

### СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГОЙ

В промышленном производстве на транспорт приходится 20 — 30% общих расходов на механическую обработку деталей и сборку изделий [1]. С другой стороны, процесс перемещения все больше становится активным фактором производственного процесса, воздействующим на его технологическую и организационную структуру. В связи с этим одной из важнейших задач является дальнейшая механизация и автоматизация внутризаводских транспортных операций.

За последние годы в качестве транспортирующих механизмов для внутрицеховых и межцеховых связей, для складских операций стали широко применяться подвесные электротягачи с автоматическим адресованием грузов [2].

Сотрудниками Ульяновского политехнического института совместно с работниками завода малолитражных двигателей разработана межцеховая подвесная монорельсовая дорога с использованием электротягачей, изготовленных Московским заводом «Красный металл», автоматически доставляющая грузы по заданно-

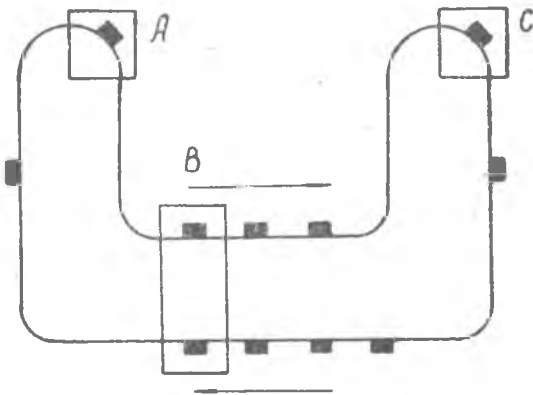


Рис. 1. Схематическое изображение трассы подвесной монорельсовой дороги.

му адресу. Первая очередь дороги имеет три пункта погрузки — разгрузки (рис. 1). Вся трасса дороги замкнута в кольцо. Движение электротягачей принято по часовой стрелке. Для автоматического адресования груза каждому пункту погрузки — разгрузки присваивается свой код:

из пункта «А» в пункт «С» — 4;

из пункта «С» в пункт «А» — 7;

из пункта «А» в пункт «В» — 1;

из пункта «В» в пункт «А» — 2;

из пункта «В» в пункт «С» — 3;

из пункта «С» в пункт «В» — 5.

К системе предъявляются два основных требования:

1. Доставка груза по заданному адресу согласно принятому коду в любой пункт погрузки — разгрузки.

2. Соблюдение условия, исключающего столкновение электротягачей на трассе и нахождение в каждом пролете (между двумя соседними опорами) не более одного электротягача. Первое требование выполняется схемой управления, смонтированной на подвесном пульте, который перемещается вместе с тягачом и является его составной частью. Электротягач представляет собой тележку, подвешиваемую к двутавровой балке четырьмя опорными роликами. Тележка снабжается двигателем перемещения и двигателем механизма подъема груза. Схема управления обеспечивает автоматический пуск и останов двигателя перемещения и автоматическое опускание пульта управления при остановке электротягача в месте назначения. Подъем и опускание груза, а также подъем пульта управления осуществляется оператором путем воздействия на соответствующие кнопки схемы управления. Основным элементом схемы является программное устройство с использованием реле счета импульсов типа РСИ-1. При исчезновении напряжения происходит запоминание адреса, что обеспечивает движение тягача по заданному маршруту после того, как напряжение будет восстановлено.

В данной статье не преследуется цель описания схемы управления электротягачом, разработанной заводом-изготовителем. В Ульяновском политехническом институте разработаны схемы, обеспечивающие второе необходимое условие для нормальной работы всей подвесной дороги (пункт 2.) Поэтому, не приводя схемы, мы лишь кратко рассмотрим последовательность ее действия. При остановке тягача в пункте погрузки — разгрузки пульт управления автоматически опускается. Оператор с помощью пульта управления опускает груз, производит разгрузку и, если нужно, погрузку, задает программу движения и поднимает груз и пульт управления. При достижении пультом управления крайнего верхнего положения автоматически включается двигатель перемещения и отключается двигатель подъема пульта. Установленные по пути следования кулачки воздействуют на путевые выключатели,

расположенные на тягаче. Так осуществляется считывание рабочих мест и стрелок и обеспечивается движение тягача согласно заданной программе. Для выполнения второго условия все линии троллей кольцевой трассы разбиваются на рабочие участки. У (21 участок) отделенные друг от друга блок-участками БУ (рис. 2). Длина рабочих участков принята в пределах 22—32 м, а перед и после пунктов погрузки — разгрузки с целью увеличения их пропускной способности она уменьшена до 10—20 м. Рабочие

$$s = \frac{a_3 t_T^2}{2}$$

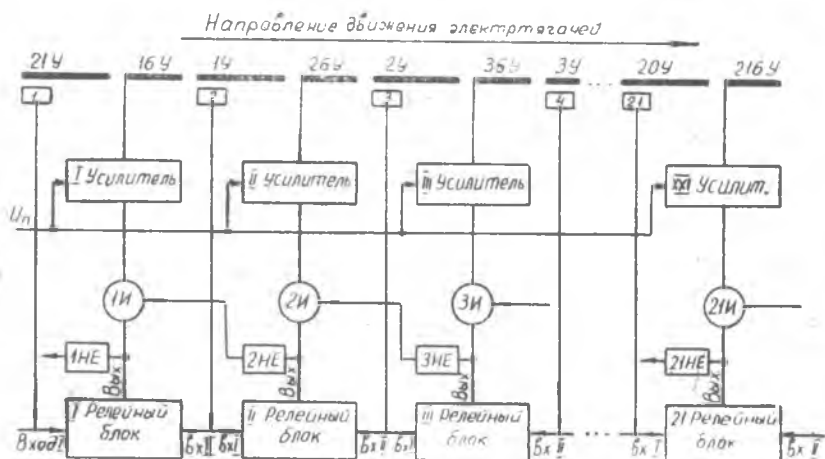


Рис. 2. Структурная схема управления блок-участками.

участки постоянно находятся под напряжением. Длина блок-участков выбирается исходя из тормозного пути электротягача:

$$s = \frac{a_3 t_T^2}{2},$$

где  $a_3$  — замедление электротягача с грузом;

$t_T$  — время торможения при движении электротягача с грузом, которое определяется по формуле

$$t_T = \frac{GD_{np}^2 n}{375 M_c + M_T}$$

С учетом запаса длина блок-участка принята равной одному метру.

Безостановочное движение тягача, исключение его столкновений с другими и нахождение в каждом пролете (в пределах одного рабочего участка) не более одного тягача возможно в том случае, когда при нахождении тягача на одном из рабочих участков включается ближайший блок-участок, расположенный по ходу движения и отключается блок-участок, расположенный с другого конца пролета. Такое управление блок-участками осуществля-

ется самим движущимся тягачом с помощью специального внешнего устройства. Таким образом, каждый тягач через посредство этого устройства стремится включить блок-участок для своего прохождения и отключает уже пройденный, запрещая движение следующему за ним тягачу. Запрет снимается при переходе тягача на следующий рабочий участок. На рис. 2 дана структурная схема управления блок-участками. Цифрами 1, 2, 3... 21 обозначены датчики контроля пути, устанавливаемые вдоль трассы подвесной монорельсовой дороги в начале каждого рабочего участка.

Работу релейного блока можно представить в виде таблицы 1. Из таблицы видно, что сигнал на выходе релейного блока есть тогда, когда есть сигнал на «Входе I» и отсутствует сигнал на «Входе II».

Таблица 1

Вход I	Вход II	Выход
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	0

Напряжение на блок-участке, например 2БУ, будет тогда, когда будет сигнал на выходе II релейного блока и отсутствует сигнал на выходе III усилителя. Работа схемы происходит следующим образом. При заходе тягача на рабочий участок IV сигнал с датчика контроля пути 2 поступает на вход II первого релейного блока и I второго релейного блока. При отсутствии сигнала с датчика контроля пути 3 на выходе второго релейного блока появляется сигнал. Если участок до 3У не занят, что соответствует отсутствию сигнала на выходе III усилителя, то на обоих входах схемы «2И» II релейного блока появляется сигнал и подается напряжение питания на блок-участок 2БУ. Если идущий впереди тягач не прошел датчик контроля пути 4, что соответствует занятому блок-участку 3БУ и рабочему участку 2У, на выходе III релейного блока есть сигнал, а на выходе элемента «ЗНЕ» он отсутствует. В этом случае питание на блок-участок 2БУ не подается, и электротягач, зайдя на него, останавливается. Электротягач будет продолжать движение при снятом напряжении с 3БУ, что соответствует нахождению идущего впереди электротягача на рабочем участке 3У. Максимальное количество электротягачей на трассе определяется числом рабочих участков.

Сотрудниками Ульяновского политехнического института разработаны три варианта схемы управления блок-участками. Особенность работы схемы состоит в том, что аппаратура, установленная на электротягачах и датчики контроля пути должны работать в широком диапазоне изменения температур, так как трасса монорельсовой дороги проходит по территории завода и не защищена от внешнего воздействия температур и атмосферных

ссадков. Общая протяженность первой очереди дороги 500 м. В условиях эксплуатации возможны случаи исчезновения напряжения. Нормальная работа дороги после восстановления напряжения возможна, если схема управления блок-участками при этом будет находиться в таком же положении, в каком она была перед исчезновением напряжения. Все разработанные схемы обладают этой способностью.

### Схема управления блок-участками с использованием шаговых искателей

Данная схема предназначена для управления блок-участками подвесной монорельсовой дороги, не имеющей ответвлений (рис. 3). В схеме управления используются шаговые искатели. Количество шаговых искателей равно количеству тягачей, находящихся на трассе. Перемещение щетки шагового искателя связано с перемещением соответствующего электротягача через бесконтактные конечные выключатели типа БВК-24, которые устанавливаются перед соответствующими блок-участками. При создании схемы использовано основное условие, при котором движение электротягачей происходит поочередно, по замкнутой кольцевой трассе, что исключает обгон без выхода за пределы кольцевой трассы. Первая очередь подвесной дороги имеет одно кольцо и поэтому лишена стрелок, в связи с чем в данной схеме не рассматриваются вопросы автоматического отключения шаговых искателей, обеспечивающего нормальную работу при выходе одного из тягачей за пределы кольцевой трассы. Количество шаговых искателей, управляющих блок-участками, в данной схеме

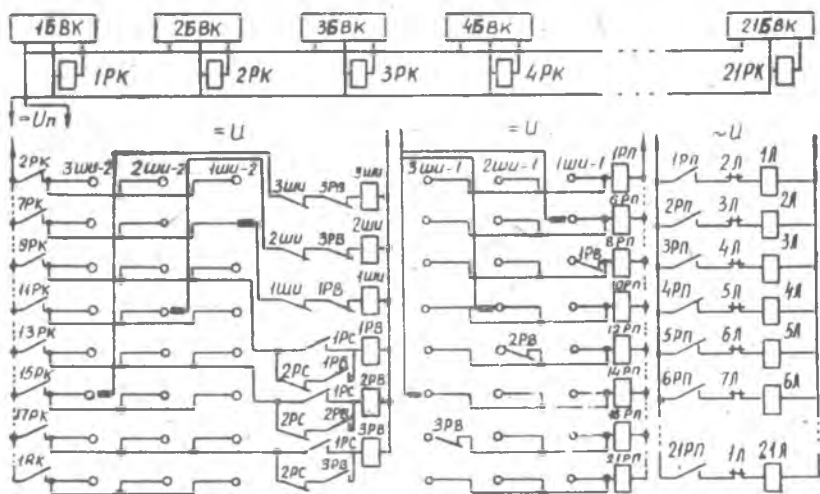


Рис. 3. Принципиальная схема управления блок-участками с использованием шаговых искателей.

равно трем, так как на кольцевой трассе будет находиться одновременно не более трех тягачей. В схеме предусмотрена возможность вывода любого из них на ремонт через стрелку с дистанционным управлением. Для этой цели в цепи катушек шаговых искателей включены контакты реле РВ, которое управляется контактами реле 1РС, обеспечивающего нормальную работу схемы при выходе электротягачей, и реле 2РС, обеспечивающего нормальную работу схемы при их возвращении на кольцевую трассу.

Реле 1РС и 2РС устанавливаются у места выхода электротягачей через стрелку. Управление их осуществляется конечными выключателями. При вводе подвесной дороги в работу электротягачи на трассе устанавливаются произвольно, но так, чтобы на каждом рабочем участке было не более одного. Для обеспечения правильной работы схемы щетка шагового искателя соответствующего тягача устанавливается в такое положение, при котором замыкается цепь промежуточного реле РП, срабатывание которого обеспечивает подачу напряжения на ближайший блок — участок по ходу движения тягача.

### Схема управления блок-участками с использованием реле типа РП-351

В качестве датчиков, сигнализирующих о месте нахождения электротягача на трассе, приняты шинки управления. На схеме рис. 4 шинки управления обозначаются 1ШУ, 2ШУ, ... 21ШУ соответственно количеству рабочих участков. Шинки управления выполняют функции путевых выключателей и устанавливаются в начале каждого рабочего участка. Напряжение на шинки управления не подано. Они оказываются под напряжением во время скольжения по ним токосъемника, установленного на электротя-

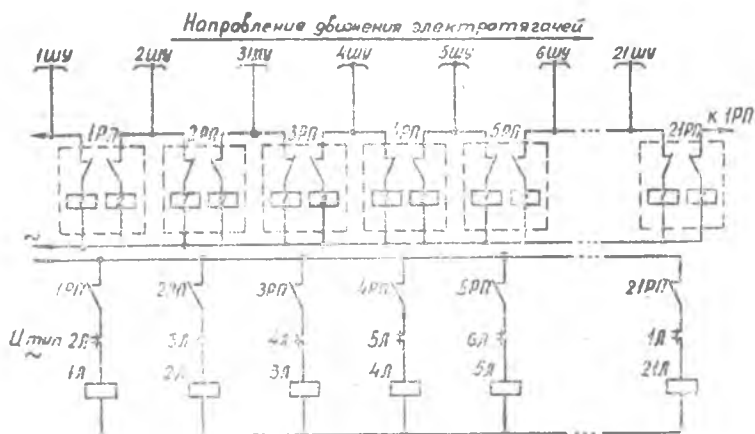


Рис. 4. Принципиальная схема управления блок-участками с использованием реле типа РП-351.

гаче. На токосъемник подана одна из фаз переменного напряжения 220 в. Таким образом, в момент подхода электротягача к шинке управления через нее эта фаза подается на реле РП типа РП-351. Другая фаза подана постоянно к катушкам реле РП ÷ 21РП.

Схема управления блок-участками работает следующим образом. При заходе электротягача на рабочий участок, например на 1-й, получает питание через шинку управления 1ШУ катушка 1 промежуточного реле 1РП. При этом замыкаются контакты в цепи его катушки 2 и в цепи магнитного пускателя 1Л. Однако для срабатывания магнитного пускателя 1Л необходимо, чтобы в цепи его катушки был замкнут контакт магнитного пускателя 2Л. Это возможно только тогда, когда второй рабочий участок свободен и магнитный пускатель 2Л выключен. При срабатывании магнитного пускателя 1Л его контактами включается блок-участок 2БУ, и тягач продолжает движение. Если же второй рабочий участок занят, то магнитный пускатель 1Л не сможет включить блок-участок 2БУ. Поэтому электротягач, двигаясь по первому рабочему участку, достигнув его конца, остановится и будет ждать освобождения второго рабочего участка. При дальнейшем его движении по трассе работа схемы происходит аналогичным образом.

#### **Схема управления блок-участками с использованием бесконтактных элементов**

Бесконтактные устройства обладают большей надежностью, быстродействием, долговечностью и требуют меньшего ухода, чем релейно-контактные. Они способны работать в условиях повышенной влажности, ударов, вибрации, загрязненной и агрессивной среды.

Разработанная схема (рис. 5) управления блок-участками повышает надежность управления, снижает вес и габариты, позволяет работать в широком диапазоне изменения температур. В качестве датчиков контроля пути в данной схеме применены бесконтактные конечные выключатели типа БВК-24.

Релейный блок выполнен с помощью статических триггеров, управляемых через диодные вентильные цепи положительными сигналами. Для получения логического элемента «И» используется эмиттерный повторитель, в котором триод включен по схеме с общим коллектором. Рассмотрим принцип действия отдельных элементов схемы [3].

1. **Триггер.** Триггер представляет собой усилитель, охваченный положительной обратной связью и способный практически мгновенно переходить из одного состояния в другое, когда управляющий сигнал на входе триггера достигает определенной величины (рис. 6). Такой переход называется опрокидыванием. При нормальных соотношениях параметров схемы, когда оба триода

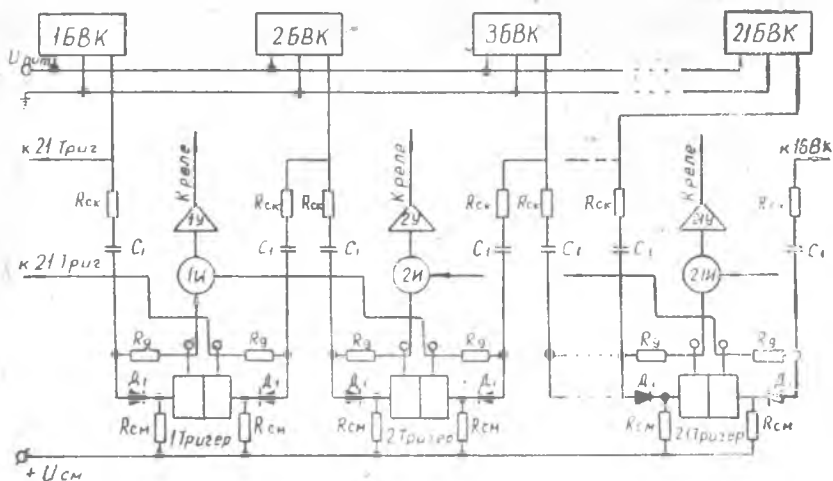


Рис. 5. Принципиальная схема управления блок-участками с использованием бесконтактных элементов.

закрываются или открываются, состояние триггера неустойчиво. При управлении триггером закрытием триодов, когда на базу подается положительный запирающий уровень сигнала, происходит подготовка открытого триода, затем нарастающий управляющий импульс постепенно выводит открытый триод из насыщения. Когда подготовка закрытия открытого триода заканчивается, триод  $T_2$  переходит на границу насыщения ( $S=1$ ), и ток базы определяется примерно следующим образом:

$$I_{\delta 2} = I_{c2} - \frac{U_{см}}{R_{см}} = \frac{U_{п}}{R_c + R_{кп}} - \frac{U_{см}}{R_{см}} - I_{y2} = \frac{U_{п}}{B_{п}R_{к}}$$

где  $I_{c2}$  — ток через сопротивление  $R_{c2}$ ;

$U_{см}$  — напряжение смещения;

$R_{см}$  — сопротивление;

$U_{п}$  — напряжение питания;

$R_{c2}$  — сопротивление коллекторной обратной связи;

$R_{к}$  — сопротивление в цепи коллектора;

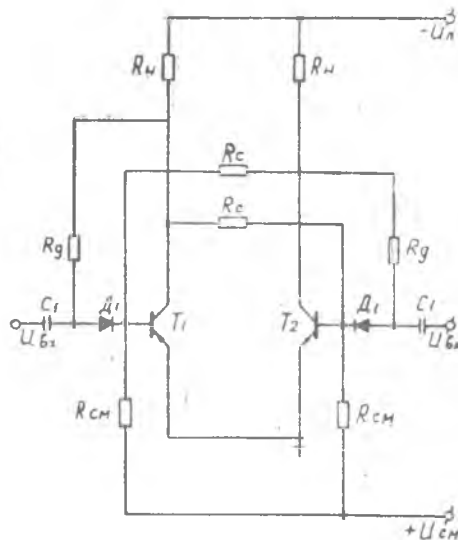


Рис. 6. Схема триггера.



$I_{y2}$  — ток управления триода;

$\beta_n$  — средний коэффициент усиления триода по току в схеме с общим эмиттером для границы насыщения;

$n$  — число нагрузок, параллельно подключенных к триоду, причем величина каждой нагрузки равна сопротивлению обратной связи.

При этом состояние закрытого триода  $T_1$  в течение некоторого времени не меняется. Дальнейшее увеличение управляющего тока  $I_{y2}$  выводит триод из области насыщения, вследствие чего понижается напряжение на коллекторе триода  $T_2$  и на базе триода  $T_1$ . Когда потенциал базы закрытого триода понизится до потенциала эмиттера ( $U_{об} = 0$ ),  $T_1$  попадает на границу отпирания и подготовка его к отпиранию заканчивается. Этот момент является началом лавинообразного регенеративного процесса. Условие, при котором возникает лавинообразный процесс переключения, определяется выражением

$$\frac{\beta_{N1} \beta_{N2} R_{K1} R_{K2}}{(R_{C1} + R_{K2})(R_{C2} + R_{K1})} \cong \frac{\beta_N^2 R_K^2}{(R_C + R_K)^2} > 1,$$

где  $\beta_N$  — коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером при нормальном включении.

Этот процесс начинается тогда, когда запирающий ток управления приблизительно достигает величины

$$I_{y2} = \frac{U_n}{R_{C2} + nR_k} - \frac{U_{см}}{R_{см}} - \frac{U_n}{\beta_n R_K}$$

и отношение управляющего запирающего тока к току базы открытого триода будет

$$\frac{I_{y2}}{I_{б2}} = \frac{U_n / \beta_n R_K}{U_n / (R_{C2} + nR_K) - \Delta U / R_C + I_{ко \max}}$$

где  $\Delta U$  — падение напряжения на зажимах эмиттер-коллектор открытого перехода.

Значение  $R_C$ , при котором отношение  $\frac{I_y}{I_b}$  достигает минимального значения и, следовательно, обеспечивается наилучшее использование управляющего (запирающего) тока, равно

$$R_C = nR_K (\Delta U \pm \sqrt{U_n \Delta U}) / (U_n - \Delta U).$$

Сопротивление  $R_C$  иногда шунтируют емкостью для ускорения времени переключения транзистора. В момент отпирания триода за счет заряда емкости ток в базе будет увеличиваться. При закрытии триода энергия, накопленная в емкости, расходуется на запираание и несколько ускоряет этот процесс.

Схема работает следующим образом. Диод  $D_1$ , связанный с базой и с коллектором закрытого триода за счет разности потенциалов между ними, смещается в обратном направлении и запирает цепь для прохождения импульса к базе закрытого триода. Другой диод, связанный с базой и коллектором открытого триода из-за отсутствия разности потенциалов между ними не получает

смещения и беспрепятственно пропускает запирающие импульсы на базу открытого триода. Одновременно с этим в нерабочем периоде, когда на входе отсутствует нулевой и присутствует отрицательный уровень сигнала, емкость  $C_1$ , связанная через  $R_0$  с коллектором открытого триода, заряжается. При этом на верхней обкладке, связанной через диод  $D_1$  с базой триода, накапливается положительный заряд, а на нижней — отрицательный. При появлении положительного входного сигнала емкость  $C_1$  через открытый диод  $D_1$  разряжается на входное сопротивление открытого триода и запирает его, что приводит к опрокидыванию триггера. Для возвращения триггера в прежнее положение необходимо подать сигнал на другой раздельный вход. В данной схеме при появлении сигнала база триода получает достаточное положительное смещение, и ток разряда емкости на входное сопротивление триода будет равен примерно току на том входе, где появляется входной положительный сигнал, то есть затухание в схеме будет близким к нулю. Это позволяет управлять триггером с помощью других триггеров или подобных переключающих элементов без дополнительного усиления импульсов и, следовательно, без промежуточного триода.

На основании методики [3] произведен расчет триггера. Значения параметров такого триггера следующие:

триоды  $T_1$  и  $T_2$  типа П16; диоды  $D_1$  типа Д9А; номинальное напряжение источника питания  $U_n = 12$  в; напряжение смещения  $U_{см} = 3$  в; сопротивления  $R_k = R_c = 820$  ом;  $R_{см} = 2$  ком;  $R_x = 3,9$  ком; емкость  $C_1 = 0,025$  мкф.

## 2. Элемент «И»

Для образования триодной логической схемы «И» используется эмиттерный повторитель, в котором триод включен по схеме с общим коллектором. Так как схема работает от двух входных сигналов, то используются два триода, включенных последовательно (рис. 7). Ток базы  $I_b$  является током входной цепи, а ток эмиттера образуется в цепи выхода. Входное сопротивление эмиттерного повторителя определяется как

$$R_{вх} = U_{вх}/I_{вх} = U_{вх}/I_b = R_э(\beta_N + 1).$$

Следовательно, входное сопротивление эмиттерного повторителя зависит от сопротивления  $R_э$  в цепи эмиттера и может быть значительно больше входного сопротивления в схеме с общим эмиттером или базой. Ток в цепи эмиттера триода в режиме усиления в  $\beta + 1$  раз больше, чем в цепи базы, следовательно, эмиттерный повторитель является усилителем тока, и коэффициент усиления по току равен

$$k_I = I_э/I_b = I_к/I_b + 1 = \beta + 1,$$

где  $\beta$  — коэффициент передачи тока базы.

Коэффициент усиления по напряжению  $k_n$  эмиттерного повторителя

$$k_n = U_R / U_{вх} = U_3 R_3 / I_6 R_{вх} = k_i R_3 / R_{вх} \cong 1,$$

то есть коэффициент усиления по напряжению эмиттерного повторителя приблизительно равен 1. Коэффициент усиления по мощности

$$k_p = k_i k_n \cong k_i.$$

Рассмотренные элементы собраны в схему в соответствии с рис. 5. Выход каждого конечного выключателя 1БВК ÷ 21БВК соединен с базами двух триодов соседних триггеров: с базой левого триода триггера, имеющего тот же номер, что и конечный выключатель, и с базой правого триода предыдущего триггера. В исходном состоянии левые триоды всех триггеров открыты, правые — закры-

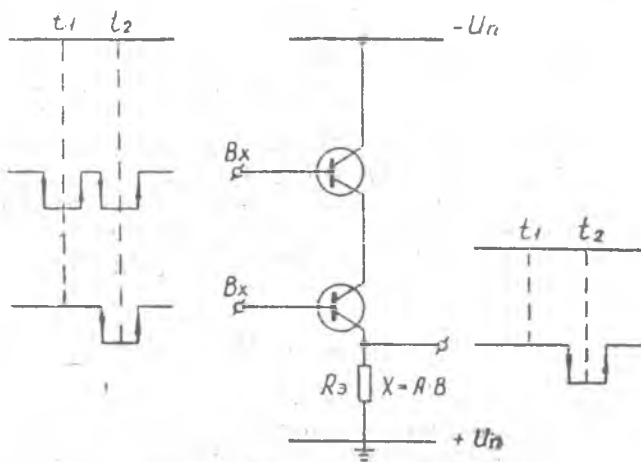


Рис. 7. Схема элемента «И».

ты, потенциал выхода левого триода каждого триггера равен потенциалу земли. Предположим, что электротягач подходит к второму блок-участку и пластиной, установленной на нем, заставляет срабатывать конечный выключатель. Положительный потенциал с выхода 2БВК по цепи  $R_c - C_1 - D_1$  подводится к базе правого триода первого триггера и левого второго триггера. В связи с тем, что правый триод первого триггера закрыт, положительный потенциал с 2БВК не меняет его состояния. Положительный потенциал, поступающий на базу левого триода второго триггера, заставляет его опрокидываться, в результате чего левый триод закрывается, а правый открывается. Отрицательный импульс с коллектора левого триода поступает на вход элемента «И». Если на втором входе элемента «2И» есть отрицательный потенциал, что соответствует свободному блок-участку ЗБУ, то через усилитель включается

блок-участок 2БУ. При дальнейшем движении электротягача будет срабатывать конечный выключатель ЗБВК. Положительный импульс с ЗБВК поступает на базу левого триода второго триггера и правого третьего триггера. Второй триггер под действием этого импульса опрокидывается и его триоды занимают первоначальное состояние (левый триод открыт, правый закрыт). В результате снимается отрицательный потенциал с элемента «2И», что приводит к отключению блок-участка 2БУ. Положительный импульс, поступающий на левый триод третьего триггера, заставляет его опрокинуться, при этом левый триод закрывается, правый открывается, в результате чего включается блок-участок ЗБУ. При дальнейшем движении тягача схема работает аналогично.

## ВЫВОДЫ

Все рассмотренные схемы прошли испытания в лаборатории Ульяновского политехнического института и могут быть рекомендованы в качестве основы для разработки конкретных схем управления подвесными монорельсовыми дорогами. Наиболее перспективной является схема с использованием бесконтактных элементов. Из двух других схем более простой и более надежной оказывается схема с шаговыми искателями, если дорога представляет собой кольцо без ответвлений. Наличие же ответвлений резко усложняет схему, а увеличение числа тягачей уже в процессе эксплуатации дороги потребует переделки схемы и дополнительной установки шаговых искателей. Поэтому выводы относительно применения той или иной\*схемы должны основываться на анализе конкретных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Я. Глушкин, Н. В. Поляков, М. Ф. Тройнин, Н. С. Ушаков. Комплексная механизация и автоматизация внутривозовского транспорта в приборостроении». Изд-во «Машиностроение», 1964.
2. Сборник докладов второй межотраслевой технической конференции по внутривозовскому транспорту, ЦБТИ, Ульяновск, 1962.
3. Р. В. Билик, В. А. Жожикашвили, К. Г. Митюшкин, И. В. Прангишвили. Бесконтактные элементы и системы телемеханики. Изд-во «Наука», 1964.