

КУДРЯВЦЕВ И. Ф.,  
кандидат технических наук

### БЕСКОНТАКТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Ввиду недостаточной надежности контактов в условиях сельскохозяйственного производства перспективными являются недорогие бесконтактные цепи управления, которые значительно повышают надежность средств автоматизации производственных электроустановок без существенного их удорожания [1, 3].

Наименее надежны контакты промежуточных реле и реле времени. Например, устранение в цепи управления одних контактов промежуточного реле и его электромагнитной системы по надежности равноценно устранению трех контактов магнитного пускателя в силовой цепи.

Наряду с недорогими бесконтактными цепями управления с электромагнитными элементами [2, 3] значительный интерес представляет бесконтактная цепь катушки магнитного пускателя, составленная из самого недорогого тиристора ВКУ-10, диодов Д7Ж, бесконтактного конечного выключателя БВК-24 и некоторых других элементов (рис. 1). Управление тиристором, пропус-

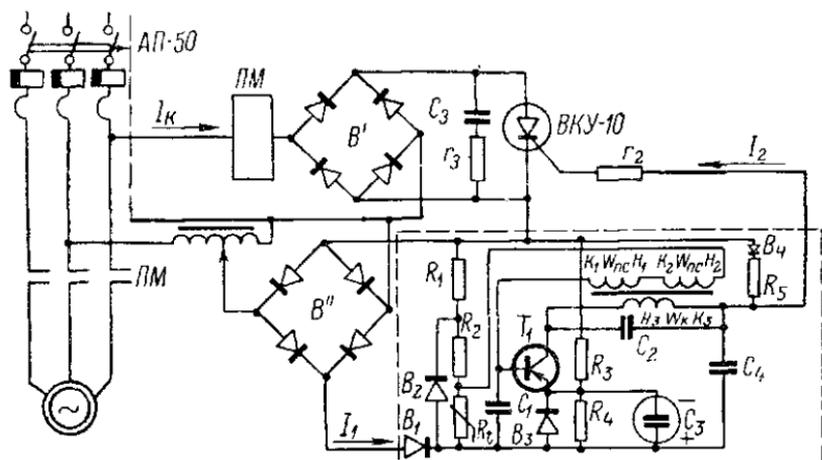


Рис. 1. Бесконтактная цепь автоматизированного управления электроприводом с использованием магнитного пускателя, тиристора ВКУ-10 и БВК-24.

кающим или запирающим ток в цепи катушки пускателя, осуществляется с помощью выпускаемого Лидским заводом «Электронизделия» бесконтактного выключателя БВК-24, выходной цепью включенного в цепь управления тиристора через регулировочное сопротивление  $r_2$ .

Защита тиристора ВКУ-10 от коммутационных перенапряжений в соответствии с инструкцией по эксплуатации выполнена с помощью проволочного сопротивления  $r_3 = 30 \text{ ом}$  и емкости  $C_3 = 1 \text{ мкф}$ .

В схеме бесконтактного выключателя БВК-24 применен транзистор  $T_1$  типа П4Д. Выключатель действует на основе использования принципа генератора с трансформаторной обратной связью. Генерирование незатухающих колебаний осуществляется подачей возникших в колебательном контуре выходных сигналов достаточной величины обратно на вход в соответствующей фазе. Для управления процессом генерации, осуществляемой с помощью изменения коэффициента связи между обмоткой катушки  $W_k$  и контуром обратной связи, используется встречно-последовательное соединение обмоток положительной  $W_{пс}$  и отрицательной  $W_{ос}$  обратной связи. Обмотки  $W_k$  и  $W_{пс}$  выполнены на общем бронзовом ферритовом сердечнике марки СБН34-600, а обмотка  $W_{ос}$  — на таком же сердечнике, находящемся на расстоянии 9–10 мм от сердечника первых двух катушек.

В предлагаемой схеме бесконтактное включение и отключение магнитного пускателя производится следующим образом. На входную цепь БВК-24 подается напряжение постоянного тока 24 в. При введении алюминиевой пластинки в направляющий паз уменьшается обратная связь между обмотками  $W_k$  и  $W_{ос}$ , возникает результирующая положительная связь между  $W_k$  и контуром обратной трансформаторной связи. Вызванное генерацией появление в коллекторной цепи, т. е. в цепи управления тиристора, тока  $I_2$  вполне достаточно для открытия управляемого вентиля ВКУ-10. Последний, открываясь, создает цепь для двух полуоволн тока в катушке магнитного пускателя, который в этот момент включается.

При выведении алюминиевой пластинки из направляющего паза усиливается отрицательная связь между  $W_k$  и  $W_{ос}$ , создавая отрицательную результирующую связь между  $W_k$  и контуром обратной связи. Происходит срыв генерации и прекращение тока в цепи управления тиристора. При первом же прохождении тока в цепи катушки магнитного пускателя через нуль тиристор закрывается, прерывая цепь тока и отключая магнитный пускатель.

Длительность переходного процесса при возникновении и срыве генерации не превышает трех-четырех периодов несущей частоты генератора, значение которой превышает несколько кило-

герц. Поэтому можно считать, что перепад коллекторного тока практически происходит мгновенно.

Установленный в цепи эмиттера диод  $B_2$  создает нелинейную отрицательную обратную связь по току, способствующую улучшению температурной стабильности триода. Для стабилизации режима триода по температуре и напряжению в схеме бесконтактного выключателя применен также и делитель напряжения, состоящий из линейных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ , полупроводникового термосопротивления  $R_t$  типа ММТ-8 и диода  $B_2$  типа Д7Г. Удовлетворительная стабилизация режима триода по напряжению достигается при низких температурах благодаря диоду  $B_2$  в цепи делителя, а при высоких температурах — полупроводниковому термосопротивлению  $R_t$ .

Согласно заводским данным выключатель БВК-24 рассчитан на постоянное напряжение 24 в. Допустимое колебание напряжения составляет от 0,85 до 1,25 номинального значения. Максимальный ток нагрузки равен 120 ма, вес — 320 г, стоимость — 13 рублей.

Аппарат надежно работает при изменении температуры окру-

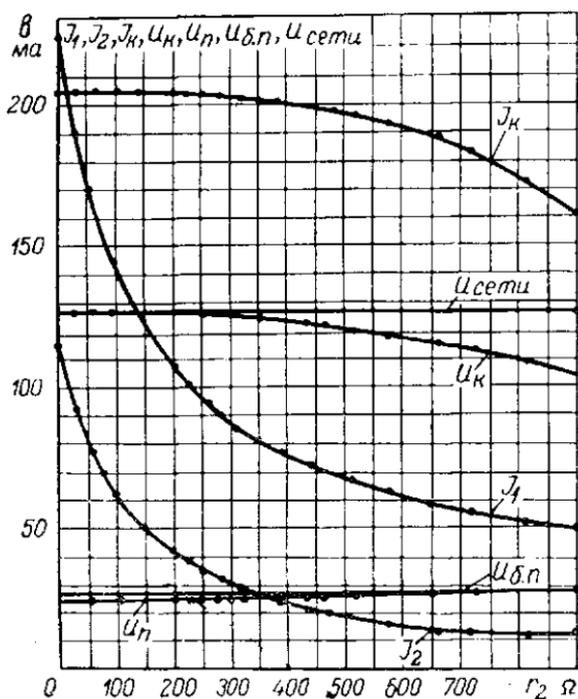


Рис. 2. Зависимости токов и напряжений в бесконтактной цепи управления ПМИ-2 с тиристором ВКУ-10 и БВК-24 от сопротивления  $r_2$  при  $U_1 = 126$  в,  $U_{д.п.} = 28$  в.

жающей среды в пределах от  $-10$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ . Выходная цепь выключателя рассчитана на подключение электромагнитного реле типа МКУ-48 или КДР-1.

Сопротивление  $r_2$  должно быть такой величины, чтобы при возможном повышении напряжения входной ток БВК-24 не превышал  $120 \text{ ма}$ , а выходной не превосходил допустимый ток в цепи управления тиристора. В связи с этим напряжение на БВК-24 во время проведения опыта было взято  $27 \text{ в}$ .

На рис. 2 по экспериментальным данным построены зависимости токов на входе и выходе БВК-24  $I_1$  и  $I_2$ , в цепи катушки магнитного пускателя  $I_k$  и напряжения на катушке  $U_k$  в функции сопротивления  $r_2$ .

Из кривых видно, что указанные токи и напряжения уменьшаются с увеличением  $r_2$ . Наибольшее значение  $r_2$  взято  $940 \text{ ом}$ , свыше которого нарушается нормальная работа пускателя. Из кривой  $U_k - f(r_2)$  и  $I_k - f(r_2)$  следует, что номинальные их значения обеспечиваются при изменении  $r_2$  от  $0$  до  $225 \text{ ом}$ . При  $r_2$  выше  $225 \text{ ом}$  ток в цепи катушки и напряжение на ней становятся меньше номинальных и чем больше значение  $r_2$ , тем больше эти отклонения. С учетом допустимого значения  $I_1$  рабочий диапазон сопротивления  $r_2$  находится в пределах  $155 \div 240 \text{ ом}$ . Значение тока  $I_1$  в этом диапазоне изменяется от  $120$  до  $99 \text{ ма}$ .

Характер изменения тока  $I_1$  можно выразить уравнением гиперболы вида

$$I_1 = \frac{U \cdot 1000}{k r_{\text{тир}} + r_2^a} \text{ ма}, \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение на входе БВК-24 с введенным экраном (пластинкой),  $\text{в}$ ;

$r_{\text{тир}}$  — сопротивление цепи управления тиристора;

$r_2$  — регулировочное сопротивление в цепи управления;

$k, a$  — эмпирические величины, зависящие от характеристик элементов, входящих в БВК-24.

Для данного случая  $U = 27 \text{ в}$ ,  $k = 0,53$ ,  $a = 0,915$ .

Формула (1) действительна для  $r_2$ , изменяющегося от  $0$  до  $400 \text{ ом}$ .

Для открытия тиристора в его цепи управления необходимо создавать определенный ток, которым, как показано на схеме рис. 1, является  $I_2$ . Выявление его зависимостей от различных факторов и в первую очередь от сопротивления  $r_2$  является важной задачей. Из рис. 2 видно, что магнитный пускатель включается при минимальном токе в цепи управления тиристора  $12 \text{ ма}$ . Однако, начиная с  $37 \text{ ма}$  и ниже, ток в цепи катушки пускателя и соответственно напряжение на катушке становятся

меньше номинальных значений. Это отклонение увеличивается по мере возрастания  $r_2$  и соответственного уменьшения  $I_2$ .

Из кривой  $I_2=f(r_2)$  явствует, что для рабочего диапазона сопротивления  $r_2$  ток  $I_2$  должен иметь значение в пределах 50—37 ма.

Зависимость тока управления  $I_2$  от сопротивления  $r_2$  (аналогично предыдущему) можно выразить уравнением (1), в котором  $U$  — напряжение на выходе БВК-24. При напряжении на входе 27 в оно равно 24 в. В этом случае  $k=0,91$ ;  $a=1,13$ .

В период включения магнитного пускателя возникает переходный процесс, длящийся 1—3 полупериода с кратковременными пиками напряжения открытия тиристора. Поэтому с учетом возможных коммутационных перенапряжений его электрическая прочность должна быть не менее, чем в 2 раза больше амплитуды номинального напряжения сети.

Рассмотренная схема автоматизированного управления электроприводом (рис. 1) с бесконтактной цепью управления работает хорошо и ее можно использовать в тех случаях, когда бесконтактные полупроводниковые выключатели, регуляторы и другие датчики имеют небольшую выходную мощность, достаточную лишь для цепи управления тиристора.

Весьма заманчивой является перспектива создания таких полупроводниковых выключателей, регуляторов, датчиков или усилителей к ним, которые были бы рассчитаны на подключение катушек силовых контакторов, а последние своими контактами могли бы включать и отключать нагрузку переменного тока. Помимо того, что полупроводниковые устройства на выходе имеют постоянный ток, в пользу применения контакторов постоянного тока говорит и то, что они имеют меньшую чувствительность к снижению напряжения и большую надежность. Например, при снижении напряжения на катушке электромагнитных аппаратов переменного тока до величины, равной или меньшей напряжения отключения, аппараты отключаются, а если их катушки после отключения остаются под напряжением, то они перегорают вследствие возникновения в них тока, в несколько раз превышающего номинальный. Это происходит потому, что сопротивление катушек с разомкнутым магнитопроводом в 5—13 раз меньше, чем с замкнутым. Если производится включение аппаратов в тот момент, когда напряжение в питающей сети меньше напряжения срабатывания и их катушки после этого остаются под напряжением, то они также перегорают. Заклинивание подвижного магнитопровода в момент включения аппарата приводит к тем же последствиям. Этих недостатков нет у электромагнитных аппаратов постоянного тока.

На рис. 3 представлена схема автоматизированного электропривода с бесконтактной цепью управления контактором постоянного тока, работающим от бесконтактного выключателя

БВК-24 с усилителем. Последний изготовлен по нашей заявке в СКБ-8 Минского завода автоматических линий. Катушка контактора  $K$  непосредственно подключена к усилителю на выходное напряжение 24 в постоянного тока. Контактёр ПМИ-2П

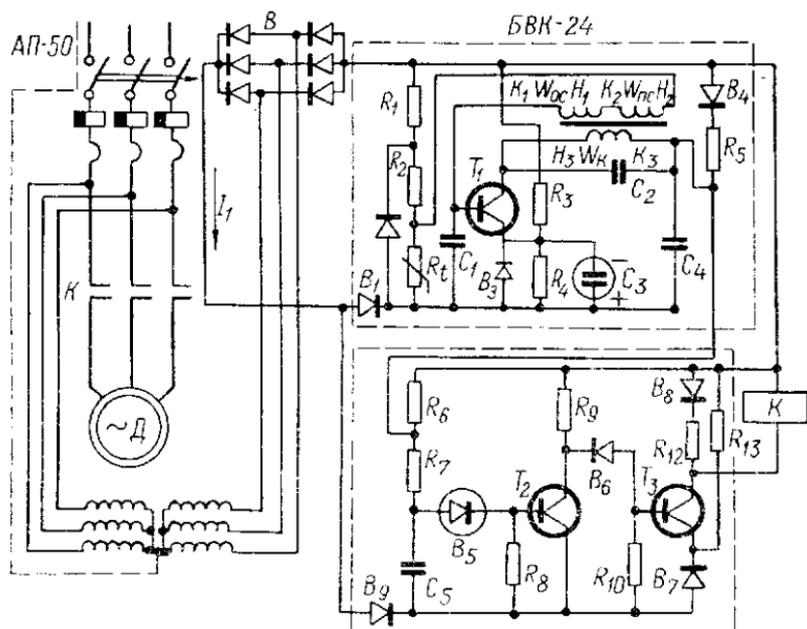


Рис. 3. Бесконтактная цепь автоматизированного управления электродвигом с использованием контактора ПМИ-2П, БВК-24 и полупроводникового усилителя к БВК.

изготовлен из магнитного пускателя ПМИ-2 путем замены катушки и некоторого изменения в магнитной системе. Так как принцип действия БВК-24 описан выше, для уяснения работы схемы рассмотрим работу усилителя.

При отсутствии на входе усилителя сигнала от БВК стабилитрон  $B_5$  пробивается, ток протекает через переход эмиттер-база триода  $T_2$ , стабилитрон  $B_5$ , сопротивления  $R_8$ ,  $R_7$ ,  $R_6$ . Триод  $T_2$ , находясь в режиме насыщения, шунтирует сигнал через сопротивление  $R_9$  и диод  $B_6$  на базу триода  $T_3$ , который закрыт, и ток через катушку практически равен нулю.

С приходом управляющего сигнала от БВК шунтируются сопротивления  $R_8$ ,  $R_7$  и стабилитрон  $B_5$ , закрывается триод  $T_2$ , открывается триод  $T_3$  и через катушку протекает полный ток.

Нагрузкой усилителя является катушка контактора постоянного тока, имеющая индуктивное и активное сопротивления. При запираании выходного триода  $T_3$  в катушке контактора возникает э. д. с. самоиндукции, которая может в несколько раз превосхо-

дить величину напряжения источника. Для предотвращения этого явления и защиты выходного триода предусмотрена шунтирующая цепочка из диода  $B_8$  и сопротивления  $R_{12}$ . Благодаря наличию этой цепочки ток в нагрузке не исчезает мгновенно, т. е. несколько затягивается время отключения контактора. Конденсатор  $C_5$  препятствует проникновению генерации БВК в усилитель. Диод  $B_6$  используется как нелинейный элемент. Цепочка  $R_{13}, B_7$  способствует стабилизации транзистора  $T_3$ .

### Основные технические данные усилителя

Питание усилителя производится от источника постоянного тока с напряжением 24 в, собранного по схеме трехфазного двухполупериодного выпрямления.

Управляющий сигнал на вход усилителя подается от БВК-24.

Усилитель работает при изменении напряжения питания от 0,85 до 1,25 номинального значения и температуре окружающей среды от  $-5$  до  $+45^\circ\text{C}$ .

Таким образом, с введением в паз БВК алюминиевой пластинки на катушке контактора появится напряжение 24 в постоянного тока. Контактор включится и включит электродвигатель. С выведением пластинки из паза БВК напряжение на катушке контактора исчезнет и электродвигатель отключится.

Для анализа работы бесконтактной цепи катушки контактора сняты зависимости тока  $I_{\text{н}}$ , напряжение  $U_{\text{н}}$ , мощности  $P_{\text{н}}$  на выходе усилителя и  $I_1, U_1$  и  $P_1$  на входе в БВК от величины сопротивления нагрузки (катушки контактора)  $R_{\text{н}}$ .

Из кривых (рис. 4) видно, что разница между напряжениями на входе  $U_1$  и выходе  $U_{\text{н}}$  составляет около 1,5 в. С уменьшением сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$  напряжения  $U_1$  и  $U_{\text{н}}$  плавно снижаются, а токи  $I_1$  и  $I_{\text{н}}$  увеличиваются. Эти изменения (от  $R_{\text{н}} = 70$  ом и менее) носят резкий характер. Разница между мощностями  $P_1$  и  $P_{\text{н}}$  выражает потери в БВК-24 и усилителе, которые равны 1,6—2,7 вт.

Зная требуемую мощность нагрузки, по кривой  $P_{\text{н}} = f(R_{\text{н}})$  находят сопротивление, которое должна иметь нагрузка, а затем определяют ток и напряжение нагрузки. Эти данные должны быть исходными при выборе и расчете катушек контакторов, подсоединяемых непосредственно к усилителю.

Измерения показали, что напряжение включения контактора составляет примерно 65%, а напряжение отключения — 40% номинального.

Представленная на рис. 3 схема с бесконтактной цепью управления перспективна и может быть использована для автоматизации водоснабжения, зерноочистки, кормоприготовления и других процессов, в которых бесконтактный выключатель БВК-24 может быть использован как датчик давления, конечный выключо-

читель и в других случаях, где изменение регулируемых параметров можно увязать с перемещением алюминиевой пластинки в пазу БВК-24.

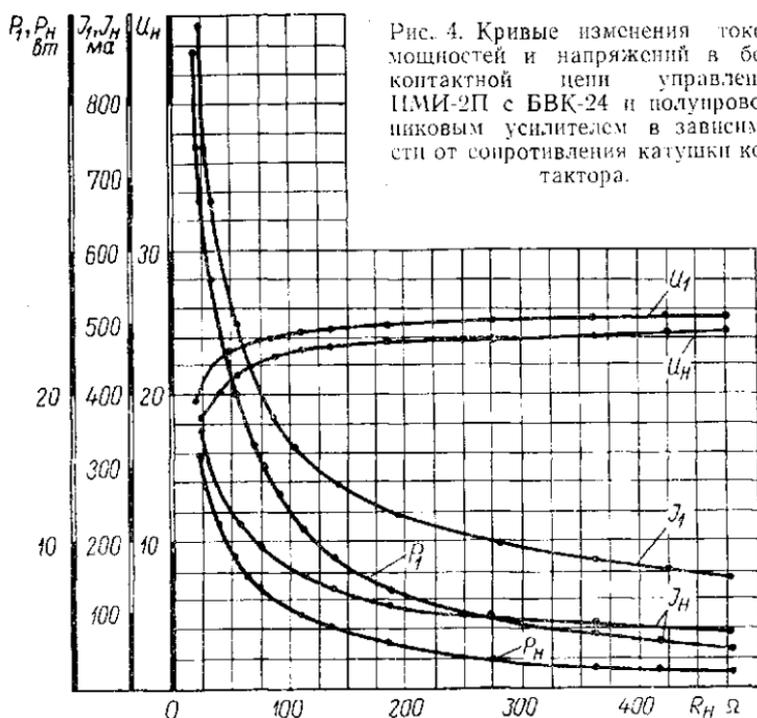


Рис. 4. Кривые изменения токов, мощностей и напряжений в бесконтактной цепи управления ЦМИ-2П с БВК-24 и полупроводниковым усилителем в зависимости от сопротивления катушки контактора.

Легко приспособить БВК-24 в качестве датчика веса продукта, поступающего в бункер. Например, при наполнении бункера зерном или другим наполнителем из паза БВК-24 под действием веса зерна должна выйти пластинка. Тогда автоматически отключится машина или поточная линия, работающая на заполнение данного бункера. При этом в цепи управления, в том числе и в датчике, нет электрических контактов, которые ненадежны и пожароопасны. Стоимость БВК-24 с усилителем около 24 руб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев И. Ф. Оценка надежности и экономичности систем автоматического управления электроустановками. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1966, № 6.
2. Кудрявцев И. Ф. Бесконтактные цепи катушек магнитных пускателей для автоматизации электроустановок. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1964, № 6.
3. Кудрявцев И. Ф., Шкляр О. С. Автоматизация безбашенной электроводоканчки. «Техника в сельском хозяйстве», 1965, № 9.