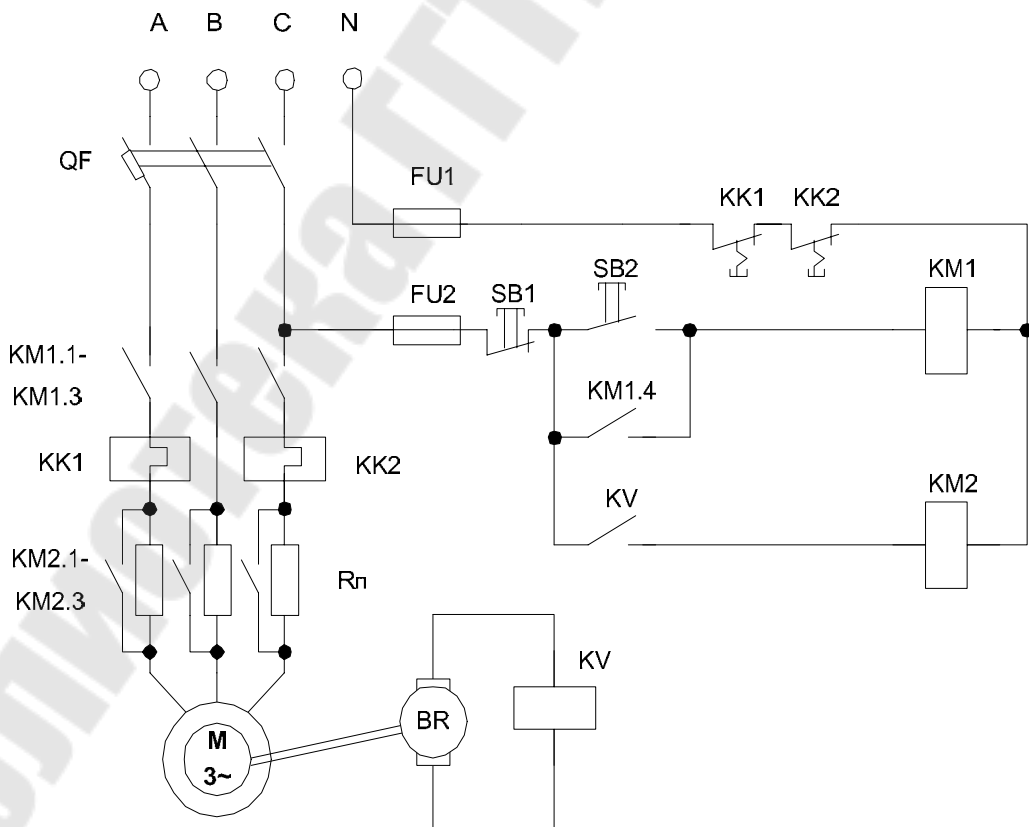


Рис. 24. Пуск АД в функции скорости

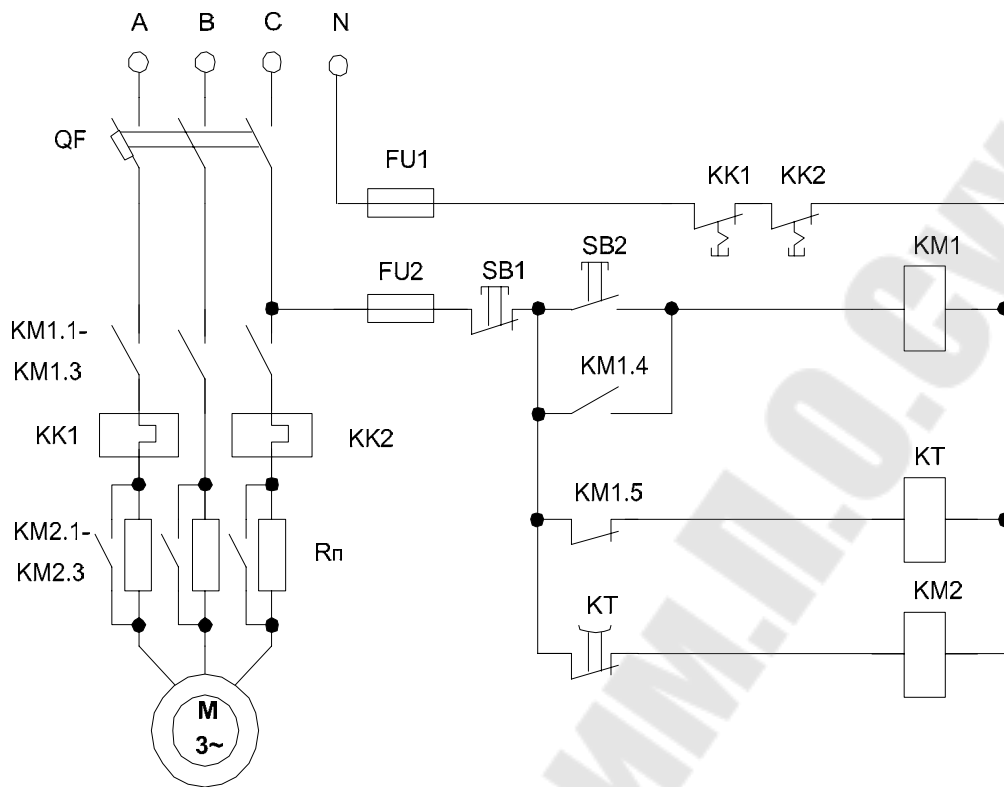


Рис. 25. Пуск АД в функции времени

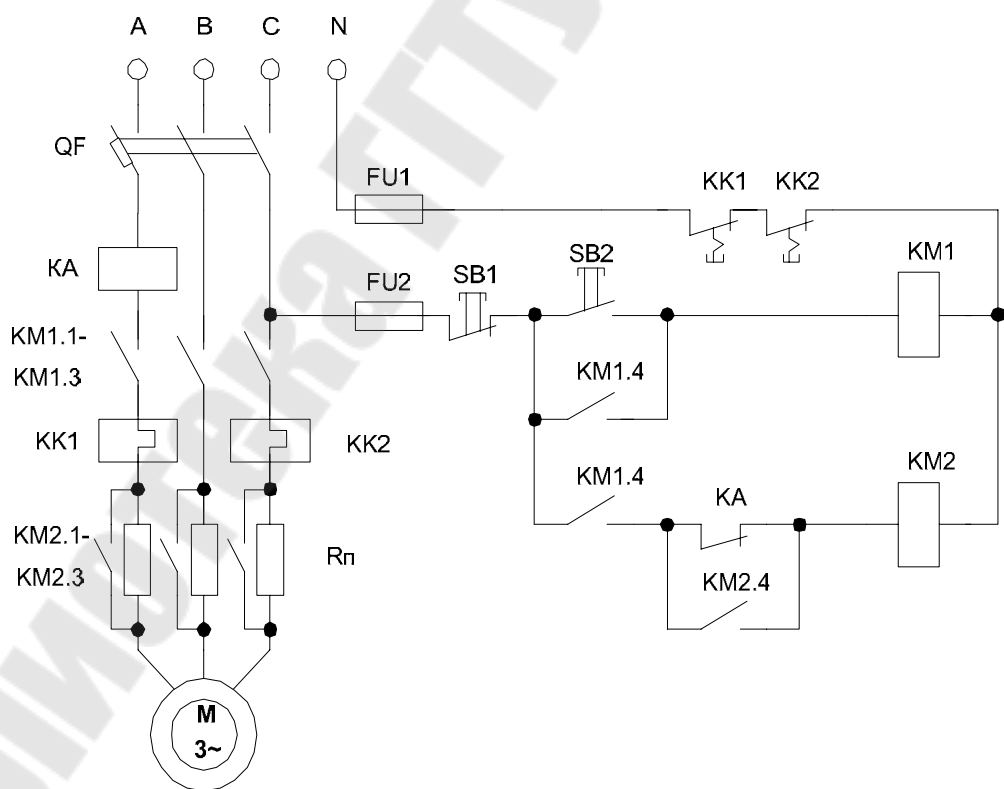


Рис. 26. Пуск АД в функции тока



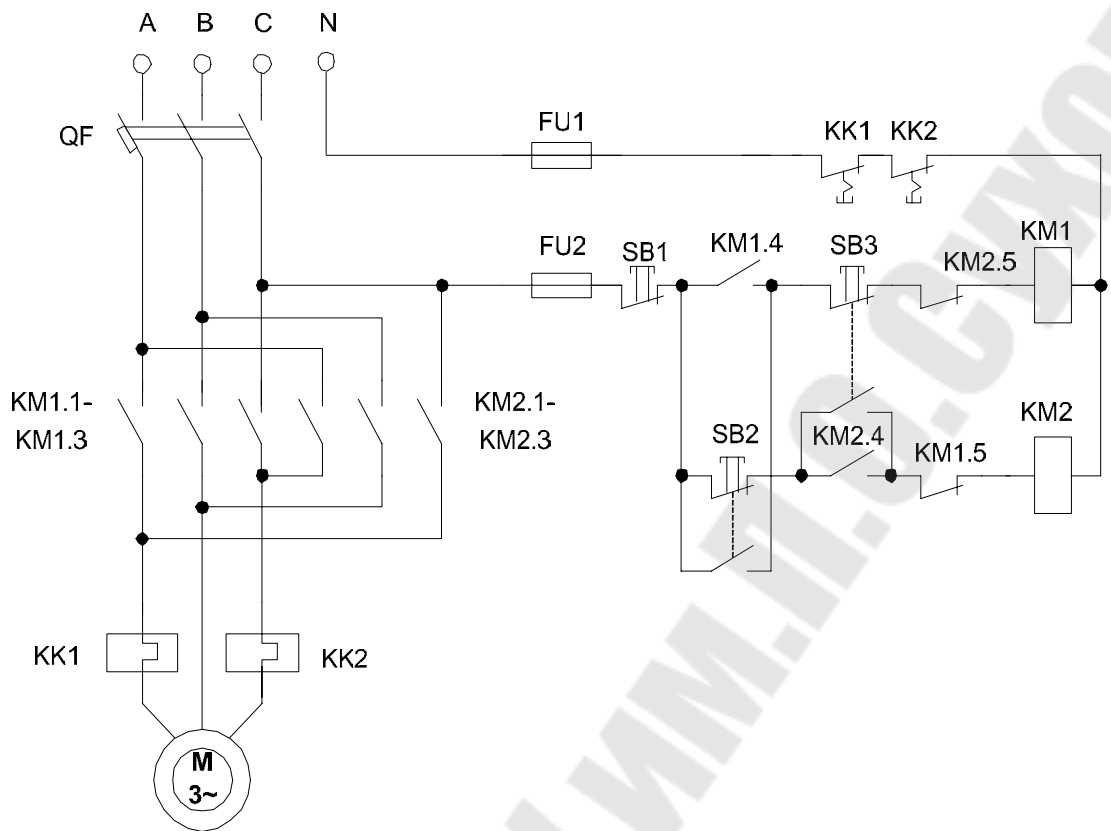


Рис. 27. Реверсирование АД

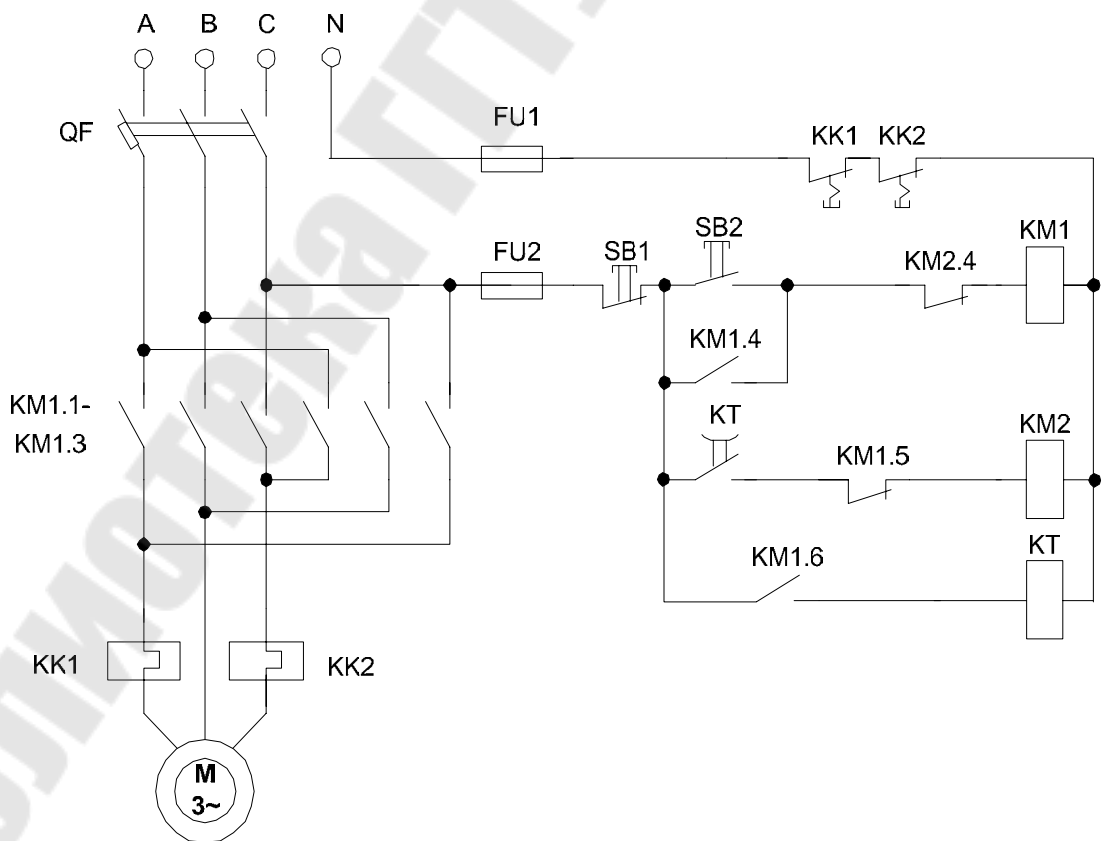


Рис. 28. Торможение противовключением АД в функции времени

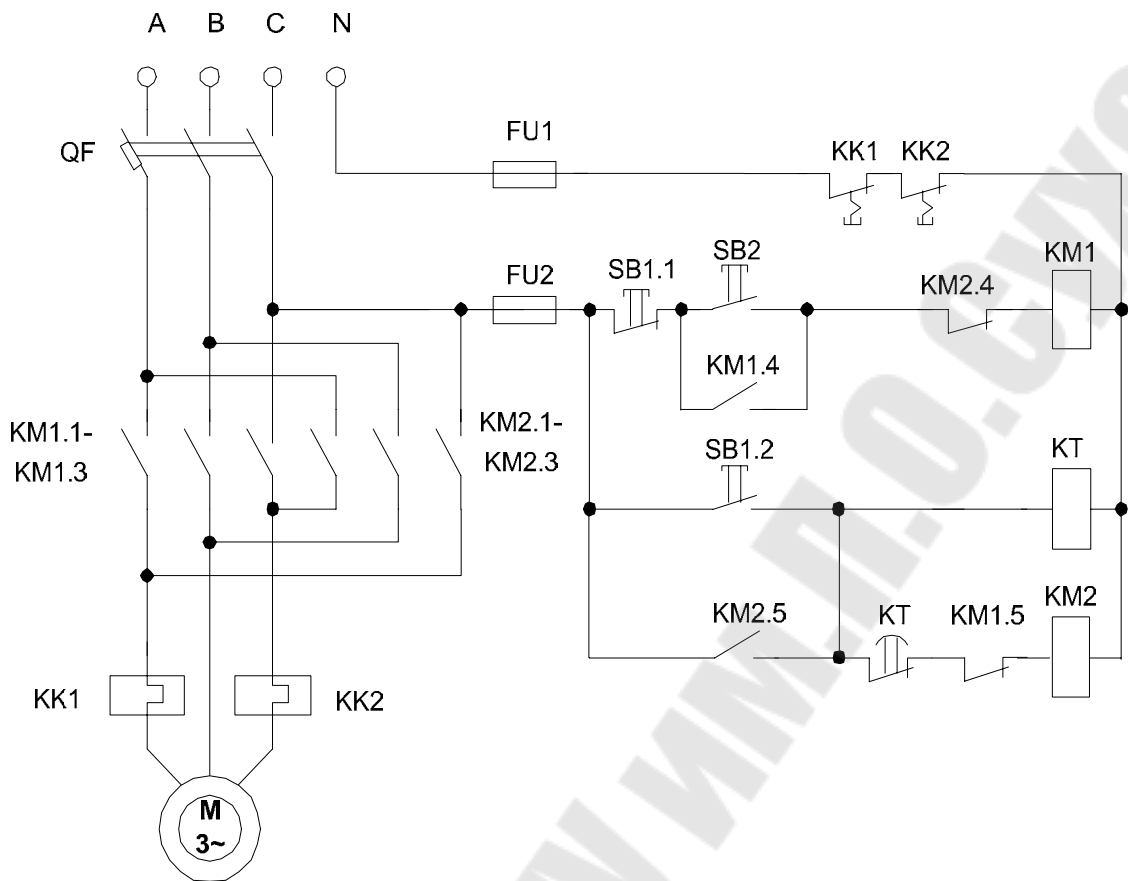


Рис. 29. Торможение противовключением АД в функции времени

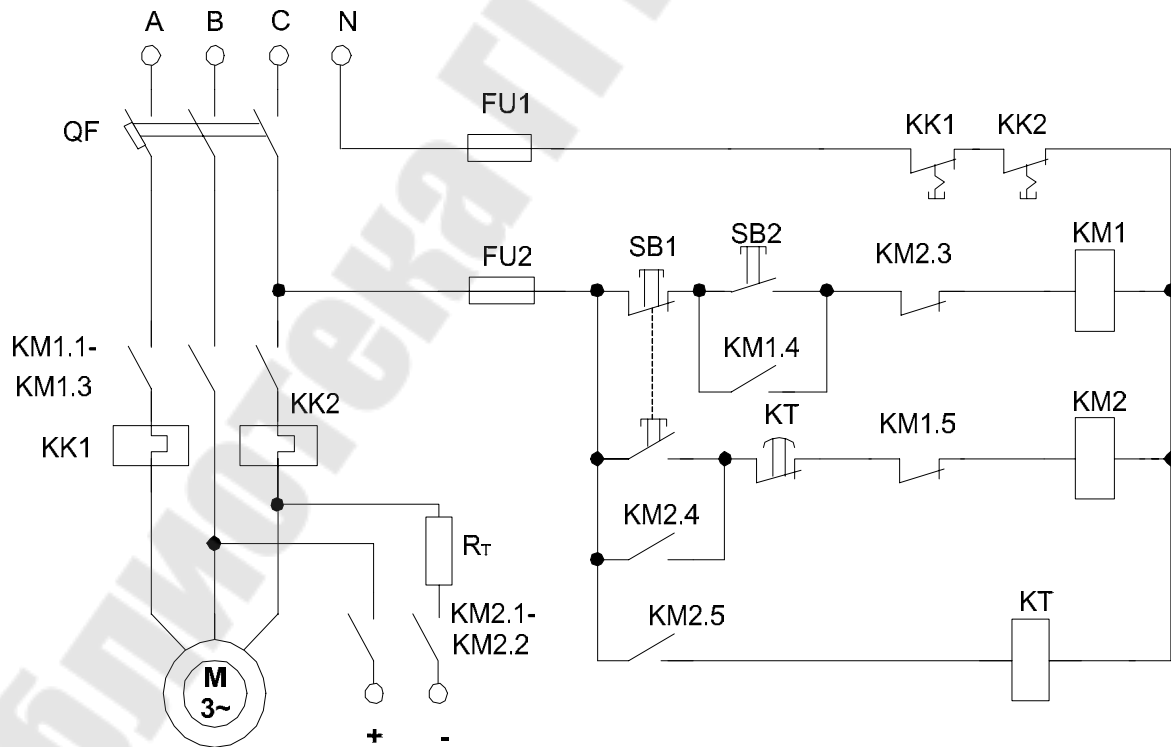


Рис. 30. Динамическое торможение АД в функции времени

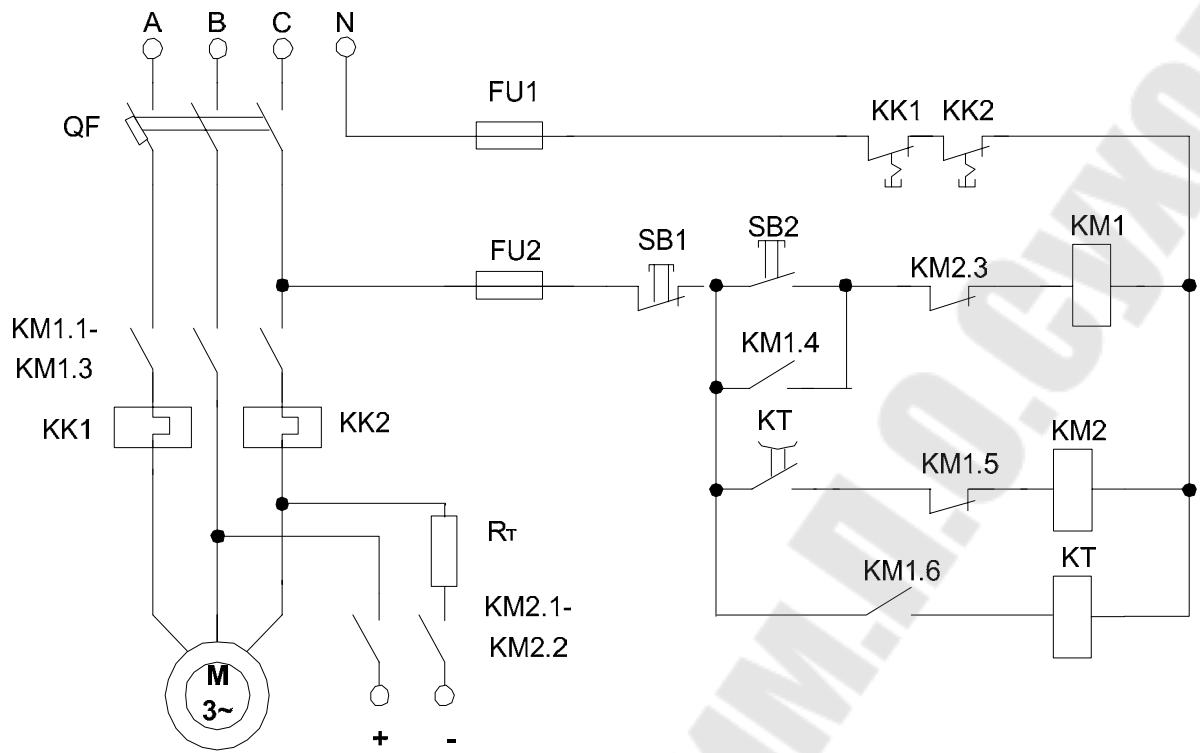


Рис. 31. Динамическое торможение АД в функции времени

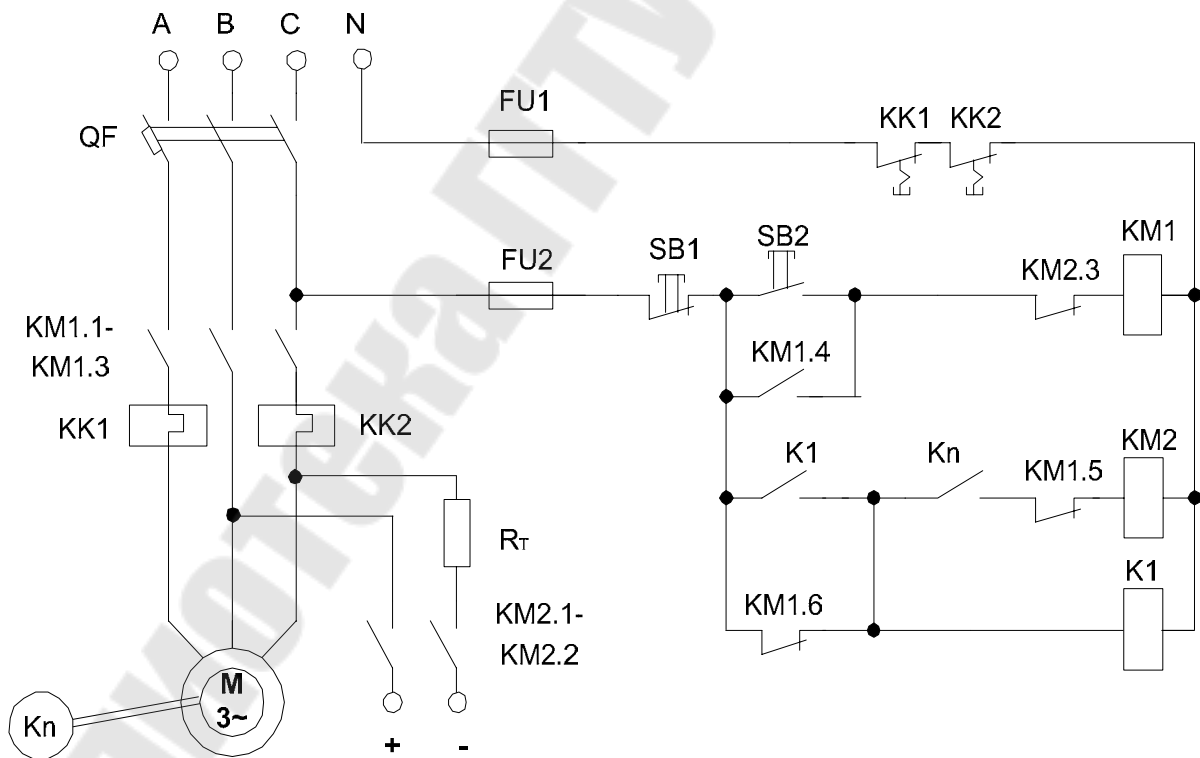


Рис. 32. Динамическое торможение АД в функции скорости

## Лабораторная работа №6

### ТИПОВЫЕ УЗЛЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА БЕСКОНТАКТНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ.

**Целью работы:** изучение принципа действия основных логических элементов, типовых узлов систем управления на их основе, а также развитие навыков проектирования бесконтактных систем управления электроприводами.

#### Основные теоретические положения

В настоящее время основной элементной базой для построения систем управления электроприводами являются интегральные полупроводниковые микросхемы, имеющие очень малые габариты и очень высокую надежность. Исполнительные аппараты - сильноточные реле, контакторы, осуществляющие коммутации силовых цепей электропривода, обычно остаются контактными. Бесконтактные логические устройства, являясь слаботочными элементами, применяются в сочетании с согласующими входными, выходными и исполнительными устройствами.

Логическое устройство, выполняющее одну определенную логическую операцию над входными сигналами называют *логическим сигналом*.

В алгебре логики истинность суждения или высказывания о результатах той или иной логической операции обозначают символом 1, ложность – 0. Таким образом, логические переменные в алгебре логики принимают лишь два значения: единицу или нуль. Их называют *двоичными переменными*. Чтобы реализовать алгебру логики на электронных элементах, необходимо значение параметров этих элементов перевести на язык алгебры логики (0 или 1). Задавать значение параметров можно уровнем напряжения или полярностью импульсов.

Если сигналы подаются в виде высокого (положительной или отрицательной полярности) и низкого (близкого к нулю) уровня напряжения, то такой способ подачи сигнала называют *потенциальным*. Если высокому уровню напряжения  $U^1$  приписывают значение «единица», а низкому  $U^0$  – «нуль», то логику называют положительной (позитивной), в противном случае – отрицательной (негативной). Раз-

ность уровней единицы и нуля называют логическим перепадом  $U_L = U^1 - U^0$ . Он должен быть значительным, иначе нельзя будет четко отделить один уровень от другого

Если сигналы подают в импульсной форме, то такой способ подачи сигнала называют импульсным. При этом логической единице соответствует наличие импульса, логическому нулю – отсутствие импульса (положительная логика). Наибольшее распространение получили потенциальные логические элементы, так как их можно изготавливать по технологии интегральных микросхем.

Система логических элементов, на базе которой можно строить логическую схему любой сложности, называется функционально полной. Основными наиболее простыми логическими элементами, образующими функционально полную систему являются элементы, выполняющие операции отрицания (НЕ), умножения (И), сложения (ИЛИ). Функционально полную систему могут обеспечить составные (комбинированные) логические элементы, выполняющие логические операции И-НЕ или ИЛИ-НЕ.

В табл.5 приведены основные логические элементы, их обозначения и таблицы истинности, электрическая модель элементов.

Логические элементы выполняют как на дискретных приборах, так методами интегральной технологии. Для большинства серий интегральных микросхем базисной системой являются логические элементы И-НЕ или ИЛИ-НЕ.

### **Основные логические элементы в дискретном исполнении.**

*Логический элемент НЕ* имеет один вход и один выход (табл. 5) и выполняет операцию отрицания. Он представляет собой усилительный каскад на биполярном или полевом транзисторе, работающий в ключевом режиме. На рис.33 показан элемент НЕ на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ. Элемент предназначен для работы с сигналами положительной полярности в положительной логике. Транзистор КТ закрыт отрицательным потенциалом на базе, подаваемом от источника  $E_б$ . При подаче на вход элемента сигнала низкого уровня  $U_{ВХ} = U^0$ , соответствующего логическому нулю, транзистор остается закрытым, коллекторный ток равен нулю, т.е. через резистор  $R_K$  ток не проходит и на выходе напряжения  $U_{ВЫХ} = E_K$ , т.е. высокого уровня  $U^1$ , соответствующего логической 1. При высоком уровне напряжения на входе  $U_{ВХ} = U^1$  транзистор находится в режиме

Таблица 5.

## Основные логические элементы

Логическая операция	Обозначение логического элемента	Формула операции	Электрическая модель на контактах реле	Таблица истинности		
				x	y	
НЕ		$y = \bar{x}$		x	y	
				1	0	
				0	1	
ИЛИ		$y = x_1 \vee x_2$ $y = x_1 + x_2$		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
				1	1	1
				0	1	1
				1	0	1
				0	0	0
И		$y = x_1 \wedge x_2$ $y = x_1 \cdot x_2$		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
				1	1	1
				0	1	0
				1	0	0
				0	0	0
ИЛИ-НЕ		$y = \overline{x_1 \vee x_2}$		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
				1	1	0
				0	1	0
				1	0	0
				0	0	1
И-НЕ		$y = \overline{x_1 \wedge x_2}$		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
				1	1	0
				0	1	1
				1	0	1
				0	0	1

насыщения, появляется коллекторный ток и на резисторе  $R_K$  создается падение напряжения, примерно равное нулю ( $U_{B_{ылX}}=U^0$ ), т.е. будет логический нуль, элемент является инвертором (выполняет операцию отрицания).

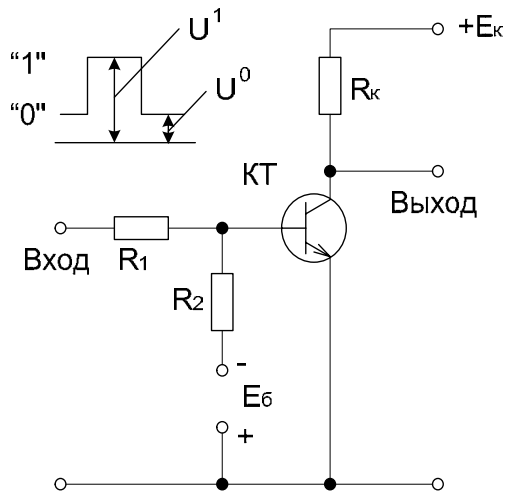


Рис. 33. Реализация элемента НЕ

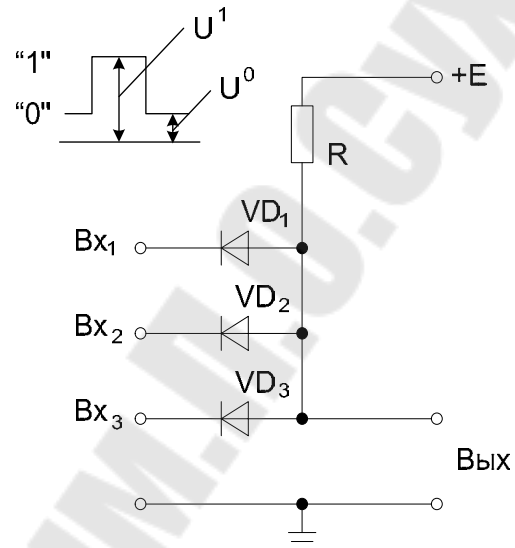


Рис. 34. Реализация элемента И

Логический элемент И (табл.5) может иметь два (или более) входа и один выход и работать как при потенциальных, так и импульсных сигналах. Аналогом его может служить схема из последовательно включенных контактов реле. На рис.34 представлен элемент И, выполненный на диодах, предназначенный для работ с сигналом в виде напряжений (или импульсов) положительной полярности в положительной логике. Он имеет три входа и один выход. Элемент реализует операцию И в том случае, когда одновременно на всех входах присутствует сигнал, соответствующий 1, тогда на выходе появляется сигнал 1, т.е. напряжение  $E > U^0$ .

Логический элемент ИЛИ (табл.5) может иметь два (и более) входа, один выход и работать как при потенциальных, так и при импульсных сигналах. Аналогом его может служить схема из параллельно включенных контактов реле. На рис.35 показана реализация элемента ИЛИ. Элемент предназначен для работы от сигналов положительной полярности в положительной логике.

Для реализации элемента ИЛИ необходимо присутствие хотя бы на одном из входов сигнала 1.

Следует отметить, что одна и та же схема в разных логиках служит для реализации как операции И, так и операции ИЛИ. Например, элемент И на рис.34 в отрицательной логике реализовывает опе-

рацию ИЛИ. Элементы ИЛИ, И, выполненные на диодах, могут не содержать источника питания.

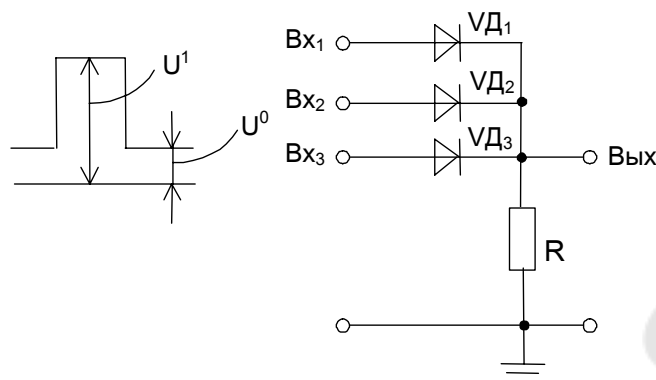


Рис. 35. Реализация элемента ИЛИ

Операции ИЛИ-НЕ и И-НЕ образуются путем инверсии результатов при выполнении операции ИЛИ и И, соответственно

$$\text{ИЛИ-НЕ } (x_1, x_2) = \overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2};$$

$$\text{И-НЕ } (x_1, x_2) = \overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2},$$

что видно из таблицы истинности для двух входных сигналов (табл.5).

Элемент, выполняющий операцию И-НЕ в положительной логике в отрицательной логике выполнит операцию ИЛИ-НЕ и наоборот.

Логические элементы в интегральном исполнении предназначаются для работы с сигналами в потенциальной форме. Они могут выполняться по логике разных типов.

*Типовые узлы в цифровой электронике.* К основным типовым узлам относятся триггеры, счетчики, дешифраторы регистры, сумматоры и т.д. Все вышеназванные устройства в настоящее время разрабатываются на базе интегральной технологии, а базисной системой для интегральных микросхем являются логические элементы.

*Триггер* - это устройство с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения одного бита информации – «0» или «1». В общем случае у триггера имеются два типа входов: для сигналов, определяющих новое состояние триггера (информационные), и для занесения этой информации в триггер (исполнительные или синхронизирующие).

Простейшими среди большого разнообразия являются RS - триггеры (рис.36). Триггеры такого типа построены на двух логических элементах ИЛИ-НЕ – триггер с прямыми входами (рис.36,а) или на двух элементах И-НЕ – триггер с инверсными входами (рис.36,б).



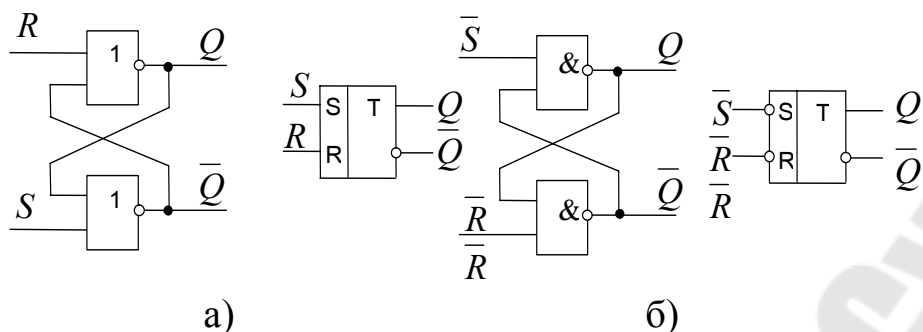


Рис. 36. Схемы и условные обозначения RS-триггеров

Выход каждого из элементов подключен к одному из входов другого элемента, что обеспечивает триггеру два устойчивых состояния.

Таблица 6, называемая таблицей переходов определяет закон функционирования триггера на элементах ИЛИ-НЕ. Таблица показывает в какое состояние перейдет триггер после подачи на его входы любой возможной комбинации сигналов.

Таблица 6.

Таблица переходов RS-триггера

R	S	Q	Примечание
0	0	0	Хранение
0	1	1	Установка 1
1	0	0	Установка 0
1	1	—	Запрещено

Схема синхронизируемого RS-триггера, его условное обозначение показаны на рис.37.

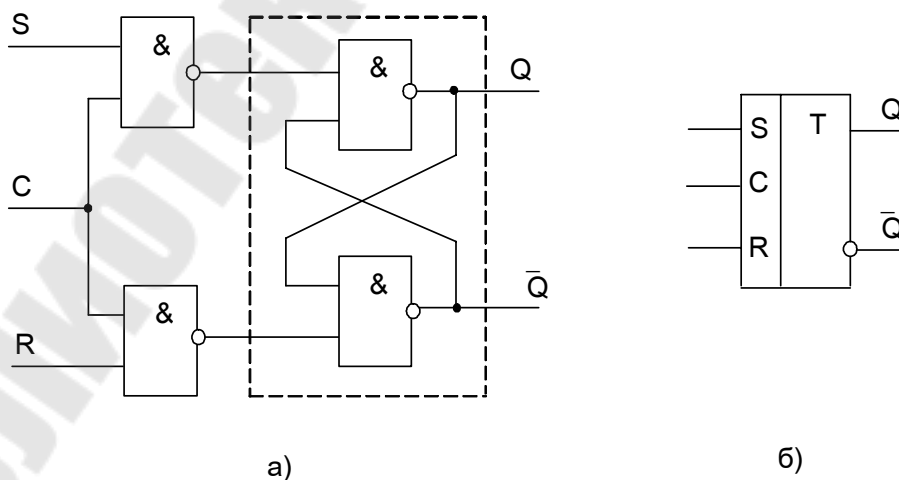


Рис. 37. Структура (а), обозначение (б) синхронизируемого RS-триггера

Обычно на вход синхронизации поступает логический нуль, поэтому на выходах левых элементов И-НЕ, соединенных с входами обведенного пунктиром RS-триггера, наблюдаются логические единицы и RS-триггер сохраняет свое состояние независимо от того, какие сигналы на входах R и S и изменяются ли они. Переключение триггера (или подтверждение предыдущего состояния) происходит в момент появления на C-входе логической единицы. Таблица переходов для синхронизируемого RS-триггера полностью совпадает с таблицей переходов RS-триггера на элементах ИЛИ-НЕ (табл.6).

Для повышения устойчивости работы, особенно при обработке информации в вычислительных устройствах, триггеры выполняют двухступенчатыми (рис.38).

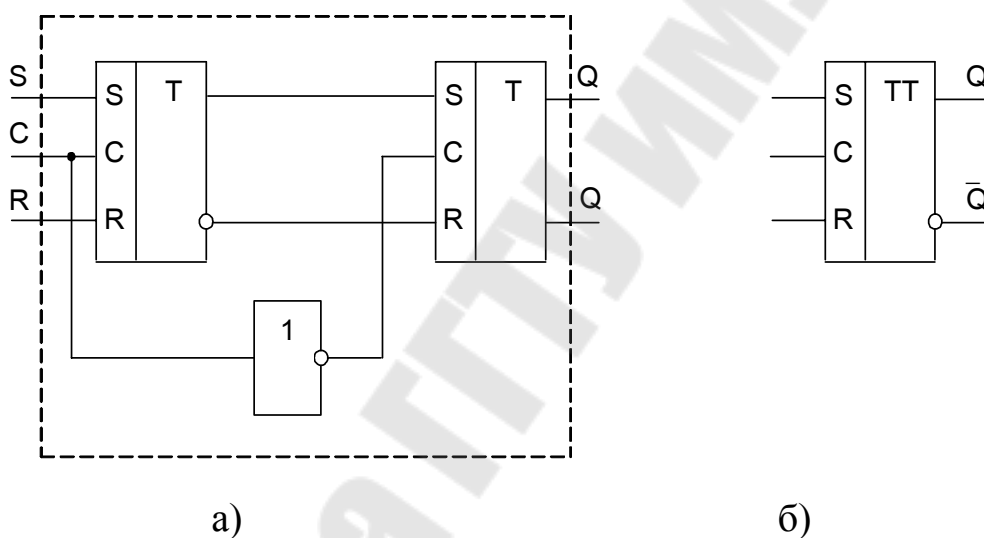


Рис. 38. Структура (а) и обозначение (б) двухступенчатого RS-триггера

Среди триггеров наибольшее практическое значение имеют JK-триггеры благодаря универсальным свойствам. Универсальность JK-триггеров носит двойственный характер. Во-первых, эти устройства с равным успехом могут быть использованы в регистрах, счетчиках, делителях частоты и других узлах, и, во-вторых, путем определенного соединения выводов они легко обращаются в триггеры других типов.

На рис.39 приведена схема JK-триггера.

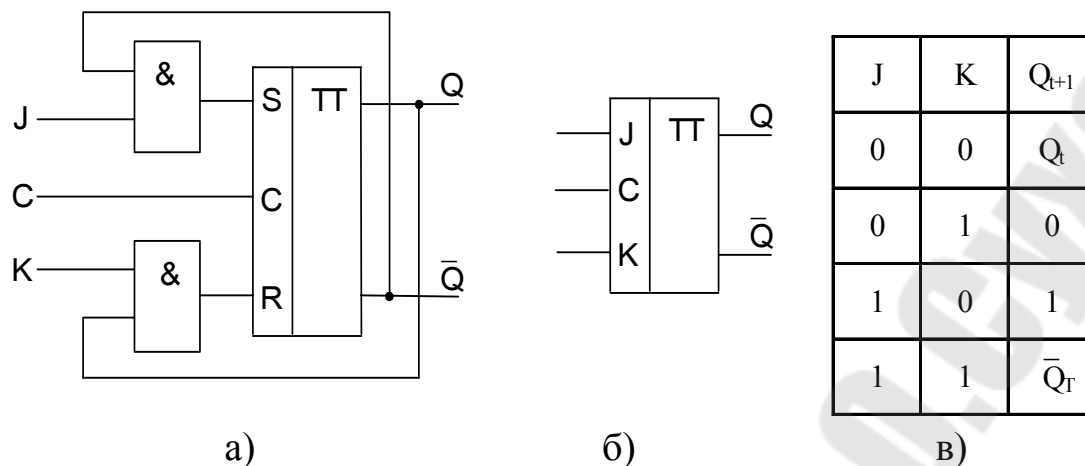


Рис. 39. JK-триггер: структура (а), обозначение (б), таблица переходов (в)

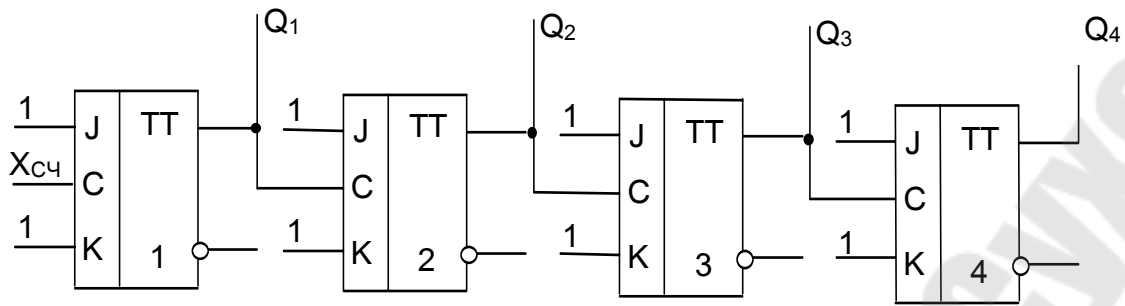
*Счетчиком* называется устройство, предназначенное для подсчета числа импульсов, поступающих на его вход. Счетчики состоят из последовательно включенных тактируемых триггеров (рис.40).

Таблица 7 показывает состояния, в которых находятся триггеры счетчика при воздействии серии входных сигналов  $X_{сч}$ .

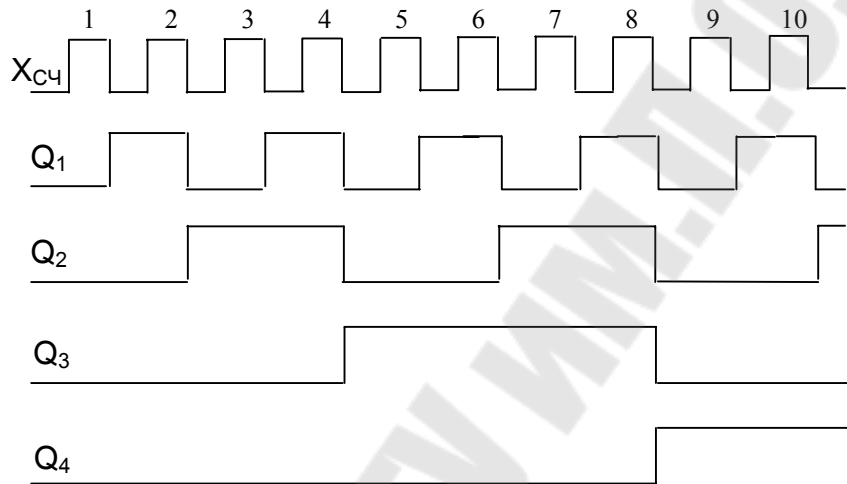
Таблица 7.

$X_{сч}$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$X_{сч}$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$
0	0	0	0	0	8	0	0	0	1
1	1	0	0	0	9	1	0	0	1
2	0	1	0	0	10	0	1	0	1
3	1	1	0	0	11	1	1	0	1
4	0	0	1	0	12	0	0	1	1
5	1	0	1	0	13	1	0	1	1
6	0	1	1	0	14	0	1	1	1
7	1	1	1	0	15	1	1	1	1

Состояние выходов  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  в двойной системе соответствует количеству импульсов, поступивших на вход С элемента 1 (рис.40, а).



а)



б)

Рис. 40. Счетчик импульсов: а – схема счетчика на основе JK-триггера; б – временная диаграмма

В приведенной схеме счетчика на входы J и K JK-триггеров подаются сигналы 1. Выход каждого предыдущего триггера  $Q_{n-1}$  соединен с входом синхронизации  $C_n$  последующего триггера. Каждый JK-триггер в счетчике выполняет функцию несинхронизируемого триггера со счетным входом. По спаду единичного входного сигнала изменяется состояние триггера младшего разряда счетчика на противоположное (т.е. реализуется сложение по модулю 2 в том разряде). В последующих разрядах аналогичное действие производит сигнал переноса. Разрядность счетчика, а следовательно, и число триггеров определяется максимальным числом, до которого он считает. Максимальное хранимое в счетчике число при полном заполнении его единицами равно  $N = 2^n - 1$ , где  $n$  - число триггеров.

Обычно счетчик имеет цепь установки в нулевое состояние (сброс триггеров в 0). Однако начальное состояние счетчика обяза-

тельно нулевое. Начальное состояние может устанавливаться передаче в счетчик кода некоторого числа, и с него уже будет начинаться операция счета единиц. Такой режим работы счетчика необходим, например, в делителях частоты.

*Делитель числа импульсов.* Из временной диаграммы (рис.40,б) видно, что частота импульсов на выходе элемента 1 уменьшается в два раза, на выходе элемента 2 – в 4 раза, а на выходе  $n$ -элемента в  $2^n$  раз. Следовательно счетчик импульсов в обычном режиме работы может использоваться и в качестве делителя частоты в  $2^n$  раз. В ряде случаев требуется осуществить деление импульсов, поступающих на счетчик, на произвольное число  $m \leq M = 2^n$ .

Один из способов решения этой задачи состоит в том, что перед началом каждого цикла счета импульсов регистр счетчика устанавливается не в состояние  $N_0 = 00\dots 0$ , а в состояние  $N_{M-m}$ , при котором в нем записано число  $M-m$ . Тогда при поступлении на счетчик  $m$  импульсов он полностью заполнится, и на его выходе возникнет импульс переноса, фиксирующий поступление  $m$  импульсов на счетчик. После этого счетчик снова устанавливается в состояние  $N_{M-m}$  и т.д. Для установки в регистре нужного начального числа  $M-m$  применяется система связей выхода счетчика с входами триггеров установки 1. Эти связи распространяются только на те триггеры, в которых перед началом счета должна быть записана цифра 1.

*Дешифратор (декодер)* преобразует код, поступающий на его входы, в сигнал только на одном из его выходов. В общем случае дешифратор с  $n$  двоичными входами имеет  $2^n$  выходов (рис.41). Дешифраторы широко применяются в устройствах управления, для построения распределителей импульсов по различным цепям, в системах цифровой индексации и т.д.

Из рис. 41 видно, что каждому из  $L$  выходов ( $L=8$ ) дешифратора соответствует одна определенная логическая функция в виде логического произведения трех из шести возможных переменных  $X_1, X_2, X_3, \bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ . Эти произведения составлены таким образом, что каждому отличному от нуля значению произведения соответствует одно и только одно определенное состояние регистра и значение числа  $N=N_i$ , записанного в регистре. Так, например, числу  $N_i=101=5$  (здесь  $x_1=1, x_2=0, x_3=1$ ) соответствует произведение  $x_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0$ , а числу  $N=000=0$  соответствует произведение  $\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0$ .

Реализация восьми функций  $y_i$  осуществляется восемью трехвходовыми схемами И, работающими в положительной логике.

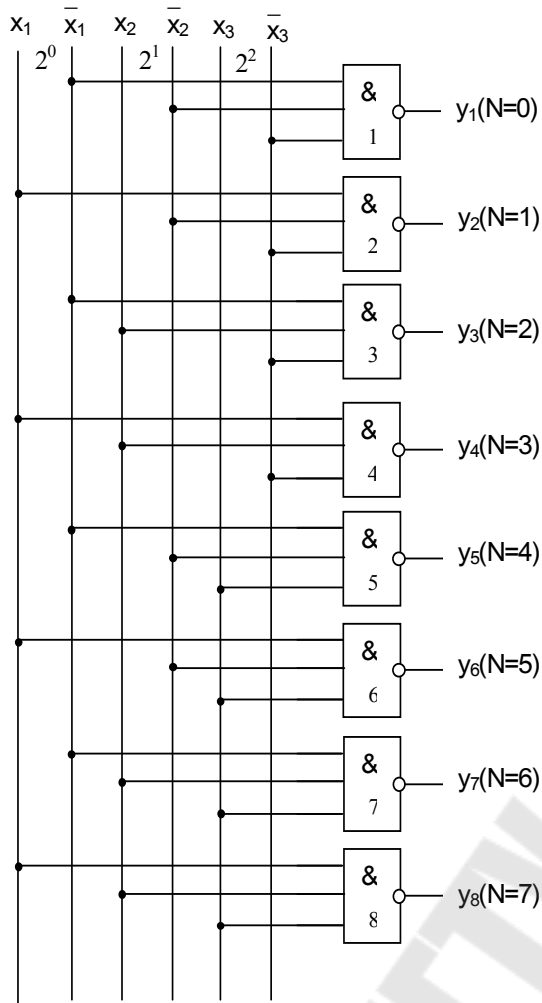
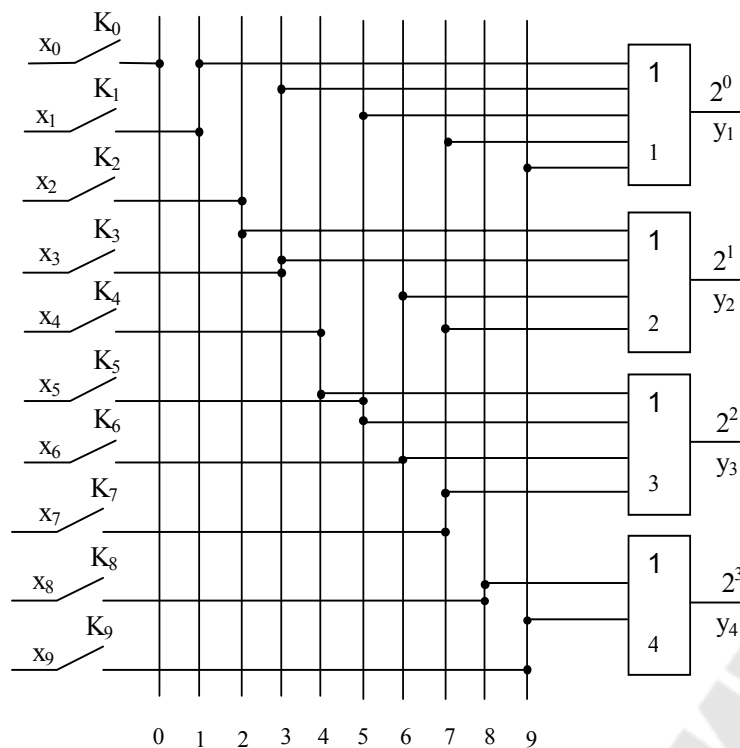


Табл.8

N	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>6</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>
0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	0	1	1	1
5	1	1	1	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	1	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0

а) б)  
Рис. 41. Дешифратор: а – схема; б – таблица состояний

*Шифратор (кодер)* служит для преобразования одиночного сигнала в  $n$ -разрядный двоичный ход. Наибольшее применение он находит в устройствах ввода информации. На рис.42 показана принципиальная схема шифратора для преобразования кода десятичного числа в код двоичного числа. Входы шифратора –ключи  $K_0$ - $K_9$  используются для ввода цифр десятичного числа от 0 до 9. При замыкании любого ключа на вход шифратора подается единичный сигнал ( $X_0$ - $X_9$ ). На выходе шифратора должен появляться двоичный ход ( $y_1, y_2, \dots$ ) этого десятичного числа. Как видно из таблицы переключений (табл.9), в этом случае нужен преобразователь с десятью входами и четырьмя выходами.



а)

Таблица 9  
Таблица переключений

Десятичное число	Двоичный код			
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

б)

Рис. 42. Шифратор: а – схема; б – таблица переключений

*Генераторы импульсов.* На базе логических элементов могут быть сконструированы разнообразные генераторы импульсов.

Широкое изменение частоты генерируемых импульсов обеспечивает устройство, собранное по схеме на рис.43,а. Длительность импульсов регулируют резистором  $R_1$ . Частоту следования импульсов можно определить по формуле:  $f=1/2R_1C_1$ , где  $f$  – частота, Гц;  $R_1$  – сопротивление, Ом;  $C_1$  – емкость, Ф.

Выходную частоту симметричного мультивибратора (рис.43,б) можно изменять в пределах 1 Гц до 10 МГц, если емкости конденсаторов выбирать в пределах от 50 мкФ до 10 пФ.

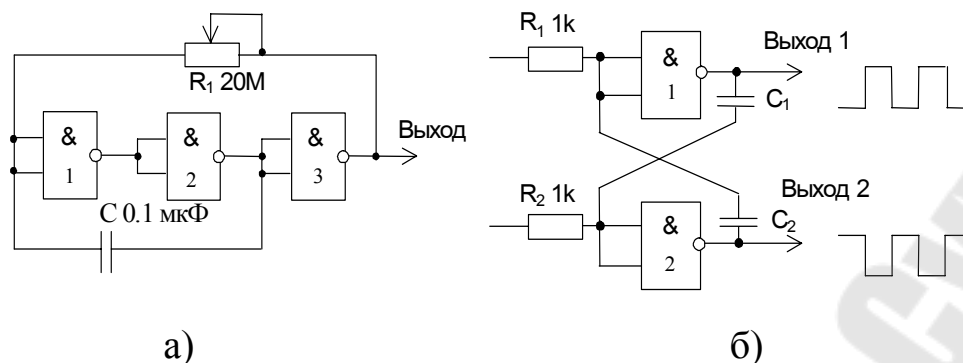


Рис. 43. Генератор импульсов: а – генератор импульсов с регулируемой длительностью; б – симметричный мультивибратор

*Устройство «Пуск - Стоп».* Схема состоит из RS-триггера, выполненного на элементах «И-НЕ» и двух кнопках SB1 и SB2 (рис.44).

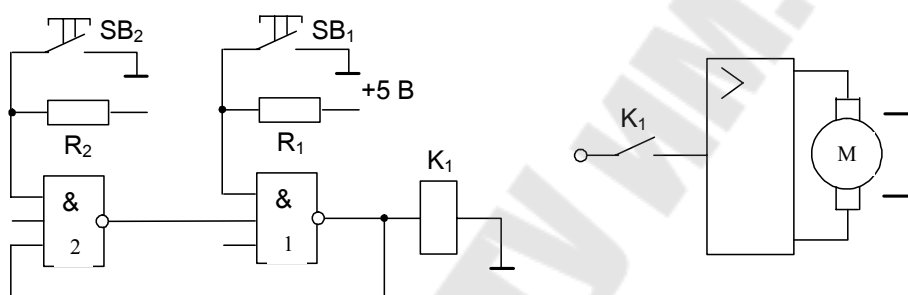


Рис. 44. Схема устройства «Пуск – Стоп»

При нажатии кнопки SB1 и на вход элемента 1 подается 0, на вход элемента 2 по обратной связи подается 1, т.е. в триггер записывается логическая 1, что соответствует команде «Пуск». При отпуске кнопки SB1 на входах триггера появится комбинация сигналов 11, что равнозначно хранению информации, ранее записанной в триггере. При нажатии кнопки SB2 в триггере записывается логический нуль, что соответствует команде «Стоп».

На выходе триггера включено реле K1, оно возбуждается при появлении на выходе логической 1 и включает двигатель.

*Устройство «Вперед-Стоп-Назад».* Схема приведена на рис.45. Она состоит из двух RS-триггеров (элементы 3-6), четырех элементов 1, 2, 7, 8, с помощью которых исключается одновременное включение двигателя «Вперед» и «Назад» и трех кнопок управления SB1, SB2, SB3.

При нажатии кнопки SB1 на выходе элемента 3 появляется логическая 1, возбуждается реле K1 и двигатель включается в прямом направлении. Одновременно на вход элемента 7 через элемент 4 по-



дается 0, что вызывает блокирование триггера 5-6, т.е. на выходе элемента 6 появится 0, тем самым исключается восприятие команды «назад». При нажатии кнопки «Стоп» на выходах элементов 3 и 6 появляется 0 и двигатель останавливается. Для реверса необходимо нажать кнопку SB2, что приведет к возбуждению реле K2 и двигатель начнет вращаться в обратном направлении.

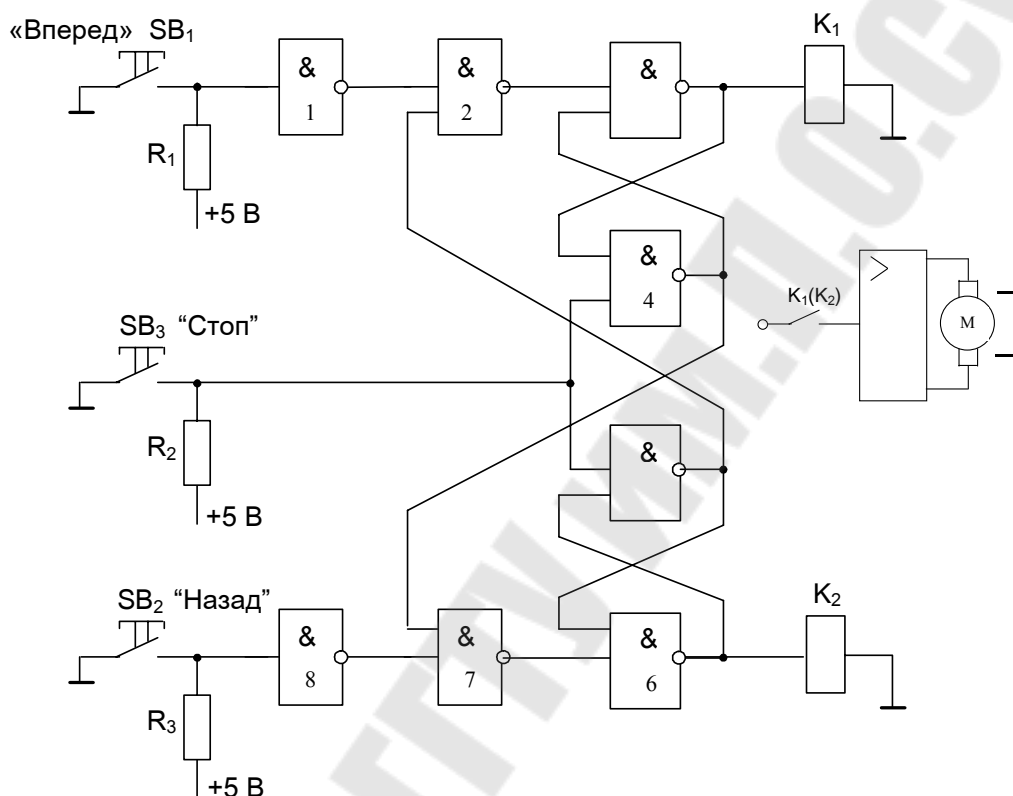


Рис. 45. Схема устройства «Вперед – Стоп – Назад»

### Лабораторный стенд

Стенд состоит из 34-х логических элементов типа «И-НЕ», двух тактируемых RS-триггеров, 4-х резисторов сопротивлением 1,5 кОм, конденсаторов C1-C2 емкостью 0,1 мкФ и C3-C4 емкостью 0,01 мкФ, 4-х кнопок, блока управления электродвигателем постоянного тока, двигателя М, который через редуктор вращает ходовой винт и приводит в движение каретку К. Включение лабораторного стенда осуществляется выключателем S9. При этом на входы всех логических элементов подается постоянное напряжение + 5В, что соответствует логической «1», а на выходе элементов появляется «0», о чем фиксирует свечение лампочки.

Включение электропривода производится тумблером S10.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать схему устройства «Пуск-Стоп» и проанализировать его работу.
2. Собрать схему устройства «Вперед-Стоп-Назад» и проанализировать его работу.
3. Собрать одну из схем генератора импульсов, с помощью осциллографа определить частоту и длительность выходных импульсов.
4. Разработать и собрать устройство программного управления приводом движения «Вперед – Назад – Стоп» по одной из программ, заданной преподавателем.

1. S1-S3-S2-S4	11. S1-S3-S2	21. S3-S1-S4
2. S1-S4-S2-S3	12. S1-S4-S2	22. S3-S1-S2
3. S2-S3-S1-S4	13. S1-S4-S3	23. S3-S2-S4
4. S2-S4-S1-S3	14. S2-S4-S3	24. S4-S2-S3
5. S2-S1-S4-S3	15. S2-S1-S3	25. S4-S1-S2
6. S3-S4-S1-S1	16. S2-S1-S4	26. S4-S1-S3
7. S3-S1-S4-S1	17. S2-S3-S1	
8. S3-S2-S4-S1	18. S2-S4-S1	
9. S4-S2-S3-S1	19. S3-S4-S1	
10. S4-S1-S3-S2	20. S3-S4-S2	

## Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Схемы, собираемые в процессе выполнения работы.
3. Результаты замеров частоты, длительности импульсов.
4. Ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Основные логические элементы. Таблицы истинности.
2. Реализация элементов НЕ, ИЛИ, И в положительной логике.
3. Элемент ИЛИ-НЕ, таблица истинности, реализация в положительной логике.
4. Элемент И-НЕ, таблица истинности, реализация в положительной логике.
5. RS-триггер, таблица истинности.

6. К-триггер, таблица истинности.
7. Счетчик импульсов, таблица истинности
8. Делитель импульсов на произвольное число.
9. Работа дешифратора, таблица состояний.
10. Работа шифратора, таблица переключений.
11. Генераторы импульсов.
12. Устройство «Пуск-Стоп».
13. Устройство «Вперед-Стоп-Назад».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергоиздат, 1998.
2. Кузнецов Б.В., Сацункевич М.Ф. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления. – Мн.: Беларусь, 1982.
3. Сацункевич М.Ф. электрические аппараты управления и защиты. – Мн.: Беларусь, 1984.
4. Кузнецов Б.В. Выбор электродвигателей к производственным механизмам. – Мн.: Беларусь, 1984.
5. Михеев Ю.А., Морозов Э.В. Электрический привод. – М.: Агропромиздат, 1988.
6. Электротехнический справочник / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоиздат, 1981. - Т.2.
7. Электротехнический справочник/ Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоиздат, 1982.- Т.3.- Кн.2.
8. Кузнецов Б.В., Сацункевич М.Ф. Справочное пособие заводского электрика.- Мн.: БелаРусь, 1978.
9. Автоматизированное управление электроприводами (Лабораторные работы) / Под ред. А.А. Сиротина.- М.: Высшая школа, 1978.
10. Васин В.М. Электрический привод – М.: Высшая школа, 1984.
11. Справочник по наладке электроустановок / Под ред. А.С. Дорофеюка. – М.: Энергия, 1976.
12. Хализев Г.П. Электропривод и основы управления. – М.: высшая школа, 1968.
13. Хализев Г.П. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 1977.
14. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энегроатомиздат, 1988.

## СОДЕРЖАНИЕ

Релейно-контакторное управление приводами.....	3
Лабораторная работа №1. Автоматизация пуска, торможения и реверса асинхронного двигателя с КЗ ротором в функции скорости.....	6
Лабораторная работа №2. Автоматизация пуска, торможения и реверса ДПТ в функции ЭДС.....	13
Лабораторная работа №3. Автоматизация пуска и торможения ДПТ параллельного возбуждения в функции времени.....	23
Лабораторная работа №4. Практические навыки сборки релейно-контакторных схем на макете для автоматизации пуска и торможения ДПТ.....	31
Лабораторная работа №5. Практические навыки сборки релейно-контакторных схем на макете для автоматизации пуска и торможения АД.....	38
Лабораторная работа №6. Типовые узлы схем управления электроприводами на бесконтактных логических элементах.....	44
Литература.....	60

# **РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**Лабораторный практикум  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Авторы-составители: **Вешпер** Леонид Владимирович  
**Логвин** Владимир Васильевич

Подписано в печать 20.04.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,46.

Изд. № 150.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.