

С. А. Бирюков

Устройства на микросхемах

цифровые измерительные приборы

источники питания

любительские конструкции

**“Солон-Р”
Москва 2000**

Сергей Алексеевич Бирюков
Устройства на микросхемах
цифровые измерительные приборы, источники питания,
любительские конструкции

Описаны работа и тонкости применения микросхемы КР572ПВ5, различные цифровые измерительные приборы на ее основе, электронные автоматы на микросхемах КМОП для применения в быту, разнообразные блоки питания и зарядные устройства. Приведена методика расчета источников питания с гасящим конденсатором и конденсаторным делителем. Рассмотрены вопросы проектирования, изготовления и монтажа печатных плат, рекомендации по поиску замыканий в них.

Для профессионалов и радиолюбителей, знакомых с использованием микросхем. Может быть использована в качестве учебно-справочного пособия.

Издательство "СОЛОН - Р"
129337, г. Москва, а/я 5
Телефоны:
(095) 254-44-10, (095) 252-36-96
E-mail: Solon.Pub@relcom.ru

Приглашаем к сотрудничеству авторов-радиолюбителей, которые имеют оригинальные идеи, воплощенные в реальных конструкциях!

Ответственный за выпуск:	С. Иванов
Редакторы:	А. Гриф, Е. Стариков
Обложка:	А. Микляев

ООО Издательство "Солон-Р"
ЛР № 066584 от 14.05.99. Москва, ул. Тверская, д. 10, стр. 1, ком. 522
Формат 60x88/16. Объем 15 п. л. Тираж 7000. Заказ № 168

ООО "Пандора-1"
Москва, Открытое ш., д 28

ISBN 5-93455-007-1

© "Солон-Р", 2000
© С. А. Бирюков

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое внедрение интегральных микросхем в радиолюбительское творчество позволило создать многие устройства, которые было трудно изготовить из дискретных элементов из-за большой сложности и стоимости, затруднений в настройке. Особенно это относится к цифровой измерительной технике. Появление микросхем КР572ПВ2 и КР572ПВ5 резко упростило задачу и позволило разрабатывать простые и точные цифровые измерительные устройства. В первой главе книги описаны работа и тонкости применения микросхемы КР572ПВ5, различные портативные цифровые измерительные приборы на ее основе - мультиметр, измерители емкости и индуктивности, широкодиапазонный омметр, позволяющий измерять сопротивления от тысячных долей ома до 2 гигаом, измеритель параметров транзисторов, термометр.

Вторая глава книги посвящена применению микросхем, в основном структуры КМОП, в различных бытовых устройствах. Приведены описания симисторных регуляторов мощности, термостабилизаторов, автомата плавного пуска коллекторных электродвигателей, автомата размораживания холодильника, устройства контроля автомобильных сигнальных ламп, автоматической водопомпы, автомата управления освещением, многоканальной тревожной сигнализации. Описана переделка импортных электронных часов, использующих частоту сети в качестве эталонной, на работу с кварцевой стабилизацией.

В третьей главе рассмотрены микросхемы - стабилизаторы напряжения и разнообразные блоки питания с их использованием, в том числе и позволяющие регулировать напряжение от нуля и с плавной регулировкой максимального выходного тока. Приведены справочные данные для нескольких типов сетевых адаптеров, позволяющие правильно выбрать их и использовать, а также описания стабилизированных блоков питания на их основе. Описаны зарядные устройства для Ni-Cd аккумуляторов и батарей, в том числе и на основе сетевых адаптеров. Приведена методика расчета источников питания с гасящим конденсатором и конденсаторным делителем сетевого напряжения.

Четвертая глава посвящена разработке, изготовлению и монтажу печатных плат, особенностям работы с микросхемами КМОП, весьма чувствительными к статическому электричеству. Приведена

методика поиска замыканий в печатных платах, весьма полезная в радиолюбительской практике.

Описания конструкций достаточно детализированы, содержат временные диаграммы, указания по настройке, чертежи печатных плат.

Автор надеется, что данная книга поможет многим радиолюбителям и специалистам не только успешно повторить предлагаемые конструкции, но и творчески подойти к самостоятельной разработке и изготовлению многих полезных устройств на интегральных микросхемах.

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

МИКРОСХЕМА КР572ПВ5

Ядром описываемых в этом разделе цифровых измерительных приборов являются микросхема аналого-цифрового преобразователя (АЦП) КР572ПВ5 и жидкокристаллический индикатор ИЖЦ5-4/8. Для того, чтобы хорошо понимать работу этих приборов, необходимо знать, как работает микросхема АЦП.

Микросхема КР572ПВ5 [1] изготавливается по технологии КМОП. Она содержит (рис. 1) электронные ключи А1 - А11, буферный операционный усилитель DA1, работающий в режиме повторителя, операционный усилитель DA2 - интегратор, компаратор DA3 и цифровую часть, состоящую из тактового генератора G, логического устройства DD1, счетчика СТ, регистра памяти RG и выходного дешифратора DC. Ключи А1 - А11 включаются в определенной последовательности логическим устройством DD1, работающим совместно со счетчиком СТ.

Типовая схема включения микросхемы, ее соединение с индикатором ИЖЦ5-4/8 и микросхемой "Исключающее ИЛИ", необходи-

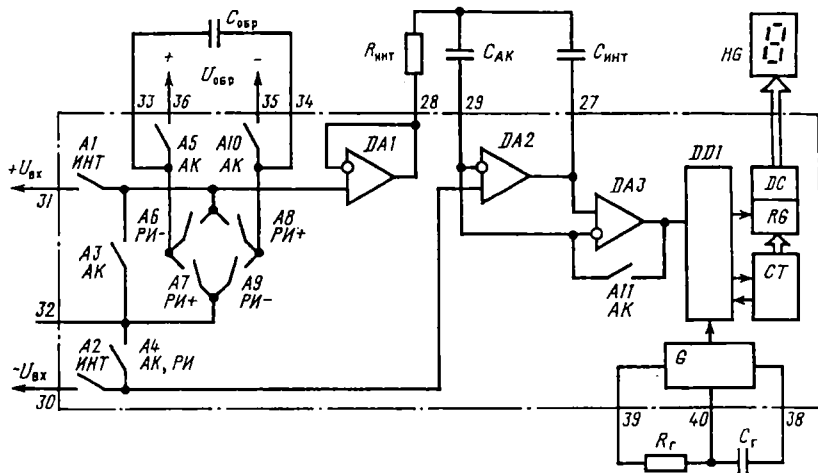


Рис. 1. Структура микросхемы КР572ПВ5

мой для управления десятичными запятыми индикатора, приведены на рис. 2.

Устройство работает по принципу двойного интегрирования, широко применяемому в цифровых измерительных приборах. Идея метода двойного интегрирования состоит в том, что вначале интегрирующий конденсатор заряжают строго определенное время током, пропорциональным измеряемому напряжению, затем разряжают строго определенным током до нуля. Время, в течение которого происходит разряд конденсатора, получается пропорциональным измеряемому напряжению. Это время измеряется при помощи счетчика, выходные сигналы которого подаются на индикатор.

Рассмотрим работу микросхемы более подробно. На выводы 30 и 31 микросхемы (рис. 1) подается измеряемое напряжение $U_{вх}$, на выводы 36 и 35 - образцовое $U_{обр}$.

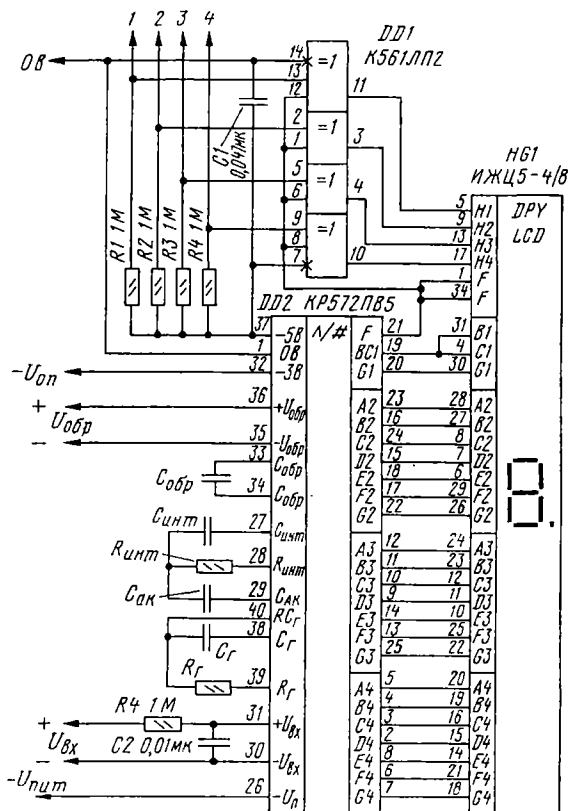


Рис. 2. Типовая схема включения микросхемы

Цикл измерения (рис. 3) состоит из трех фаз: интегрирования сигнала (ИНТ), разряда интегрирующего конденсатора (РИ) и автоматической коррекции нуля (АК). Каждой фазе соответствует определенная коммутация элементов микросхемы, выполняемая

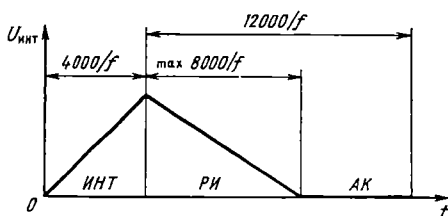


Рис. 3. Цикл измерения АЦП

при помощи ключей на МОП-транзисторах А1 - А11. На рис. 1 надписи у ключей обозначают фазу, в течение которой ключ замкнут. Длительность фазы пропорциональна периоду тактовой частоты и точно задается счетчиком СТ.

В течение фазы ИНТ, длящейся 4000 периодов Т тактовой частоты, входной сигнал через ключи А1, А2 и буферный усилитель DA1 подается на вход интегратора DA2. Это вызывает на конденсаторе Синт накопление заряда, пропорционального по величине и соответствующего по знаку приложенному входному напряжению. Напряжение на выходе интегратора DA2 изменяется с постоянной скоростью, пропорциональной входному сигналу. Предположим, что к моменту начала фазы ИНТ заряды на конденсаторах $C_{инт}$ и $C_{ак}$ и напряжения смещения нуля DA1 - DA3 равны нулю. Так как входной ток интегратора DA2 мал, изменение заряда на конденсаторе $C_{ак}$ не происходит, и он фактически не оказывает влияния на процесс интегрирования. Конденсатор $C_{обр}$ заряжен от источника образцового напряжения до величины $U_{обр}$. В конце фазы ИНТ с помощью компаратора DA3 определяется знак входного напряжения по знаку напряжения на выходе интегратора DA2. Чувствительность компаратора DA3 такова, что обеспечивает правильное определение полярности входного сигнала, даже если сигнал составляет долю единицы отсчета.

При работе микросхемы в фазе РИ входной сигнал на интегратор DA2 не подается, к интегратору DA2 через ключи А7, А8 или А6, А9 подключается конденсатор $C_{обр}$, заряженный до образцового напряжения и ориентированный по полярности таким образом, чтобы происходил разряд $C_{инт}$. Разряд длится до тех пор, пока конденсатор $C_{инт}$ не разрядится полностью, т.е. напряжение на выходе DA2 не станет равным нулю. В этот момент подключенный параллельно конденсатору $C_{инт}$ компаратор DA3 срабатывает и прекращает фазу РИ. Заряд конденсаторов $C_{обр}$ и $C_{ак}$ практически не изменяется. Время разряда конденсатора $C_{инт}$, выраженное числом периодов тактовых импульсов, и есть результат измерения, записанный в счетчике СТ. Состояние счетчика переписывается в регистр RG, а

затем преобразуется в сигналы семисегментного кода, которые поступают на индикатор.

При знаке напряжения на входах $U_{вх}$, противоположном указанному на рис. 1 и 2, сегмент G1 индицирует знак "минус". При перегрузке на индикаторе остается лишь цифра 1 в старшем разряде и знак "минус" (для отрицательного напряжения).

Фаза АК начинается с прекращения работы счетчика, когда логическое устройство DD1 включает ключи A3, A4 и A11. Образовавшаяся при этом следящая система обеспечивает заряд конденсаторов $C_{инт}$ и $C_{ак}$ до напряжения, компенсирующего смещение нуля DA1 - DA3. Оно остается неизменным в течение последующих фаз ИНТ и РИ. В результате приведенная ко входу погрешность из-за смещения нуля и его температурного дрейфа не превышает 10 мкВ.

В состав микросхемы входит тактовый генератор. Частота следования его импульсов определяется внешними элементами Rг и Cг. Для подавления сетевых помех с частотами, кратными 50 Гц, частота повторения импульсов должна быть выбрана такой, чтобы во время интегрирования, равное 4000 периодам тактового генератора T, укладывалось целое число K периодов сетевого напряжения, равных 20 мс.

Таким образом, $4000T = 20K$ мс, где $K = 1, 2, 3$ и т.д. Отсюда, $f_T = 1/T = 200/K$ кГц, т.е. 200, 100, 67, 50, 40 кГц, меньшие частоты обычно не используют. Номиналы частото задающих цепей тактового генератора рассчитываются по формуле $C_T = 0,45/(f_T R_T)$. Для повышения стабильности частоты между выводами 39 и 40 может быть включен кварцевый резонатор (при этом элементы R_T и C_T не подключают). При работе микросхемы от внешнего генератора тактовые импульсы подают на вывод 40, выводы 38 и 39 при этом оставляют свободными.

Диапазон входных напряжений микросхемы зависит от образцового напряжения $U_{обр}$ и определяется соотношением $U_{вх макс} = \pm 1,999 U_{обр}$. Текущие показания индикаторов должны выражаться числом, равным $1000U_{вх}/U_{обр}$, однако на практике они ниже на 0,1...0,2%.

Период измерений при частоте тактовых импульсов 50 кГц составляет 320 мс, т.е. производится 3 измерения в секунду.

Максимальный ток, потребляемый микросхемой от источника питания, не превышает 1,8 мА, погрешность преобразования не превышает 1 единицы младшего разряда. Указанные параметры гарантируются при температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$ и питающем напряжении 9 В с нестабильностью $\pm 1\%$ (допуск на напряжение питания составляет 7...10 В). Входное сопротивление определяется лишь утечками и существенно превышает 100 МОм.

Микросхема КР572ПВ5 имеет встроенный источник опорного напряжения. Оно составляет $2,9 \pm 0,5$ В, источник подключен плюсом к выводу 1 - плюсу источника питания микросхемы. Минусовой вывод источника опорного напряжения соединен с выводом аналогового общего провода (вывод 32) и обозначен на рис. 2 как -3 В. Нагрузочная способность этого источника резко несимметрична - при нагрузке, включаемой между плюсом питания (вывод 1) и выходом источника (вывод 32) ее ток может составлять несколько миллиампер. Если же нагрузка подключена между минусом питания (вывод 26) и выводом 32, ток нагрузки не может превышать 10 мкА. Это свойство источника позволяет использовать двуполярное питание, при котором общий провод двух источников $\pm(3,5...5)$ В подключен к выводу 32 микросхемы (рис. 4).

Изменение выходного напряжения этого источника при колебаниях напряжения питания микросхемы в пределах 7,5...10 В менее 0,05%, температурный коэффициент напряжения положителен и не превышает 0,01%/°С. Это обеспечивает очень хорошую точность мультиметра на основе микросхемы КР572ПВ5 при работе в лабораторных условиях (при колебаниях температуры воздуха в пределах 15...25°С) и вполне приемлемую для многих измерений в более широком температурном диапазоне.

В то же время выходное сопротивление источника довольно велико - при токе нагрузки 1 мА напряжение на его выходе падает примерно на 5%, при 3 мА - на 12%. Поэтому указанная выше стабильность опорного напряжения реализуется лишь при постоянной нагрузке.

Для управления жидкокристаллическим индикатором микросхема имеет встроенный источник напряжения, по абсолютной величине несколько меньшей 5 В. Также, как и источник опорного напряжения, он подключен плюсом к выводу 1, минусовой выход источника (вывод 37) обозначен на рис. 2 как -5 В. Источник имеет заметную нестабильность - порядка 0,05 В при изменении напряжения питания в тех же пределах. Нагрузочная способность его также невелика - при токе нагрузки 1 мА выходное напряжение уменьшается на 0,8 В, поэтому использовать его можно только для питания микросхемы, управляющей жидкокристаллическим индикатором.

На выходе F микросхемы (вывод 21) присутствует переменное напряжение (меандр) с частотой, в 800 раз меньше тактовой (62,5 Гц при тактовой частоте 50 кГц). На выходах микросхемы, подключае-

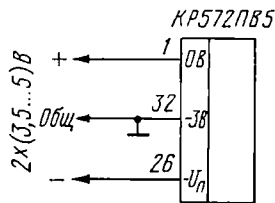


Рис. 4. Двуполярное питание микросхемы КР572ПВ5

мым к сегментам индикатора, напряжение имеет ту же амплитуду, форму и частоту. Оно синфазно с напряжением на выходе F для невидимых сегментов и противофазно для видимых. Амплитуда этого напряжения (полный размах) соответствует напряжению на выводе 37.

Удобно настраивать тактовый генератор на частоту 40 кГц. В этом случае частота на выходе F микросхемы составляет 50 Гц и ее контролируют осциллографом, синхронизированным от сети. Изображение импульсов на экране должно быть практически неподвижным.

Для индикации десятичных запятых необходима дополнительная микросхема (DD1 на рис. 2). Она должна повторять фазу меандра для неиндицируемых запятых и инвертировать его для запятой, которую необходимо показать. Поэтому один из входов 1 - 4, соответствующий индицируемой запятой, следует соединить с цепью 0 В (уровень лог. 1 для такого включения DD1), остальные оставить свободными.

Как уже указывалось, АЦП на основе микросхемы KP572ПВ5 измеряет отношение напряжений на входах $U_{вх}$ и $U_{обр}$. Поэтому возможны два основных варианта ее применения. Традиционный

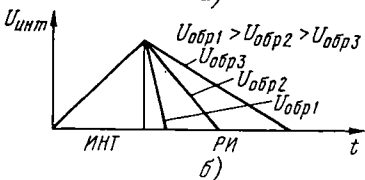
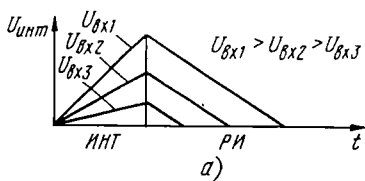


Рис. 5. Варианты работы интегратора микросхемы KP572ПВ5

вариант - напряжение $U_{обр}$ неизменно, $U_{вх}$ меняется в пределах $-2U_{обр} \dots +2U_{обр}$ (или от 0 до $2U_{обр}$). Изменение напряжения на конденсаторе $C_{инт}$ и на выходе интегратора DA2 (рис. 1) для этого случая показано на рис. 5,а. При втором варианте напряжение, подаваемое на выводы $U_{вх}$, остается постоянным, а меняется $U_{обр}$. Этот вариант использован в описываемых далее омметре и измерителе параметров транзисторов и проиллюстрирован на рис. 5,б. Возможен и смешанный вариант,

когда при изменении измеряемой величины меняются и $U_{вх}$ и $U_{обр}$, что реализовано в измерителе емкости.

Напряжения на входах и выходах ОУ, входящих в состав микросхемы, не должны выходить за пределы линейного участка их работы. Обычно указывают величину ± 2 В, понимая под этим диапазон напряжений относительно аналогового общего провода при использовании встроенного источника опорного напряжения. Из рис. 5 видно, что наибольшее напряжение на выходе DA2 опреде-

ляется максимальным напряжением на входе $U_{вх}$ микросхемы. Знак напряжения на выходе интегратора относительно вывода 30 противоположен знаку напряжения на входе 31, а его величина $U_{инт}$ может быть рассчитана по формуле:

$$U_{инт} = 4000U_{вх}/(C_{инт}R_{инт}f_{такт}) \quad (1)$$

Если входное напряжение в этой формуле выражено в вольтах, емкость $C_{инт}$ в микрофарадах, сопротивление $R_{инт}$ в килоомах, тактовая частота $f_{такт}$ в килогерцах, результат получается в вольтах.

Сразу отметим, что для обеспечения нормального режима разрядки конденсатора $C_{инт}$ напряжение на нем должно быть меньше напряжения между выводами 1 и 32 с запасом 0,2...0,3 В. Поэтому оно не должно быть более 2 В при однополярном питании микросхемы и 3...4 В (в зависимости от напряжений питания) - при двуполярном. При изменении измеряемой прибором величины напряжение на $C_{инт}$ может меняться в широких пределах, но для обеспечения максимальной точности желательно, чтобы для одного из крайних ее значений оно приближалось к максимально возможной величине.

Это и определяет правильный выбор элементов интегратора $C_{инт}$ и $R_{инт}$:

$$C_{инт}R_{инт} = 4000U_{вх}/(U_{инт}f_{такт}), \quad (2)$$

где размерности те же, что и в (1).

Рекомендуемые значения сопротивления $R_{инт}$ - 47...470 кОм, причем для максимального напряжения $U_{вх}$ нужно выбирать $R_{инт}$ ближе к верхнему пределу, для минимального - к нижнему. Емкость конденсатора $C_{инт}$ является подчиненной и имеет обычно величину 0,1...0,22 мкФ.

Для повышения точности рекомендуется подключать один из выводов источников измеряемого и опорного напряжения к выводу аналогового общего провода 32. В практике в ряде случаев представляет интерес дифференциальное подключение входов к соответствующим источникам. Подавление синфазного напряжения на входах микросхемы по паспортным данным составляет 100 дБ, но нигде не указана допустимая величина синфазного напряжения, при котором АЦП сохраняет точность.

Для определения допустимого диапазона синфазных напряжений автором был проведен эксперимент. Напряжение $U_{обр}$ было выбрано равным 100 мВ, напряжение $U_{вх}$ составляло 195 мВ, тактовая частота - 50 кГц, $C_{инт}$ - 0,22 мкФ, $R_{инт}$ - 47 кОм. Для такого сочетания параметров напряжение $U_{инт}$ на выходе интегратора DA2 и на

конденсаторе $C_{\text{инт}}$ к концу фазы ИНТ, рассчитанное по приведенной выше формуле, составляет 1,55 В.

Эксперимент дал интересные результаты. Напряжения на входах $U_{\text{обр}}$ (выводы 35 и 36) можно менять в полном диапазоне питающего напряжения, естественно, сохраняя разность между ними, не превышающую рекомендованной величины 2 В и соблюдая указанную на рис. 2 полярность. Это легко объяснимо - примененные в микросхеме ключи на транзисторах КМОП работают в полном диапазоне напряжения питания, а только ключи А5 и А10 участвуют в зарядке конденсатора $C_{\text{обр}}$ от источника $U_{\text{обр}}$.

Сложнее дело обстоит с напряжениями на выводах $U_{\text{вх}}$. Если напряжение на этих выводах имеет полярность, совпадающую с указанной на рис. 1 и 2, напряжение на выводе 31 должно отличаться от напряжения на выводе 1 (0 В) не менее, чем на 0,6 В. Эта величина определяется диапазоном линейной работы ОУ DA1 как повторителя. При такой полярности $U_{\text{вх}}$ в конце фазы ИНТ напряжение на выводе интегратора DA2 становится на $U_{\text{инт}}$ ниже, чем на выводе 30, что схематически проиллюстрировано на рис. 6,а.

При приближении напряжений на выводах $U_{\text{вх}}$ к напряжению на выводе 26 ($-U_{\text{пит}}$) начинает сказываться ограничение по диапазону линейной работы ОУ DA2 по выводу (рис. 6,а). Для операционных усилителей на транзисторах КМОП он близок к полному напряжению питания, поэтому напряжение на входе 30 должно превышать напряжение на выводе 26 на $U_{\text{инт}}$ с небольшим запасом (порядка 0,2 В).

При полярности $U_{\text{вх}}$, противоположной показанной на рис. 1 и 2, напряжение на выводе интегратора на $U_{\text{инт}}$ выше, чем на выводе 30 (рис. 6,б), поэтому именно оно определяет допустимую величину напряжения на выводе 30 при его приближении к напряжению на выводе 1. Экспериментально определено, что запас должен составлять также не менее 0,2 В, поэтому для $U_{\text{инт}} = 1,55$ В разность напряжений на выводах 30 и 1 должна быть не менее 1,75 В.

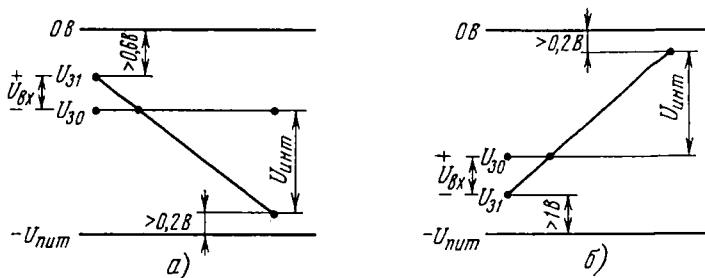


Рис. 6. Ограничения на входное напряжение и напряжение на выводе интегратора

При приближении напряжений на выводах $U_{вх}$ к напряжению на выводе 26 и указанной выше полярности $U_{вх}$ вновь основную роль начинает играть допустимый диапазон линейной работы ОУ DA1 как повторителя (рис 6,6). Минимально допустимая разность напряжений между выводами 31 и 26 составляет около 1 В.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для измерения напряжения, синфазная составляющая которого максимально близка к напряжению на выводе 1, следует подключить его в соответствии с указанной на рис. 1 и 2 полярностью, если синфазная составляющая близка к напряжению на выводе 26, знак $U_{вх}$ должен быть противоположным.

Если знак измеряемого напряжения может меняться, для получения максимального диапазона допустимых синфазных напряжений можно уменьшить напряжение на выходе интегратора, например до 0,5 В за счет увеличения $C_{инт}$ или $R_{инт}$ в соответствии с формулой (2).

Для уменьшения влияния паразитных емкостей монтажа на точность измерений, особенно при больших синфазных напряжениях, рекомендуется место расположения $C_{инт}$, $R_{инт}$ и $C_{ак}$ на печатной плате окружать проводником, соединенным с выводом 27 микросхемы. При использовании двусторонней печатной платы под этими элементами желательно оставлять площадку, также соединяемую с выводом 27.

О емкости конденсаторов $C_{обр}$ и $C_{ак}$. В различной литературе рекомендованы их следующие значения: для максимального входного напряжения 200 мВ $C_{обр}=1$ мкФ, $C_{ак}=0,47$ мкФ, для $U_{вх}=2$ В $C_{обр}=0,1$ мкФ, $C_{ак}=0,047$ мкФ. Если в процессе работы образцовое напряжение $U_{обр}$, подаваемое на выводы 35 и 36 микросхемы, не меняется, емкость $C_{обр}$ может быть увеличена в несколько раз относительно указанных величин. Если же напряжение на этих входах может меняться, указанные величины емкостей заметно увеличивать нежелательно, поскольку это увеличит время установления показаний. Уменьшать емкость $C_{обр}$ также не рекомендуется, это приведет к снижению точности работы АЦП.

Емкость конденсатора $C_{ак}$ существенно влияет на время установления показаний после перегрузки. Поэтому во всех описываемых далее приборах (кроме термометра, где перегрузка практически невозможна) желательно придерживаться рекомендованных выше значений емкостей $C_{ак}$.

О типах используемых конденсаторов. Для $C_{инт}$ обязательно использование конденсаторов с диэлектриком, обладающим малой абсорбцией - это конденсаторы, обозначение которых начинается с К70, например, К71-5, К72-9, К73-16, К73-17.

Для уменьшения времени установления показаний в тех случаях, когда на конденсаторах $C_{обр}$ и $C_{ак}$ напряжение может изменяться, для них желательно использовать конденсаторы с хорошим диэлектриком. Если же напряжение на них не меняется, допустимо использование керамических конденсаторов, например КМ-6.

Поскольку принцип двойного интегрирования нечувствителен к изменению частоты работы или скорости интегрирования (в разумных пределах), к стабильности $R_{инт}$ и частото задающих элементов генератора микросхемы особых требований не предъявляется.

Естественно, что резисторы делителя, определяющие напряжение $U_{обр}$, должны быть стабильными.

Подключение цепочки R4C2 (рис. 2) обеспечивает защиту от статического электричества входа $+U_{вх}$ при условии, что вход $-U_{вх}$ подключен к общему проводу. Если же используется дифференциальная подача входного сигнала, следует защитить оба входа такими цепочками (см. рис. 9). Более того, если входы $+U_{обр}$ или $-U_{обр}$ в процессе работы подключаются к внешним по отношению к прибору элементам, необходимо защищать и эти входы аналогичными цепочками. Сопротивления резисторов цепочек можно при этом уменьшить до 33...51 кОм, поскольку при большей их величине увеличивается время установления показаний.

Различные варианты использования микросхемы КР572ПВ5 нашли свое применение в описываемых в этом разделе цифровых измерительных приборах.

ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

Стрелочный авометр - измеритель напряжения, тока и сопротивления - много лет являлся основным прибором любого радиолюбителя. С появлением БИС КР572ПВ2 и КР572ПВ5 на смену ему пришел цифровой мультиметр, один из вариантов которого описывается ниже.

Основным отличием предлагаемого прибора от ранее описанного автором [2, 3] является малое потребление тока от батареи питания, что определяется использованием рассмотренной выше микросхемы КР572ПВ5 и жидкокристаллического индикатора. Кроме того, в нем расширен диапазон измеряемых сопротивлений до 19,99 МОм и возможен контроль p-n переходов различных полупроводниковых приборов, что не может обеспечить большинство других цифровых мультиметров.

Мультиметром можно измерять постоянное и переменное напряжения (в вольтах), ток (в миллиамперах), а также сопротивление (в килоомах) в пяти диапазонах с верхними пределами 0,1999, 1,999,

19,99, 199,9, 1999. При измерении сопротивлений возможно введение множителя "x10".

Погрешность измерения сопротивлений, постоянного напряжения и тока менее $\pm(0,2\% + 1$ единица младшего разряда). При измерении переменного напряжения и тока в диапазоне частот 20 Гц...5 кГц погрешность измерения менее $\pm(0,3\% + 1$ единица младшего разряда) во всем диапазоне измеряемых напряжений. В диапазоне частот до 20 кГц при измерении в диапазоне от 0,1 предела измерения и выше погрешность не превышает 2,5% от измеряемой величины, на частоте 50 кГц - 10%.

Указанная точность для вольтметра переменных напряжений на частотах более 5 кГц гарантируется на диапазонах 0,1999, 1,999, 19,99 В. На диапазонах 199,9 и 1999 В погрешность на частотах более 5 кГц больше.

Входное сопротивление вольтметра - 11 МОм, емкость - 100 пФ, падение напряжения при измерении тока не превышает 0,2 В. Питание осуществляется от батареи 7Д-0,125Д, потребляемый ток не превышает 2 мА при измерении постоянных напряжений и токов и 7 мА при измерении сопротивлений и переменных напряжений и токов. Мультиметр работоспособен при разряде батареи до напряжения 7,5 В.

Схема коммутации цепей мультиметра приведена на рис. 7, за основу взята схема, описанная в [2, 3]. При измерении постоянного напряжения оно через делитель R1 - R6 поступает на вход "+" аналого-цифрового преобразователя (АЦП), вход "-" АЦП подключен при этом к общему проводу. Сопротивления большинства резисторов делителя выбраны кратными 10, что облегчает их подбор. Сопротивление нижнего плеча делителя в этом случае составляет 1,111 кОм, оно получается параллельным соединением резисторов 1,2 кОм и 15 кОм. При использовании резисторов делителя с допуском 0,1% никакого дополнительного подбора резисторов делителя не требуется.

При измерении постоянного тока АЦП подключен к одному из шунтов R7-R11, через которые пропускается измеряемый ток. Использование двух секций SA2.3 и SA2.4 переключателя пределов измерений для коммутации шунтов позволяет исключить влияние нестабильности сопротивления контактов переключателя на погрешность измерения и порчу прибора в момент переключения пределов.

Принцип работы омметра проиллюстрирован функциональной схемой на рис. 8. Измеряемое сопротивление включено в цепь обратной связи операционного усилителя DA2, входной ток которого задан резисторами R1 - R6, подключенными через переключатели SA2.2 и SA1.3 к источнику напряжения +1,111 В. Поскольку

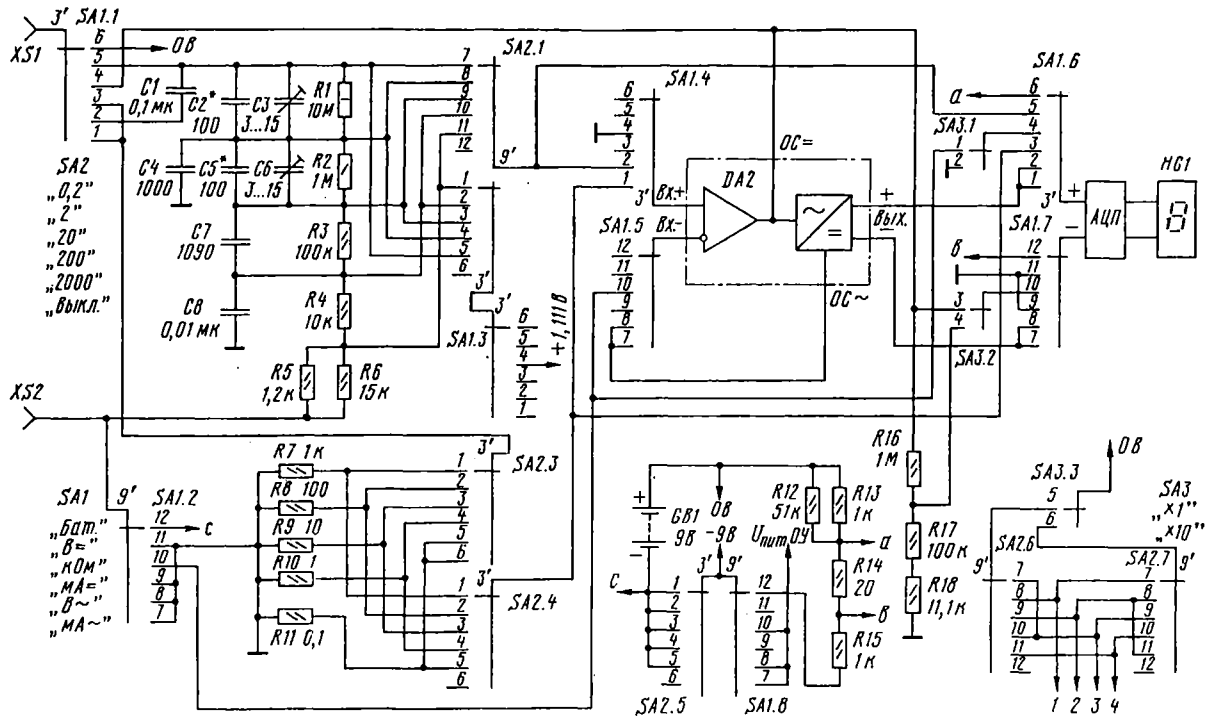


Рис. 7. Схема коммутации цепей мультиметра

сопротивления используемых резисторов R1 - R6, включенных последовательно, кратны 1,111 кОм, ток, задаваемый ими, имеет значения, кратные 10, и падение напряжения на измеряемом сопротивлении с точностью до множителя 10^n равно его величине. Это падение напряжения на основных диапазонах (множитель "x1") измеряется с помощью АЦП, подключенного непосредственно к измеряемому сопротивлению. При введении множителя "x10" падение напряжения на измеряемом резисторе с помощью делителя R16R17R18 перед подачей на АЦП уменьшается в 10 раз. Такое построение омметра позволяет использовать те же резисторы, что и в делителе вольтметра и исключает их подбор. Кроме того, дрейф нуля операционного усилителя не приводит к дрейфу нуля омметра на основных диапазонах и уменьшается в 10 раз при введении множителя "x10".

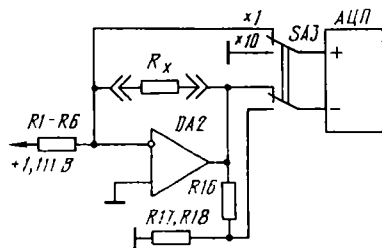


Рис. 8. К пояснению принципа работы омметра

Измерение переменного напряжения и тока производится аналогично измерению постоянных напряжений и токов, но на вход АЦП включается преобразователь переменного напряжения в постоянное, обведенный на рис. 7 штрихпунктирной линией. Входной делитель и шунты использованы те же, что и при измерении постоянного напряжения и тока. Во входном делителе при измерении на переменном токе важную роль играют конденсаторы C2 - C8, обеспечивающие точность деления входного сигнала. Значение емкостей этих конденсаторов рассчитать затруднительно, так как неизвестна точная емкость монтажа. Поэтому конденсаторы нижних плеч делителя C7 и C8 рассчитаны на некоторую усредненную емкость монтажа, поскольку разброс ее мало влияет на точность деления при относительно большой емкости конденсатора C8. Верхние плечи делителя снабжены подстроечными конденсаторами для точной настройки делителя. Построение делителя в две ступени (C2, C4 - первая ступень, C5, C7, C8 - вторая) позволяет в 10 раз уменьшить емкости нижних плеч делителя. Относительно большая емкость C2 верхнего плеча делителя позволяет точно подстроить это плечо конденсатором C3 и уменьшить погрешность делителя из-за изменения емкости монтажа соединительных проводников. Нижнее низкоомное плечо делителя выполнено без конденсаторов.

Крайнее верхнее по схеме положение переключателя SA1 служит для контроля напряжения батареи питания. В этом случае АЦП подключен к среднему плечу делителя напряжения батареи R13 - R15. Ток делителя имитирует ток ~~потребляемый~~ операционными усилителями.

телями при их включении во время измерения сопротивления, переменного тока или напряжения. Показания мультиметра в этом режиме не зависят от положения переключателя диапазонов SA2.

На рис. 9 приведена схема преобразователя переменного напряжения в постоянное, источника опорного напряжения, АЦП и подключения АЦП к индикатору.

Преобразователь переменного напряжения в постоянное собран на операционном усилителе (ОУ) DA2, который также используется в омметре. Входное напряжение подается на неинвертирующий вход ОУ. Усиленное напряжение полуволны положительной полярности выделяется на резисторе R39, а отрицательной - на резисторе R38. Между верхними по схеме выводами резисторов R39 и R38

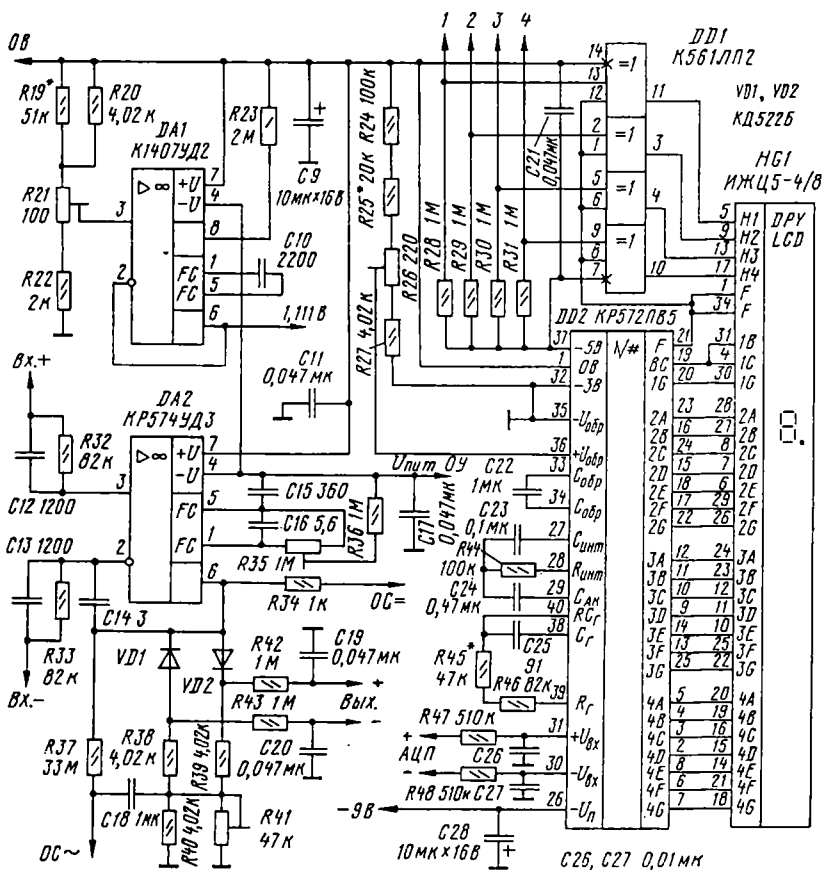


Рис. 9. Измерительная часть мультиметра

формируется выпрямленное напряжение, которое через фильтрующие цепи R42C19 и R43C20 подается на вход АЦП.

На резисторах R40 и R41 выделяются обе полуволны усиленного напряжения, с них напряжение обратной связи по переменному току через конденсатор C18 поступает на инвертирующий вход ОУ, чем достигаются высокая точность и линейность преобразователя. Стабильность рабочей точки ОУ по постоянному току обеспечена за счет отрицательной обратной связи через резистор R37. Относительно большая величина сопротивления этого резистора выбрана потому, что он не должен шунтировать измерительную цепь VD1, VD2, R38, R39. Емкость конденсатора C18 также выбрана довольно большой, так как он с паразитной емкостью монтажа образует делитель входного сигнала, поступающего на инвертирующий вход ОУ. При меньшей емкости конденсатора C18 возникает заметная погрешность при измерении переменного напряжения на пределе 1999 В.

Резистор R35 служит для установки нуля ОУ DA1, конденсаторы C11 и C17 являются блокировочными, подстроечный резистор R41 служит для точной установки коэффициента передачи преобразователя переменного напряжения в постоянное. Цепи R32C12 и R33C13 обеспечивают защиту ОУ от перегрузок.

Конденсатор C25 и резисторы R45, R46 - задающие частоту элементы генератора микросхемы, генератор работает на частоте 50 кГц. Конденсатор C23 и резистор R44 - элементы интегратора. Конденсатор C24 работает в цепи автокоррекции, конденсатор C22 служит для запоминания образцового напряжения. Цепи R47C26 и R48C27 фильтруют входное напряжение АЦП и защищают его от случайных перегрузок. Конденсаторы C9 и C28 - блокировочные по цепям питания.

Напряжение 1,111 В для работы омметра формируется с помощью делителя R19 - R22, для исключения зависимости этого напряжения от величины токозадающих резисторов R1 - R6 установлен буферный ОУ DA1.

Все напряжения на схеме указаны относительно плюса батареи питания (0 В), за исключением 1,111 В, оно указано относительно общего провода.

Резисторы R1 - R11, R13 - R17 следует подобрать с погрешностью 0,1%, в крайнем случае - 0,2%. В описываемой конструкции в основном использованы резисторы типа C2-29В мощностью 0,125 Вт. Резистор R10 типа C2-1 0,25 Вт, резистор R11 составлен из десяти параллельно соединенных резисторов C2-29В 1 Ом 0,125 Вт. Резистор R1 состоит из 5 последовательно соединенных резисторов C2-29В 2 МОм 0,25 Вт.

Такую точность для остальных резисторов соблюдать не нужно, однако резисторы R19, R20, R22, R24, R25, R27, R38 - R40 должны быть стабильными, например С2-29В.

Резисторы R38 - R40 могут быть выбраны в диапазоне 3...5 кОм, но их сопротивления должны быть равны друг другу с точностью до 1%, а сопротивление резистора R41 - в 12...16 раз превышать сопротивление R38 - R40. Подстроечные резисторы - СПЗ-19а.

Конденсатор С8 типа К73-9 с допуском 10% на рабочее напряжение 100 В, конденсатор С1 - К73-17 на напряжение 400 В, а С22 того же типа на напряжение 63 В. Допуск конденсатора С21 должен быть 5%, остальных - до 20%. Конденсаторы С23 и С24 типа К73-11 на напряжение 160 В. Возможно применение и других конденсаторов, обозначение которых начинается с К70. Их рабочее напряжение (кроме С1) может быть любым. Полярные конденсаторы, использованные в мультиметре, типа К53-4, остальные - КД, КМ-5 или КМ-6. С7 подбирают из конденсаторов с номинальной емкостью 1100 пФ. Его емкость должна составлять 0,109 от емкости С8 с погрешностью 0,2%.

Конденсаторы С4 и С7 должны иметь группу по ТКЕ не хуже М750. Подстроечные конденсаторы С3 и С6 - КТ4-216 на напряжение 250 В. Переключатели SA1 и SA2 - ПГ2-12-6П8Н, SA3 - ПР2-2П4Н. На принципиальной схеме дана нумерация контактов, указанная на переключателях.

Микросхему К140УД2 возможно заменить ОУ, работоспособным при полном напряжении питания 7 В с входным током не более 150 нА (К140УД12, К140УД17, К574УД3). Можно применить ОУ и с большим входным током, пропорционально увеличив ток делителя R19 - R22. Микросхема КР574УД3 уникальна для использования в данном устройстве, поскольку работает при полном напряжении питания 6 В, имеет полевые транзисторы на входе, обладает малым дрейфом нуля и достаточно высоким быстродействием. Ее можно заменить лишь на К574УД3 при учете различия в цоколевке и КР544УД2 - при увеличении напряжения питания до 10 В. Микросхема К561ЛП2 заменима на КР1561ЛП14, а при изменении рисунка печатной платы - на 564ЛП2.

Все детали мультиметра, кроме батареи питания, расположены на двух печатных платах размерами 65×90 мм. На первой односторонней плате установлены все детали мультиметра, за исключением микросхем DD1, DD2, индикатора НГ1 и непосредственно связанных с ними деталей - они расположены на второй плате. На рис. 10 приведено расположение проводников и деталей на первой плате со стороны, противоположной стороне установки элементов. Вторая плата - двусторонняя. На рис. 11,а показано расположение

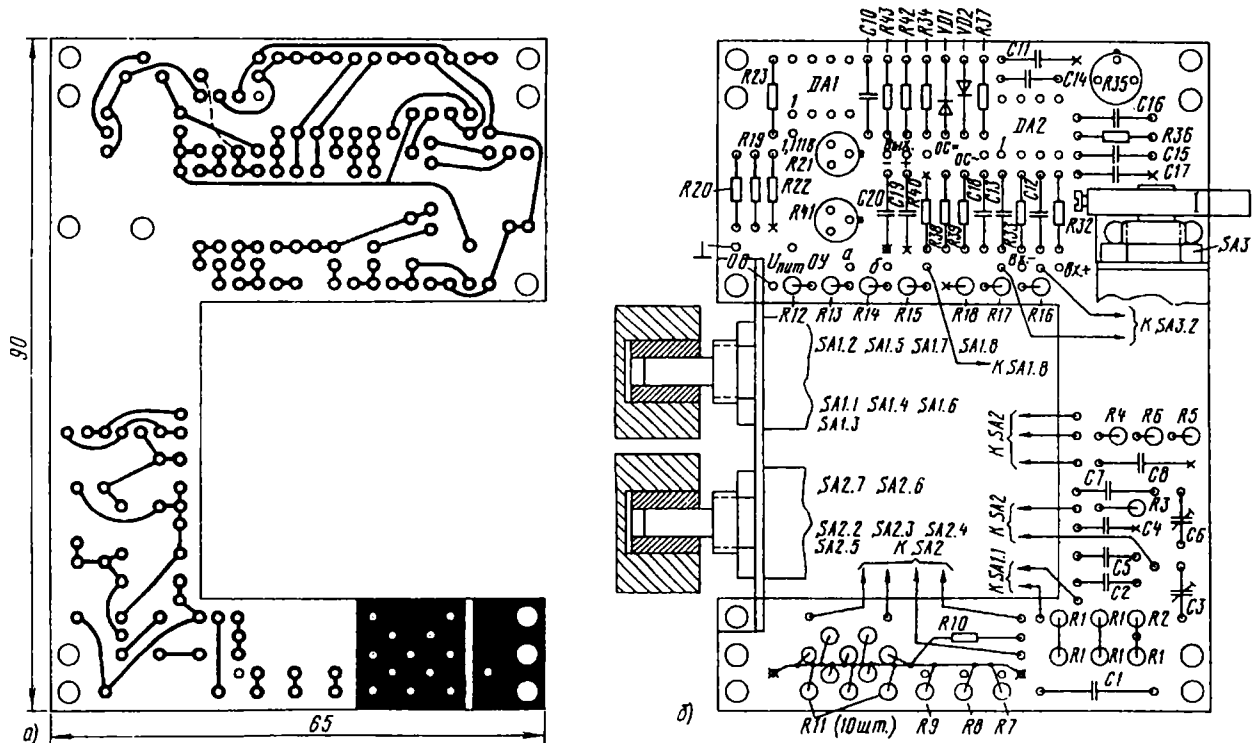


Рис. 10. Первая печатная плата мультиметра

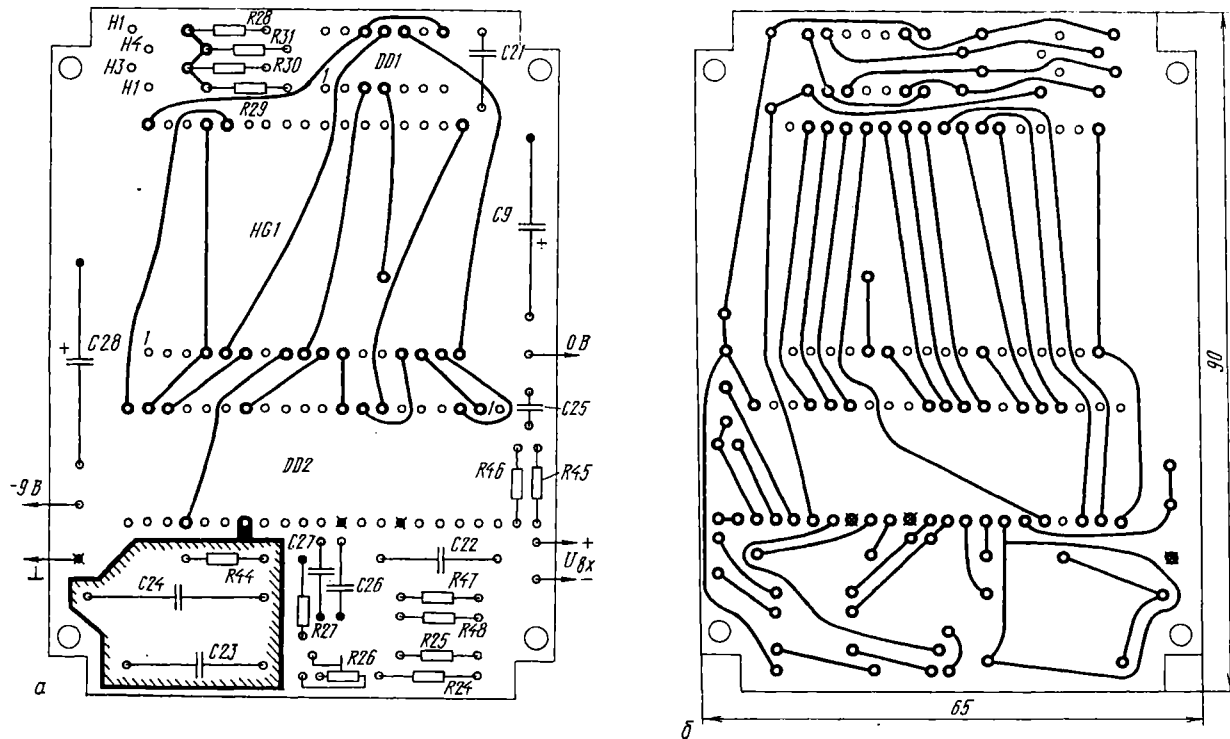


Рис. 11. Вторая печатная плата мультиметра: а - со стороны установки деталей, б - с противоположной стороны

деталей и проводников на стороне установки деталей, а на рис. 11,б - с противоположной стороны.

Следует иметь в виду, что на всей поверхности плат со стороны установки микросхем, за исключением мест расположения проводников, показанных на рис. 11,а, и под переключателем SA3 со стороны расположения проводников сохранен сплошной слой металлизации (фольги), выполняющей роль общего провода. Отверстия в печатных платах со стороны установки деталей раззенкованы. Места подпайки выводов к фольге общего провода на рис. 10 и 11,а помечены крестиками. Один из выводов конденсатора C20, стойки на обеих платах для подключения общего провода и проволоочная скоба для соединения выводов резисторов R7 - R11 подпаяны к фольге платы с обеих сторон. В этом случае соответствующие отверстия не зенкованы. На второй плате проводники, соединяющие резистор R44 и конденсаторы C23 и C24, с целью уменьшения влияния паразитных емкостей на результат преобразования, окружены защитным проводником, соединенным с выводом 27 микросхемы. Для этой же цели фольга со стороны установки микросхем под указанными элементами отделена от общего провода и соединена с тем же выводом.

Вторая плата является законченным вольтметром постоянного тока с пределом измерения 199,9 мВ и может использоваться в других конструкциях измерительных приборов.

Переключатели SA1 и SA2 размещены на кронштейне из латуни толщиной 1 мм (рис. 12), который установлен в вырезе первой платы. Входные гнезда XS1 и XS2 для штырей диаметром 1,6 мм находятся на боковой стенке корпуса. Переключатели снабжены ручками - барабанами с гравировкой режимов и пределов измерений (рис. 13). Следует помнить, что ручки должны быть изолированы от осей переключателей. Переключатель SA3 закреплен на уголке из латуни той же толщины, его ось параллельна длинной стороне платы. Управляется переключатель рычагом, изготовленным из орга-

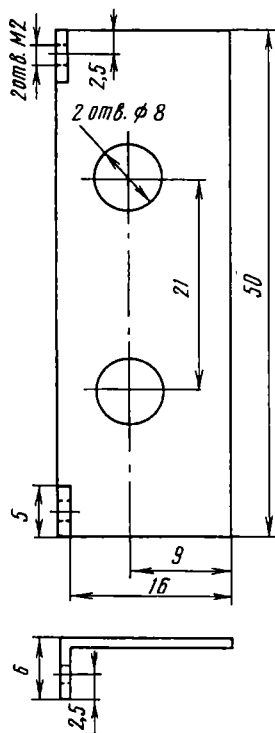


Рис. 12. Кронштейн для переключателей SA1 и SA2

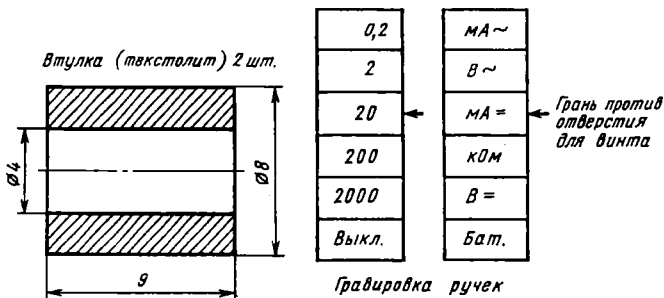
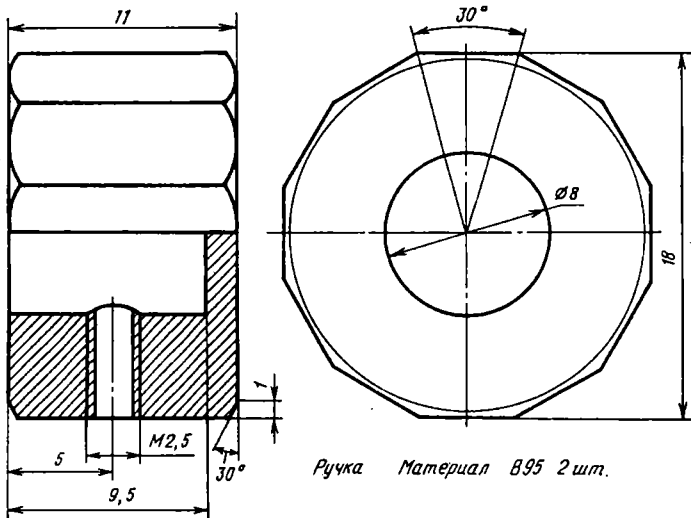


Рис. 13. Ручки - барабаны для переключателей SA1 и SA2

нического стекла толщиной 4,5 мм. Ось переключателя укорочена до 4,5 мм, лыска оси расширена до стопорной шайбы.

Платы скреплены между собой винтами М2,5, между платами установлен тонкий латунный экран, соединенный с общим проводом и оклеенный с обеих сторон самоклеющейся поливинилхлоридной пленкой, на винты с каждой стороны экрана одеты металлические дистанционные втулки высотой 2 мм.

Скрепленные между собой платы мультиметра установлены в пластмассовый корпус габаритами 116 × 72 × 34 мм. Платы крепят винтами М2,5 к четырем бобышкам из органического стекла. Напротив индикатора в корпусе прорезано окно 16 × 41 мм, в которое вклеена пластина из бесцветного прозрачного органического стекла.

Платы закрыты экранами в форме поддонов, изготовленными из латуни толщиной 0,3 мм и оклеенными изнутри самоклеющейся поливинилхлоридной пленкой. Экраны соединены с общим проводом. Напротив подстроечных конденсаторов С3 и С6 в одном из экранов пробиты отверстия.

Монтаж и настройку мультиметра рекомендуется проводить в следующей последовательности. Вначале следует собрать вторую плату, но вместо резистора R45 установить переменный резистор 47 кОм. Подключив частотомер к выводу 21 микросхемы DD2 и к плюсу батареи питания, переменным резистором установить частоту генератора 50 кГц (62,5 Гц по частотомеру). Впаять резистор, соответствующий сопротивлению введенной части переменного.

Соединив вход "-" АЦП с общим проводом, откалибровать АЦП с помощью подстроечного резистора R26, подав на его вход контролируемое точным вольтметром напряжение 0,18...0,19 В, при необходимости подобрать R25. Установив входное напряжение +0,199 В, нужно сменить его полярность: должен появиться знак "-".

Собрав на первой плате преобразователь переменного напряжения в постоянное, соединить его вход "+" с общим проводом, а вход "-" - с выходом ОС=. Входы АЦП подключить к выходу ОС= и общему проводу. Подстроечным резистором R35 установить нулевое напряжение на выходе DA2.

Далее нужно подключить выходы преобразователя переменного напряжения в постоянное к входам АЦП с соблюдением полярности. Выход ОС~ преобразователя следует соединить с его входом "-". Подав на вход "+" преобразователя напряжение 150...180 мВ с частотой 1000 Гц, резистором R41 устанавливают такое же показание на индикаторе. Уменьшая входное напряжение в 10 и 100 раз, следует проверить линейность работы преобразователя.

Такова методика предварительной настройки.

Теперь можно приступить к сборке первой платы. Рекомендуемый порядок проведения объемного монтажа цепей коммутации такой. Вначале переключатели SA1 и SA2 устанавливают на кронштейн и соединяют между собой их контакты в соответствии со схемой рис. 7. К контактам переключателей подпаять проводники МГТФ-0,14 с некоторым запасом по длине для соединения с печатными платами мультиметра и с переключателем SA3. Затем, установив кронштейн на плату, впаять проводники, идущие от переключателей, в соответствующие отверстия плат и подпаять переключатель SA3, установив его на плату. Провод от переключателя SA1.2 к скобе, соединяющей резисторы R7 - R11, должен быть проложен отдельно от других цепей и подключен к концу скобы у резисторов R11. Шунты R9 - R11 подключают к секциям переключателя SA2.3 и SA2.4 двумя про-

водниками, каждый проводник к своей секции. У R10 и R11 для этого предусмотрено по два контакта. Поскольку почти все добавочные резисторы вольтметра и шунты миллиамперметра устанавливают перпендикулярно печатной плате, в большинстве случаев при отсутствии необходимого номинала их можно составлять из двух последовательно или параллельно включенных резисторов.

Окончательную настройку мультиметра производят в таком порядке. Мультиметр устанавливают в режим измерения постоянного напряжения и калибруют его, как описано выше, но подавая на его вход напряжение около 1,9 или 19 В. Работу вольтметра следует проверить и на других диапазонах.

Переключая мультиметр в режим измерения сопротивления, включают между входами мультиметра эталонный резистор с сопротивлением 15...19 или 150...190 кОм, величина которого известна с погрешностью не хуже 0,1%. Установив соответствующий предел измерения (без множителя " $\times 10^n$ "), при котором индицируются все четыре знака, подстроечным резистором R21 добиваются показаний на индикаторе сопротивления эталонного резистора, при необходимости следует подобрать R19.

Затем проверяют работу омметра на других диапазонах. На диапазоне 199,9 Ом показания могут быть завышены на 0,2...0,3 Ом за счет сопротивления соединительных проводников.

Проверить работу омметра в положении " $\times 10^n$ " переключателя SA3, при необходимости подобрать резистор R18.

Установив мультиметр в режим измерения переменных напряжений, следует откалибровать его на частоте 50 Гц резистором R41 аналогично вольтметру постоянного напряжения.

Далее, установив смонтированную плату в корпус и закрепив экран, необходимо подстроить делитель конденсаторами C3 и C6. Возможно, что при этом придется подобрать конденсаторы C2 и C5. Рекомендуемый порядок здесь такой. Вначале следует подать на вход напряжение около 190 мВ с частотой 5 кГц и на пределе 0,1999 запомнить показания. Переключив вольтметр на следующий предел, увеличить входное напряжение в 10 раз и подстроечным конденсатором C3 установить такие же показания. Далее необходимо переключить вольтметр на предел 19,99 В, увеличить входное напряжение еще в 10 раз и конденсатором C6 откалибровать вольтметр на этом пределе. Указанные операции по подстройке делителя необходимо повторить несколько раз, так как они оказывают влияние друг на друга.

В режиме измерения постоянного и переменного токов мультиметр не требует калибровки.

В выключенном состоянии батарея питания подключена к

входным гнездам, что позволяет контролировать ее напряжение и заряжать аккумуляторы.

При пользовании прибором нельзя переключать режим измерений при подключенном к контролируемой цепи мультиметре. Постоянное и переменное напряжения, подаваемые на вход мультиметра, не должны превышать 500 В.

Несколько слов о контроле р-п переходов полупроводниковых приборов. В режиме омметра мультиметр измеряет падение напряжения на контролируемом сопротивлении (и р-п переходе) при заданном токе 1 мА, 100, 10, 1 и 0,1 мкА. На основных диапазонах омметра падение напряжения на проверяемом элементе не должно превышать 0,1999 В, поэтому контроль р-п переходов практически невозможен. При введении множителя "x10" падение напряжения может достигать 1,999 В, поэтому можно проверить р-п переходы всех полупроводниковых приборов, включая светодиоды. Мультиметр очень удобен для снятия вольт-амперных характеристик р-п переходов в логарифмическом масштабе, поскольку на табло при пяти значениях протекающего тока, различающихся максимально на четыре порядка, индицируется падение напряжения на р-п переходе в милливольтках.

Описанный выше мультиметр в режиме омметра позволяет измерять емкость конденсаторов. Рассмотрим упрощенную схему омметра мультиметра (рис. 14). Измеряемый резистор включен в цепь обратной связи операционного усилителя DA1, инвертирующий вход которого подключен к источнику стабильного напряжения $U_{ст}$ через токозадающий резистор R1. В результате на вольтметр PV1 поступает напряжение U, пропорциональное измеряемому сопротивлению R_x и определяемое по формуле:

$$U = R_x I, \text{ где } I = U_{ст} / R1.$$

Что произойдет, если вместо измеряемого сопротивления в цепи обратной связи подключить конденсатор (рис. 15)? В этом случае образуется хорошо известная схема интегратора. Напряжение, поступающее на вольтметр, линейно нарастает во времени. Чем больше

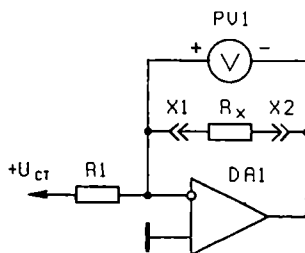


Рис. 14. Упрощенная схема омметра

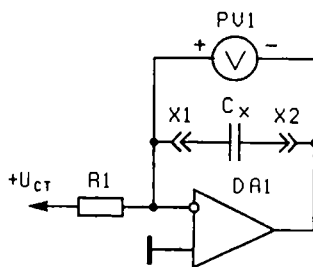


Рис. 15. Подключение конденсатора к омметру

емкость конденсатора, тем медленнее нарастает напряжение. Через время T оно достигает величины U :

$$U = TI/C_x.$$

Заметив показания вольтметра через некоторое время T относительно момента подключения разряженного конденсатора, рассчитаем его емкость:

$$C_x = TI/U = T/R_x, \text{ поскольку } I = U/R_x.$$

Емкости какой величины реально измерять мультиметром? При определении параметра T по секундомеру удобно определять момент перегрузки омметра, т. е. когда его показания становятся равными предельному значению для данного диапазона измерения сопротивлений. Приемлемое время измерения составляет 10...100 с, поэтому на пределе 20 МОм можно измерять емкости от $10/20 = 0,5$ мкФ до $100/20 = 5$ мкФ, на диапазонах 2 МОм, 200, 20, 2 кОм и 200 Ом - соответственно конденсаторы емкостью 5...50, 50...500, 500...5000, 5000...50000 и 50000...500000 мкФ. Если время измерения увеличить до 400 с или отсчет времени производить в момент достижения показаний 50 Ом, можно измерять даже наибольшую емкость отечественного ионистора - 2 Ф.

Для достижения большей точности измерения можно увеличивать его время, но не более 400...500 с для оксидных конденсаторов, поскольку при большем времени точность измерений уменьшается за счет утечек.

Перед проведением измерений предлагаемым способом давно не использовавшиеся оксидные конденсаторы необходимо отформовать - подавать на них в течение нескольких часов номинальное напряжение, а затем разрядить, замкнув выводы на несколько минут. Такая длительная разрядка необходима для уменьшения влияния абсорбции, проявляющейся в сохранении части заряда на конденсаторе и постепенного появления на выводах разряженного конденсатора напряжения небольшой величины после его кратковременной разрядки. Поэтому перед измерением емкости оксидного конденсатора следует тем же мультиметром проверить отсутствие напряжения на выводах.

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТИ

Описываемый прибор позволяет измерять емкости конденсаторов, в том числе и полярных, на семи пределах - 200 пФ, 2000 пФ и далее до 200 мкФ. Погрешность измерения - $\pm(0,3\% + 1$ единица младшего разряда) на пределах 0,02 мкФ и выше с увеличением ее до $\pm 0,6\%$ на пределах 200 и 2000 пФ. Измеритель потребляет ток не

более 8 мА при питании напряжением 9 В от аккумуляторной батареи 7Д-0,125Д.

Принцип действия измерителя основан на методе, описанном в [4], и состоит в следующем. Измеряемый конденсатор периодически заряжается до некоторого напряжения с последующей разрядкой через образцовый резистор. Отношение среднего тока разрядки к амплитуде переменного напряжения на конденсаторе строго пропорционально его емкости и частоте независимо от напряжения, до которого заряжается и разряжается конденсатор. Указанное отношение измеряется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) микросхемы КР572ПВ5.

Принципиальная схема прибора приведена на рис. 16, временная диаграмма работы - на рис. 17. Цикл измерения состоит из пяти тактов и формируется счетчиком DD2. В зависимости от диапазона измеряемых емкостей используется частота импульсов счета 125 Гц или 12,5 кГц. Сигналы с выходов счетчика управляют ключами микросхемы DD3, коммутирующими измеряемый конденсатор и прецизионные резисторы измерителя, а также аналоговые входы микросхемы DD5.

В первом такте измеряемый конденсатор C_x через верхний по схеме ключ микросхемы DD3 подключен к выходу эмиттерного повторителя на транзисторе VT1 и заряжается до напряжения около 0,8 В. Во втором такте это напряжение через усилитель на ОУ DA1 с коэффициентом усиления 1,25, определяемым цепью обратной связи R6 - R9, передается на конденсатор C9 и заряжает его. В третьем такте измеряемый конденсатор подключен к измерительному входу АЦП и разряжается через один из точных резисторов R1 - R5. В четвертом такте конденсатор C6, соединенный с общим проводом, с выхода ОУ DA1 заряжается до напряжения, пропорционального напряжению на разряженном в третьем такте конденсаторе C_x . В пятом такте все ключи разомкнуты и изменений в измерительной части прибора не происходит. Этот такт необходим для того, чтобы длительность цикла измерения емкости при частоте импульсов на входе счетчика DD2, равной 125 Гц, была равна длительности фазы интегрирования входного напряжения, составляющей 4000 периодов частоты генератора АЦП.

Многократное повторение указанного цикла приводит к тому, что на конденсаторе C9 устанавливается напряжение, равное амплитуде переменного напряжения на измеряемой емкости (с коэффициентом 1,25), а среднее напряжение на измерительном входе АЦП оказывается пропорциональным току через эту емкость. В результате

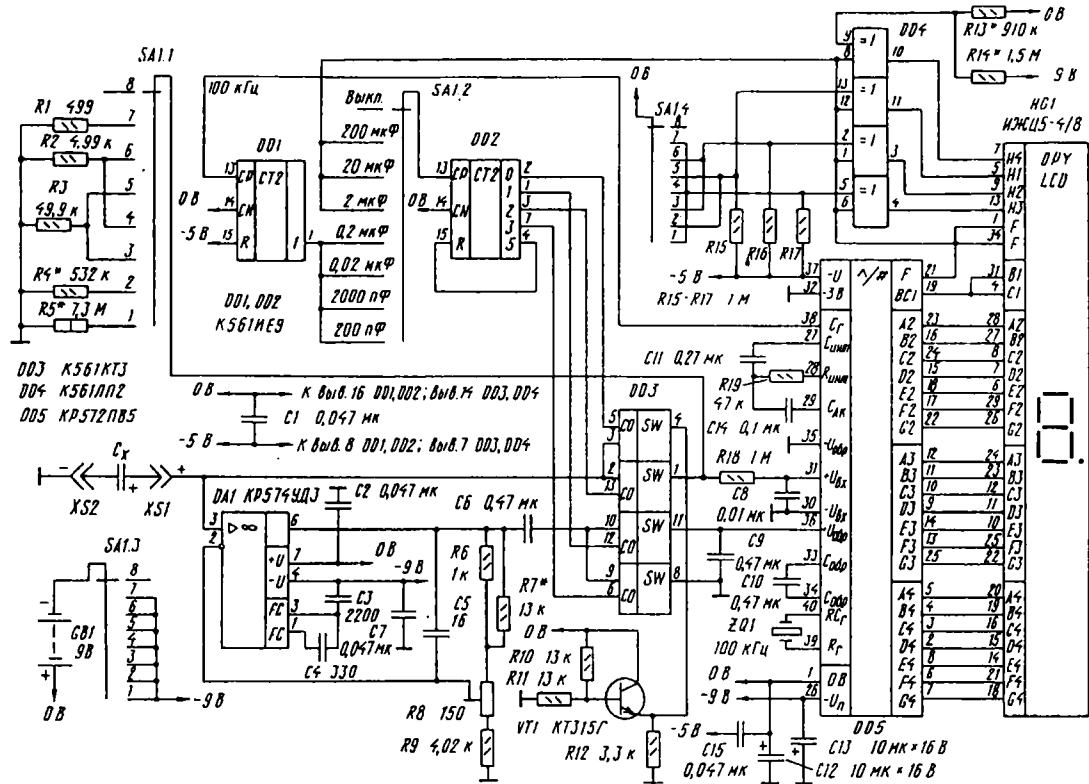


Рис. 16. Принципиальная схема измерителя емкости

АЦП, измеряющий отношение напряжения на измерительном входе к образцовому, через дешифратор микросхемы отражает на индикаторе НГ1 значение емкости измеряемого конденсатора.

Сопротивления резисторов R1 - R5 и частота импульсов, подаваемых на вход счетчика DD2, выбраны так, что при изменении измеряемой емкости от 0 до максимального индицируемого значения, образцовое напряжение на опорном входе АЦП изменяется от 1 до 0,077 В, а на измерительном входе - от 0 до 154 мВ. На рис. 18 показаны зависимости образцового напряжения на входе опорного напряжения АЦП и напряжения на измерительном входе АЦП. Важно отметить, что при выбранной схеме устройства сопротивление открытых ключей микросхемы DD3 не влияет на погрешность измерения.

Для обеспечения необходимой точности измерений частота импульсов, подаваемых на вход микросхемы DD2, должна быть стабильной, поэтому она задается кварцевым резонатором генератора микросхемы DD5. В ней же частота генератора 100 кГц делится на 800, и с выхода F импульсы с частотой 125 Гц подаются на общий электрод индикатора. Сигнал с этого выхода используется как входной для счетчика DD2 на пределах в диапазоне 2 мкФ - 200 мкФ. Для остальных пределов измерения частота 100 кГц делится на 8 счетчиком DD1.

Управление положением запятой при отсчете показаний осуществляет микросхема DD4. Запятая Н4 используется для индикации разряда батареи питания. При напряжении питания более 7,2 В напряжение на входе 9 микросхемы DD4 ниже порога переключения и запятая невидима. При снижении напряжения батареи питания напряжение питания микросхемы DD4 остается постоянным, а входное напряжение на выводе 9 возрастает. При напряжении батареи менее 7,2 В оно становится выше порога переключения и запятая Н4 становится видимой.

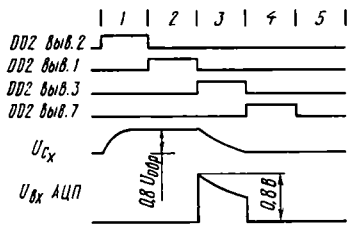


Рис. 17. Временная диаграмма работы измерителя емкости

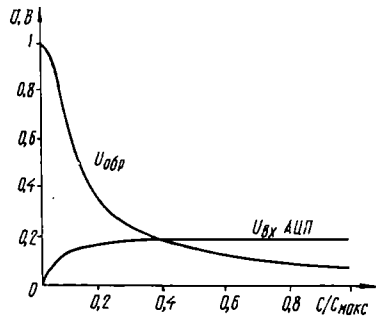


Рис. 18. Зависимости $U_{обр}$ и $U_{вх}$ АЦП от измеряемой емкости

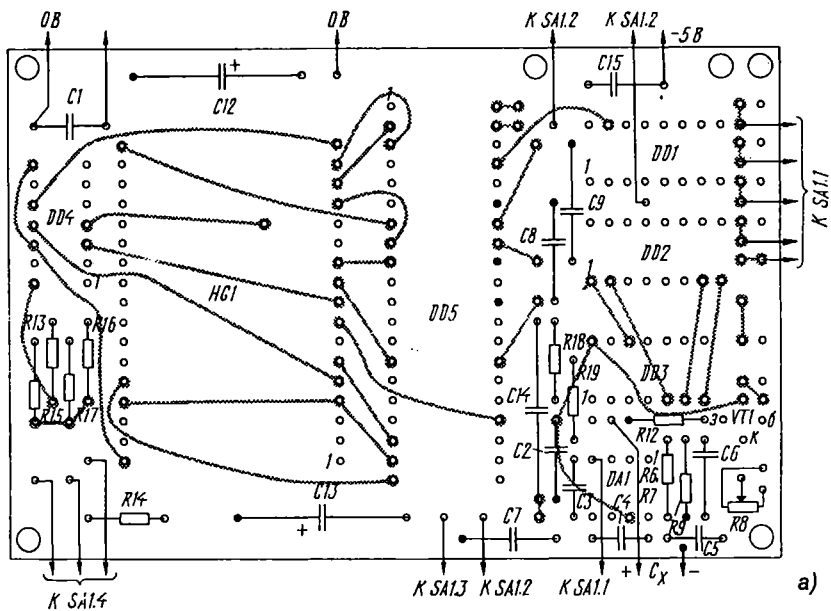
Резисторы R1 - R3 следует подобрать с точностью 0,1%, в крайнем случае 0,2%. В описываемой конструкции использованы резисторы С2-29В мощностью 0,125 Вт. Из-за неидеальности ключей микросхемы DD3 и емкостного прохождения управляющих сигналов ключей в коммутируемые цепи резисторы R4 и R5 требуют подбора. Резистор R5 состоит из трех последовательно соединенных резисторов С2-29В 0,125 Вт с сопротивлением 2 МОм и одного подбираемого резистора МЛТ-0,25 с сопротивлением около 1,3 МОм. Резистор R4 составлен аналогично из точного сопротивлением 499 кОм и подборного - 33 кОм. Выдерживать номинал резисторов R1 - R3, кратный величине 4,99, необязательно. Можно их выбрать кратными, например 5,1, но их отношение должно быть выдержано пропорционально степени числа 10 с точностью 0,1...0,2%, в этом случае, возможно, придется подобрать резистор R6 или R9. Резисторы R6 и R9 должны быть стабильными.

Микросхема ОУ КР574УД3 наиболее полно отвечает требованиям для использования в данном устройстве. Вместо него применим ОУ К574УД3 при учете различия в цоколевке или КР544УД2 при изменении цепей коррекции и увеличении напряжения питания до 10 В. Поскольку напряжение 10 В является максимальным для КР572ПВ5 и минимальным для КР544УД2, оно должно быть стабилизированным. Можно также при использовании микросхемы КР544УД2 установить батарею аккумуляторов на 12 В, а между цепью -9 В и конденсатором С12 - четыре маломощных кремниевых диода, падение напряжения на которых составит около 2,5 В. Микросхемы серии К561 заменимы на микросхемы серии КР1561, а при изменении рисунка печатной платы - на микросхемы серии 564.

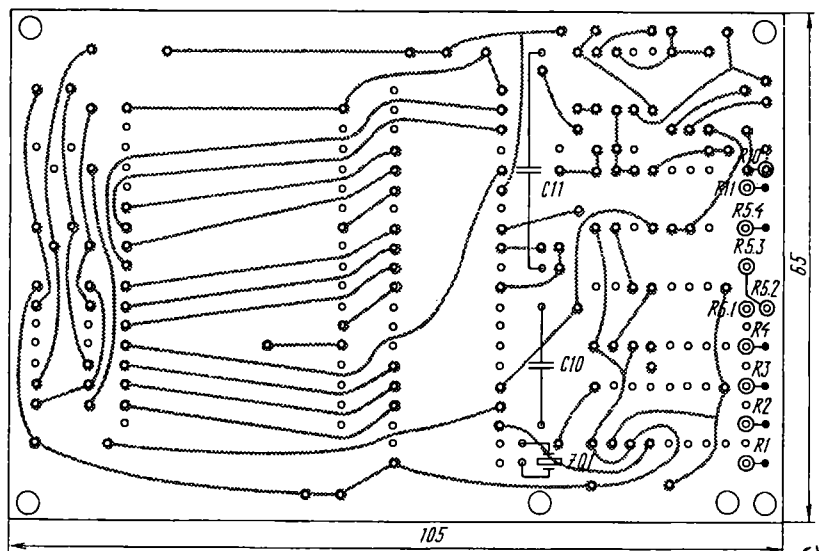
В конструкции использованы конденсаторы КМ-5, КМ-6, конденсатор С11 должен быть с высококачественным диэлектриком (например, серии К73-16). Полярные конденсаторы - К53-18.

Все детали измерителя, кроме батареи питания, расположены на двусторонней печатной плате размерами 65 × 105 мм, на рис. 19,а приведено расположение деталей и проводников на стороне установки микросхем, на рис. 19,б - проводников и некоторых других деталей на другой ее стороне. Конструктивные особенности платы и всего измерителя - те же, что и у предыдущего устройства. Габариты корпуса - 135 × 72 × 34 мм. Переключатель снабжен такой же ручкой-барabanом, что и в мультиметре, но изоляции ручки от оси переключателя не требуется.

Измеритель целесообразно собирать и настраивать в следующем порядке. Вначале на плату следует установить все детали, кроме



a)



b)

Рис. 19. Печатная плата измерителя емкости: а - со стороны установки микросхем, б - с противоположной стороны

кронштейна с переключателем и резистора R7. Подобрать образцовый конденсатор, емкость которого 0,15...0,19 мкФ и известна с точностью не хуже 0,1%. Установить переключатель на предел "0,2 мкФ" и подключить резистор R2. Подбором резистора R8 добиться показаний измерителя, соответствующих емкости конденсатора, при необходимости подобрать резистор R7.

Если прибор не начинает работать сразу, нужно проверить работу генератора в микросхеме DD5, работу делителей частоты DD1 и DD2, наличие опорного напряжения 0,8 В на резисторе R12. В любом случае желательно проверить отсутствие генерации в ОУ DA1, при ее наличии подобрать конденсаторы C3 - C5.

Затем установить кронштейн с переключателем и полностью собрать измеритель. Повторно откалибровать его с помощью эталонного конденсатора, как это описано выше. Без подключения к прибору измеряемого конденсатора на пределе 200 пФ за счет емкости монтажа и входной емкости микросхем DA1 и DD3 показания индикатора должны быть несколько менее 10 пФ. При подключении эталонного конденсатора емкостью 150...190 пФ показания должны возрасти на величину емкости эталонного конденсатора. Если возрастание меньше, увеличивают сопротивление резистора R5, если же больше - уменьшают. Аналогично подбирают сопротивление резистора R4 с использованием точного конденсатора 1500...1900 пФ. При наличии точного конденсатора 0,015...0,019 мкФ можно вместо одного резистора R3 установить два - один сопротивлением 49,9 кОм подключить к контакту 5 секции SA1.1, другой, подобранный, подключить между контактами 3 и 5.

Для упрощения пользования прибором при измерении малых емкостей целесообразно подобрать конденсатор, включенный параллельно входным гнездам, с тем, чтобы начальное показание прибора было равно 10 пФ.

Следует также подобрать номиналы резисторов R13 и R14 так, чтобы запятая H4 включалась при снижении напряжения питания ниже 7,1...7,3 В.

При необходимости в прибор можно ввести еще один диапазон измерений - 2000 мкФ. Для этого между контактом 8 секции переключателя SA1.1 и общим проводом следует включить резистор сопротивлением 49,9 Ом. Контакт 8 секции SA1.4 следует оставить свободным, а подключение контактов 8 секций SA1.2 и SA1.3 должно быть таким же, как и контактов 7. Выключенному состоянию прибора должно соответствовать положение 9. Погрешность измерений на дополнительном диапазоне не превышает 1,5%.

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ RCL

Измеритель имеет следующие диапазоны измерений: 200 пФ, мкГн, Ом, 2, 20, 200 нФ, мГн, кОм, 2, 20 мкФ, Гн. Погрешность измерений $\pm(0,5\% + 1$ единица младшего разряда) при измерении емкостей и сопротивлений и $\pm(2\% + 1$ единица младшего разряда) при измерении индуктивности. Прибор питается от батареи, составленной из 8 аккумуляторов Д-0,125 и потребляет ток менее 20 мА. Прибор сохраняет свою точность при снижении напряжения питания до 8 В, поэтому его можно питать от батареи 7Д-0,125, но ее емкость не будет использоваться полностью.

Принцип измерений в описываемом приборе заключается в следующем. Напряжение треугольной формы прикладывается к измеряемой емкости, при этом ток через нее имеет форму меандра и его амплитуда пропорциональна измеряемой емкости. При измерении индуктивности через нее пропускается ток треугольной формы, падение напряжения на индуктивности имеет форму меандра и пропорционально ее величине. Измеряемая емкость и эталонные резисторы подключаются в соответствии с рис. 20,а, а измеряемая индуктивность - по схеме рис. 20,б. При измерении сопротивлений используется соединение по схеме рис. 20,а, но эталонными становятся емкости, а измеряемое сопротивление устанавливается на место эталонного.

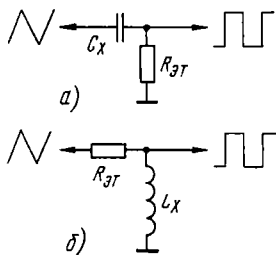


Рис. 20. Принцип работы измерителя RCL

Схема измерителя приведена на рис. 21. Все микросхемы прибора, кроме DD9, питаются от батареи GB1 непосредственно. Для симметричной работы операционных усилителей при помощи резисторов R12 и R13 и ОУ DA3 создана искусственная средняя точка, относительно которой указаны напряжения на схеме.

Задающий генератор прибора собран на элементах DD1.1 и DD1.2 и работает на частоте 1 МГц. Цепочкой декадных делителей DD2 - DD5 эта частота делится до 100 кГц - 100 Гц. Используемые в делителе микросхемы К176ИЕ4 при включении могут делить частоту с неправильным коэффициентом деления, поэтому для их начальной установки применена цепочка C22R26. Сигналы с выходов микросхем DD2 - DD5 через переключатель SA1.1 подается на микросхему DD6. В ней частота делится на 10 и с выхода Р микросхемы сигнал в форме меандра с частотой 100 кГц - 10 Гц подается через повторитель на элементах DD1.3, DD8.1, DD8.2 на вход формирователя напряжения треугольной формы. Микросхема DD6 типа

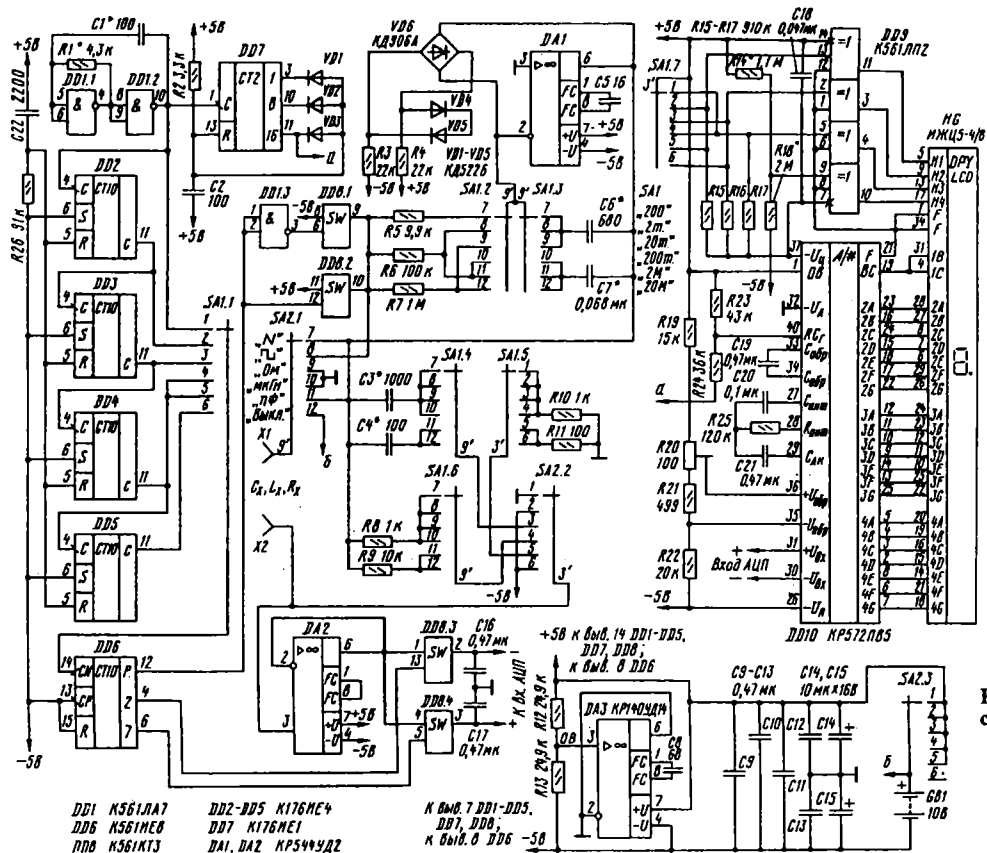


Рис. 21. Принципиальная схема измерителя RCL

K561IE8 имеет внутреннюю цепь коррекции, обеспечивающую правильный коэффициент деления, поэтому подача на него импульса начальной установки не требуется. Повторитель на ключах микросхемы K561КТ3 обладает существенно меньшим выходным сопротивлением по сравнению со стандартными выходами микросхем этой серии, что исключает необходимость подбора входных резисторов формирователя напряжения треугольной формы.

Формирователь собран по схеме интегратора на ОУ DA1. Сопротивления резисторов R5 - R7 и емкости конденсаторов C6 и C7 выбраны так, чтобы амплитуда напряжения треугольной формы составляла 4 В от пика до пика (± 2 В), а наклон "пилы" на частоте 100 кГц был 0,75 В/мкс. Для симметрирования выходного напряжения в интегратор введена нелинейная отрицательная обратная связь через выпрямительный мост VD6, в диагональ которого включены диоды VD4 и VD5, через которые пропущен при помощи резисторов R3 и R4 небольшой ток. При подходе выходного напряжения интегратора к +2 или -2 В диоды моста открываются и замыкается цепь отрицательной обратной связи. В результате вершины напряжения треугольной формы незначительно ограничиваются, что не влияет на точность измерений, поскольку важной является линейность напряжения только вблизи нулевого значения.

Напряжение треугольной формы с выхода ОУ DA1 подается через секцию переключателя SA2.1 на измеряемую емкость и эталонные резисторы R10, R11 или через эталонные резисторы R8, R9 на измеряемую индуктивность или через эталонные конденсаторы C3, C4 на измеряемое сопротивление, в результате чего образуется одна из схем рис. 20.

При измерении емкостей и сопротивлений напряжение на выходе цепи рис. 20,а имеет форму меандра с плавными переходами между положительными и отрицательными горизонтальными участками. При измерении индуктивностей за счет их всегда реально существующего активного сопротивления горизонтальные участки напряжения получают наклон (рис. 22, ограничение вершин треугольного напряжения и плавные переходы условно не показаны).

Через буферный ОУ DA2 сигнал поступает на синхронный выпрямитель, собранный на ключах DD8.3, DD8.4 и конденсаторах C16 и C17. Ключи управляются выходными им-

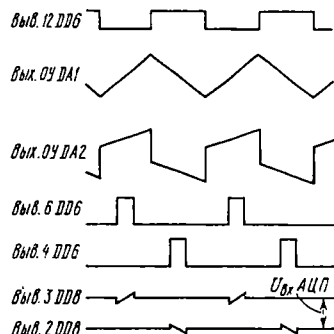


Рис. 22. Временная диаграмма работы измерителя RCL

пульсами счетчика DD6 и открываются на $1/10$ периода выходного сигнала ОУ DA2 в середине горизонтальных участков, ключ DD8.4 в середине положительной полуволны, DD8.3 - отрицательной. Конденсаторы C17 и C18 запоминают напряжения на время разомкнутого состояния ключей, с них сигнал подается на измерительный вход АЦП.

Систематическая погрешность прибора при измерении емкостей и сопротивлений, возникающая из-за того, что последовательно с измеряемой или эталонной емкостью включен эталонный или измеряемый резистор, ничтожна, поскольку к моменту открытия ключей DD8.3 или DD8.4 процесс установления величины тока через конденсатор полностью заканчивается. При измерении индуктивностей собственное сопротивление катушек индуктивности играет двойную роль. С одной стороны, оно несколько уменьшает показания прибора, поскольку включено последовательно с резисторами R8 или R9 и уменьшает величину тока треугольной формы, текущего через измеряемую индуктивность. С другой стороны, оно увеличивает показания за счет наклона горизонтальных участков сигнала на выходе DA2. Указанные эффекты не компенсируют друг друга и заметно снижают точность измерений.

Максимальное значение напряжения на конденсаторах C16 и C17, соответствующее предельному значению каждого диапазона, составляет ± 150 мВ, полное напряжение, подаваемое на вход АЦП - 300 мВ. Двухполупериодный характер выпрямления обеспечивает неизменность выходного напряжения выпрямителя при уходе нуля операционных усилителей DA1 и DA2.

Включение микросхемы DD10 имеет некоторые особенности. Опорное напряжение, определяемое максимальным входным сигналом, составляет 150 мВ. Оно снимается с делителя R19 - R22. Нестабильность напряжения источника питания не играет никакой роли, поскольку как выходное напряжение синхронного выпрямителя, так и опорное напряжение пропорциональны напряжению питания, а АЦП измеряет их отношение. Также не сказывается уход частоты генератора DD1.1, DD1.2, поскольку важна крутизна треугольных импульсов на выходе микросхемы DA2, а не их частота.

Исходная частота работы АЦП выбрана равной 40 кГц. Она получается из сигнала с частотой 1 МГц делением на 25 при помощи микросхемы DD7 и элемента совпадения на диодах VD1 - VD3, резисторе R2 и конденсаторе C2. Амплитуда импульсов на входе RСг микросхемы DD10 должна соответствовать напряжению внутреннего источника питания цифровой части микросхемы $-U_{ц}$, составляющего по абсолютной величине около 5 В. Оно приводится к необходимой величине при помощи делителя R23, R24.

Управление местоположением запятой индикатора НГ1 при отсчете показаний осуществляет микросхема DD9. Запятая Н4 используется для индикации разряда батареи питания.

Резисторы R5 - R11 следует подобрать с точностью 0,2%. В описываемой конструкции использовались резисторы типа С2-29В мощностью 0,125 Вт, остальные резисторы - МЛТ, подстроечный - СП3-19а. Резистор R5 состоит из параллельно соединенных точного резистора 10 кОм и МЛТ-0,25 1 МОм 10%. Выдерживать номиналы резисторов R12, R13, R19, R21, R22 не обязательно, но они должны быть стабильными. При этом резисторы R12 и R13 должны быть равны друг другу с точностью 0,5%, а на входы образцового напряжения микросхемы DD10 должно подаваться 150 мВ. Диоды могут быть использованы практически любые маломощные кремниевые, в том числе и для замены моста VD6.

Микросхемы КР544УД2 могут быть заменены на К544УД2, вместо КР140УД14А можно использовать практически любой ОУ, работающий при напряжении питания ± 5 В, например КР140УД6. Микросхему К176ИЕ1 можно заменить при изменении схемы на К176ИЕ2 или на К561ИЕ10. Микросхемы серии К561 можно заменить на микросхемы серии КР1561, К561ИЕ8 и на К176ИЕ8, а при изменении рисунка печатной платы - на микросхемы серии 564.

Если батарею питания разделить на две по 5 В, можно исключить ОУ DA3, при этом питание необходимо будет отключать двумя секциями переключателя SA2.

Конденсаторы С1, С3, С4, С6 следует подобрать с ТКЕ не хуже М75. Остальные конденсаторы могут иметь больший ТКЕ, в основном применены конденсаторы типов КМ-5 и КМ-6 (конденсаторы 0,47 мкФ - КМ-6б, в качестве С9 - С13 можно использовать конденсаторы емкостью 0,047 мкФ и выше). Конденсаторы С7 и С20 должны быть с хорошим диэлектриком, были использованы конденсаторы К73-17 и К73-11 на напряжение 160 В. Полярные конденсаторы - К53-18 или любые другие.

Все детали измерителя, кроме эталонных элементов и батареи питания, расположены на двусторонней печатной плате размерами 65x130 мм, на рис. 23,а приведено расположение деталей и проводников на стороне установки микросхем, на рис 23,б - проводников на другой ее стороне.

Переключатели SA1 (ПГ2-12-6П8Н) и SA2 (ПГ2-10-6П4Н) установлены под микросхемами DD10, DD6, DD1, DD8 на кронштейне, изготовленном из латуни толщиной 1 мм. Входные гнезда XS1 и XS2 для вилок диаметром 1,6 мм установлены на боковой стенке корпуса. Переключатели снабжены такими же ручками - барабанами, как и в предыдущих конструкциях, изоляции ручек от оси переключателей не

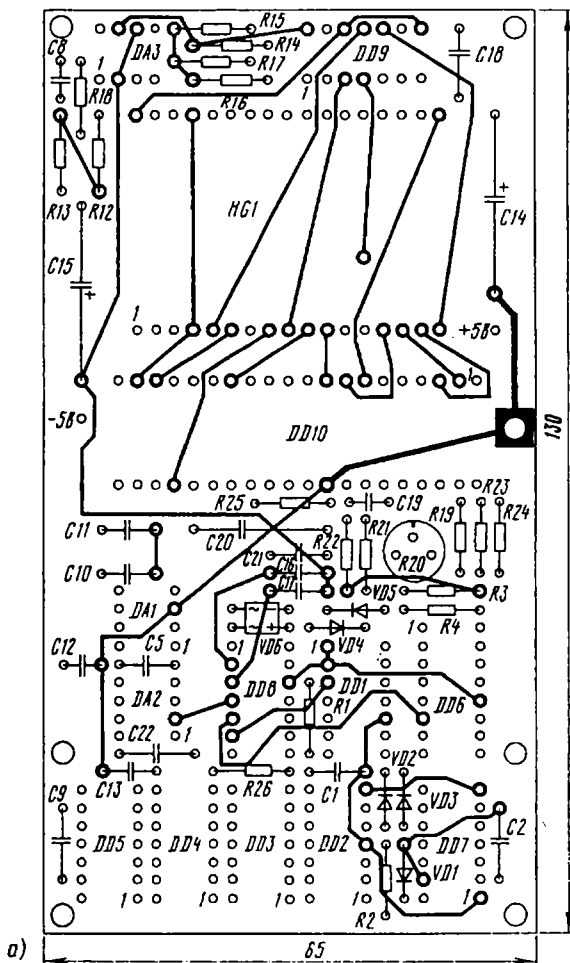
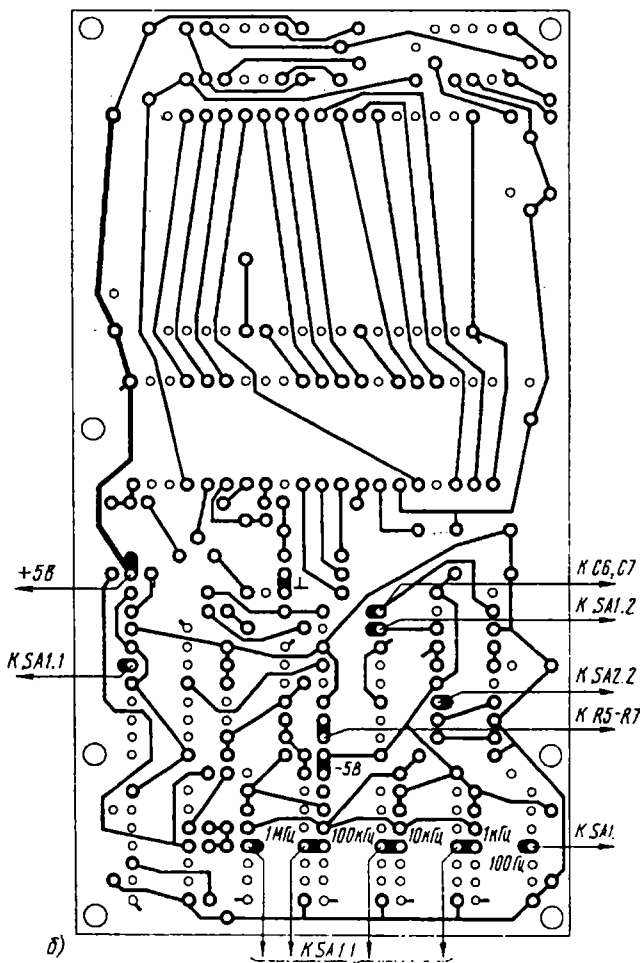


Рис. 23. Печатная плата измерителя RCL:

а - со стороны установки микросхем, *б* - с противоположной стороны

требуется. Эталонные элементы установлены при помощи трубчатых контактов на стеклотекстолитовой плате с размерами 20 x 65 мм, закрепленной с одной стороны на кронштейне переключателей, с другой стороны - к основной печатной плате через дистанционную втулку высотой 7 мм. В средней части вторая плата прикреплена к одному из винтов переключателя. Такое крепление платы позволяет произвести почти полный монтаж цепей переключателей и эталонных элементов до установки переключателей на основную плату.



Платы измерителя установлены в пластмассовый корпус с габаритами 136 × 72 × 34 мм.

Аккумуляторная батарея изготовлена из элементов двух батарей 7Д-0,125. Аккумуляторы, соединенные между собой приваренной никелевой лентой, сложены двумя "лесенками" по четыре элемента, обмотаны поливинилхлоридной изоляционной лентой и уложены в корпус измерителя под индикатором НГ1.

Измеритель целесообразно собирать и настраивать в следующем порядке. Вначале на плату следует установить все детали, за

исключением кронштейна с переключателями и платы с эталонными элементами. Подать напряжение питания 10 В и подбором элементов R1 и C1 установить частоту генератора на элементах DD1.1 и DD1.2, равной 1 МГц с точностью не хуже 2%. Частоту удобно контролировать на выходах счетчиков DD2 - DD5. По осциллографу можно установить частоту генератора, добиваясь неподвижного изображения импульсов 100 Гц с выхода микросхемы DD5 при синхронизации развертки осциллографа от сети.

Установить кронштейн с переключателями и резисторами R5 - R11, произвести весь проводной монтаж. Подобрать емкость конденсатора C7 так, чтобы ограничение треугольного напряжения на диапазоне 20 мкФ при увеличении напряжения питания начиналось при 10...11 В. Подобрать конденсатор, емкость которого известна с точностью не хуже 0,2%, и номиналом 0,15...0,19 мкФ. На диапазоне 200 нФ резистором R20 добиться показаний измерителя, соответствующих емкости конденсатора.

Вывод 3 секции переключателя SA1.5 отключить от резистора R10 и подключить к резистору R11. Подобрать конденсатор C6 такой емкости, чтобы показания при измерении эталонной емкости на диапазонах 200 нФ и 20 нФ (он превратился в 200 нФ) совпадали. Восстановить подключение вывода 3 переключателя.

Используя точные резисторы с допуском 0,1...0,2% в качестве измеряемых, подобрать емкость конденсатора C3 для получения соответствия показаний прибора номиналам резисторов на диапазонах 2 кОм - 200 кОм. Конденсаторы C3 и C6 удобно подбирать из нескольких меньшей емкости, полезно подключение подстроечных конденсаторов.

При наличии эталонного конденсатора емкостью 150...190 пФ можно уточнить величину сопротивления резистора, подключенного параллельно R5, для получения максимальной точности показаний на диапазоне 200 пФ.

На рис. 21 показан конденсатор C4, обеспечивающий диапазоны измерения сопротивлений 2 и 20 МОм, однако пользоваться этими диапазонами неудобно, поскольку требуется тщательное экранирование измеряемого резистора и прибора в целом, а точность измерений невысока. Без ущерба для пользования прибором его можно исключить, а также исключить секцию переключателя SA1.4, что позволит уменьшить число галет переключателя SA1 и использовать в качестве переключателя ПГ2-11-6П6Н.

При отсутствии измеряемой емкости на диапазонах 200 пФ и 2 нФ за счет емкости монтажа прибор должен показывать около 2 пФ. При измерениях эту величину следует вычитать из получаемого результата.

В режиме измерения индуктивностей в случае использования точных резисторов прибор настройки не требует.

Следует также подобрать номиналы резисторов R14 и R18 так, чтобы запятая Н4 включалась при снижении напряжения питания ниже 8 В.

Прибор можно использовать в качестве генератора однополярных прямоугольных импульсов с амплитудой 10 В и частотой 10 Гц...100 кГц или треугольных симметричных импульсов с той же частотой в двух верхних по схеме положениях переключателя SA2.

В выключенном состоянии батарея питания подключена к входным гнездам, что позволяет контролировать ее напряжение и заряжать аккумуляторы.

Прибор обладает не очень привычным свойством - при значительном превышении измеряемой величиной установленного диапазона, коротком замыкании контролируемого конденсатора или обрыве резистора или индуктивности он может показать некоторое конечное значение измеряемой величины. Поэтому при неизвестном даже приблизительно номинале проверяемого элемента измерение следует начинать с наибольшего предела измерения, уточняя измеряемую величину при переходе с диапазона на диапазон.

Этот недостаток устраняется путем несложной доработки, схема которой приведена на рис. 24. Резистор R18 цепи индикации падения напряжения батареи питания отключен от источника -5 В и подсоединен к коллектору транзистора VT1. Сопротивление резистора R28 мало по сравнению с R18 и при закрытом транзисторе VT1 не влияет на работу цепи. При отсутствии перегрузки амплитуда переменного напряжения на выходе ОУ DA2 измерителя не превышает 150 мВ, транзистор VT1 закрыт. Если перегрузка невелика, она индицируется как обычно - гашением всех

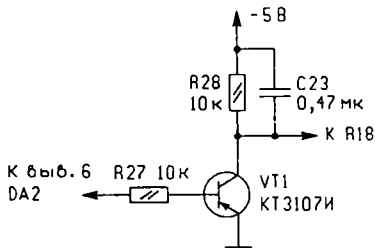


Рис. 24. Доработка измерителя

разрядов, кроме старшего. При большой перегрузке пики напряжения на выходе ОУ DA2 открывают транзистор VT1 и он заряжает конденсатор C23. Напряжение на коллекторе VT1 становится близким к напряжению общего провода, срабатывает индикация разряда батареи - включается десятичная точка Н4 младшего знака индикатора.

Для большей заметности перегрузки к выходу 10 DD9 можно подключить не только точку Н4, но и сегменты 1А, 1D, 1Е, 1F, 1G индикатора (выводы 2, 3, 30, 32, 33), в этом случае при перегрузке в

старшем разряде будет индицироваться буква Е или цифра 8. Еще интереснее индикацию разряда можно сделать, если выход 10 микросхемы DD9 подключить к общему электроду индикатора HG1 (выводы 1 и 34), отключив его от выхода F микросхемы. В этом случае при перегрузке или снижении напряжения батареи ниже 8 В все сегменты индикатора инвертируются и считывание показаний становится практически невозможным

Доработку можно провести объемным монтажом, рядом с ОУ DA1 и DA2 достаточно свободного места. Транзистор КТ3107И заменим на любой кремниевый маломощный структуры п-р-р.

При измерении емкостей полярных конденсаторов серий ЭТО, К51 и К52 последовательно с конденсатором следует включать батарею напряжением не менее 2,5 В, плюсом батареи к плюсу конденсатора. Все остальные типы конденсаторов можно проверять без дополнительного источника.

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ОММЕТРЫ

Цифровой мультиметр, описанный выше, не может измерять сопротивления выше 20 МОм. Однако в радиолюбительской практике потребность в этом время от времени возникает. Нередко и точность измерения малых сопротивлений также недостаточна. Поэтому в лаборатории радиолюбителя желательно иметь прибор с более широким диапазоном измерения сопротивлений. Два варианта таких омметров и описано в этом разделе.

Первым прибором можно измерять сопротивления на пределах 200 Ом, 2, 20, 200 кОм, 2, 20, 200 МОм с погрешностью $\pm(0,3\% + 1$ единица младшего разряда) и вдвое большей на диапазоне 2 ГОм. Омметр питается от аккумуляторной батареи 7Д-0,125 и потребляет ток не более 3 мА.

На первых четырех диапазонах принцип работы прибора следующий. Относительно стабильный ток, заданный одним из резисторов R17-R20, протекает через соответствующий образцовый резистор (R9 - R12) и контролируемое сопротивление R_x (рис. 25,а). Отношение падений напряжения на контролируемом и образцовом резисторах измеряется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) на микросхеме КР572ПВ5 и индицируется на жидкокристаллическом индикаторе.

На четырех других диапазонах принцип работы мегомметра иной. На измерительный вход АЦП с делителя R1R2 подается относительно стабильное напряжение - около 60 мВ (рис. 25,б). На образцовый вход АЦП напряжение подается с делителя, образованного контролируемым резистором R_x и одним из образцовых

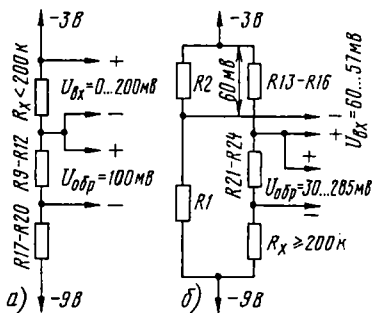


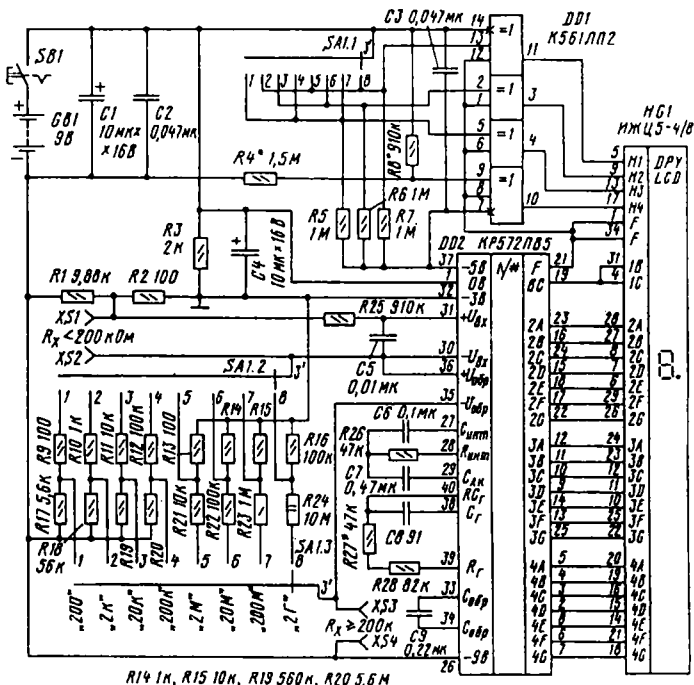
Рис. 25. К пояснению принципа работы омметра

на измерительном и образцовом входах АЦП оказывается строго пропорциональным измеряемому сопротивлению.

Полярность напряжения, прикладываемого к измерительному входу АЦП в схемах рис. 25, а и б, различная, но это роли не играет.

Схема омметра приведена на рис. 26. Измерительные цепи (см. рис. 25) питаются от разности напряжений батареи питания и

резисторов R21 - R24. При изменении контролируемого сопротивления от максимальной для данного диапазона величины до 0,1 от максимальной падение напряжения на образцовом резисторе изменяется от 30 до 285 мВ. За счет падения напряжения на компенсационных резисторах R13 - R16 напряжение, подаваемое на измерительный вход АЦП, уменьшается на величину 0,3...3 мВ, в результате чего отношение напряжений



R14 1M, R15 10M, R19 560K, R20 5,6M

Рис. 26. Принципиальная схема омметра

внутреннего стабилизатора -3 В микросхемы АЦП. Нагрузочная способность этого стабилизатора для вытекающего тока невысока, и она увеличена за счет подключения к его выходу резистора R3. Нестабильность этого напряжения не играет никакой роли, поскольку АЦП измеряет отношение напряжений, а не их абсолютную величину. Исходная частота работы АЦП выбрана равной 50 кГц.

Управление запятыми и индикация разряда батареи в приборе выполнены аналогично предыдущим конструкциям.

Омметр имеет отдельные входы для подключения низкоомных (до 200 кОм) и высокоомных (более 200 кОм) резисторов. Включение прибора кнопкой SB1 рекомендуется производить при подключенном к омметру измеряемом резисторе, при другом порядке измерения резко увеличивается время установления показаний.

В приборе в качестве R1, R2, R9 - R12, R21 - R24 следует использовать точные резисторы с допуском 0,1...0,2%, например С2-29В. Резистор R1 составлен из точного 10 кОм и подключенного параллельно ему резистора типа МЛТ-0,125 сопротивлением 820 кОм $\pm 10\%$. Резисторы R9 - R12 полезно уменьшить на 0,1...0,2% относительно "круглых" величин, указанных на схеме, для этого параллельно R9 и R10 подключить резисторы 75 и 750 кОм соответственно, а резисторы R11 и R12 составить каждый из двух одинаковых с номиналами 4,99 и 49,9 кОм соответственно. Необходимая поправка на диапазонах 2 МОм - 2 ГОм учтена при выборе номинала резистора R1. К точности остальных резисторов высоких требований не предъявляется, они могут быть использованы с допуском 10%.

Конденсаторы С6 и С9 должны быть с высококачественным диэлектриком (лучше пленочные групп К72 или К73). Автором использованы конденсаторы К73-16 и К73-17. Конденсаторы С1 и С4 - К53-18 или любого другого типа, остальные конденсаторы КМ-5 и КМ-6.

Печатная плата прибора разработана на основе платы описанного выше мультиметра (рис. 11), из которой использован рисунок соединений микросхем DD1, DD2, индикатора НГ1 и подключения резисторов и конденсаторов, необходимых для функционирования микросхемы DD2. Переключатель SA1 типа ПГ2-7-12ПЗН установлен на плату на кронштейне, изготовленном из латуни толщиной 1 мм, со стороны, противоположной стороне установки микросхем. Резисторы R1 - R3, R10 - R24 установлены частично на плате, частично на выводах переключателя.

Арматуру переключателя, а также его неиспользуемые контакты следует соединить с общим проводом (цепь -3 В). При монтаже цепей переключателя в качестве SA1.1 лучше использовать максимально

удаленную от ручки секцию, в качестве SA1.2 - среднюю, в качестве SA1.3 - ближнюю к ручке.

При использовании рекомендованных типов резисторов настройка прибора заключается в подборе резистора R27 для установки частоты генератора, равной 50 кГц, и подборе резисторов R4, R8 для включения запятой H4 при снижении напряжения питания до 7,5...7,8 В.

Недостатком прибора является большое время установления показаний на диапазоне 2 ГОм, достигающее 20 с. Уменьшить время установления можно, если цепь зарядки конденсатора образцового напряжения микросхемы АЦП дополнить операционным усилителем 140УД24 [5] с транзисторами МОП на входе, самостабилизированным прерыванием, как показано на рис. 27.

Как расширить пределы измерений в сторону малых сопротивлений? Казалось бы очень просто - добавить два положения переключателя пределов измерения SA1 и установить в 10 и 100 раз меньшие по сопротивлению эталонные и токозадающие резисторы, нежели на диапазоне 200 Ом. Однако сопротивление соединительных проводов, нестабильное сопротивление контактов переключателей и зажимов, при помощи которых будет подключаться измеряемый резистивный элемент, не позволяют реализовать необходимую точность.

На помощь приходит четырехзажимный метод измерения сопротивлений (рис. 28). Через измеряемое сопротивление при помощи одной пары зажимов пропускается относительно стабильный ток, задаваемый источником питания и одним из резисторов R31, R32. Падение напряжения на контролируемом сопротивлении снимается при помощи второй пары зажимов и подается на измерительный вход АЦП. При такой схеме измерений падение напряжения на контактах переключателей, зажимах и проводах не влияет на результат. Поскольку АЦП измеряет отношение напряжений на контролируемом сопротивлении и образцовом (одно из R29, R30), не оказывает влияния и точность задания тока в цепи.

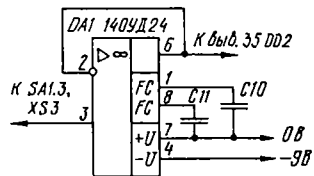


Рис. 27. Включение операционного усилителя 140УД24

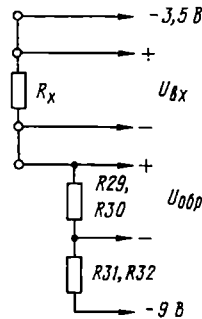


Рис. 28. Четырехзажимный метод измерения сопротивлений

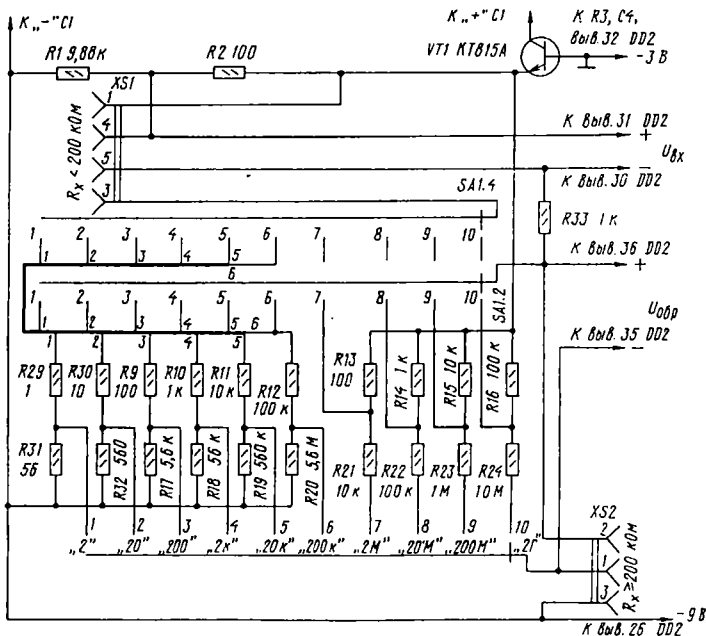


Рис. 29. Схема коммутации цепей омметра

Схема коммутации цепей омметра приведена на рис. 29, нумерация вновь введенных элементов продолжает имеющуюся на рис. 26. Измерительные цепи этого варианта омметра также питаются от разности напряжений батареи питания и внутреннего стабилизатора -3 В микросхемы КР572ПВ5. Нагрузочная способность этого стабилизатора для вытекающего тока увеличена за счет подключения к его выходу эмиттерного повторителя на транзисторе VT1.

Дополнительная секция SA1.4 исключает суммирование сопротивления контактов переключателя с сопротивлением эталонных резисторов R29, R30.

Резисторы R2 и R33 шунтируют зажимы 1 и 4, 3 и 5 соответственно. Это никак не отражается на точности, поскольку их сопротивление намного больше, чем контактов и проводов, но существенно упрощает коммутацию. Кроме того, наличие этих резисторов позволяет проводить измерения на диапазонах 2, 20, 200 кОм используя только два зажима, подключенные к гнездам 4 и 5 разъема XS1.

Соединение контакта 2 розетки XS2, расположенного между контактами 1, 4 и 3, 5 и "экранирующего" их по постоянному току, со входом $+U_{обр}$ АЦП уменьшает влияние токов утечки разьема на точность измерения на высокоомных пределах.

Как указывалось выше, эталонные резисторы диапазонов < 200 кОм полезно уменьшить на 0,1...0,2% относительно круглых величин, указанных на схеме. Для этого параллельно резисторам R29 и R30 (их допуск должен быть не хуже 0,1...0,2%) следует подключить резисторы 750 Ом и 7,5 кОм соответственно.

Переключатель SA1 - типа ПГ2-8-12П4Н. Транзистор VT1 - любой структуры п-р-п с мощностью рассеяния не менее 350 мВт и коэффициентом передачи тока базы $h_{21Э}$ не менее 100 при токе коллектора 100 мА.

В связи с большим потреблением тока (до 100 мА) целесообразно в качестве источника питания омметра использовать сетевой стабилизированный напряжением 9...10 В. Можно воспользоваться адаптером 12 В 300 мА, дополнив его стабилизатором на микросхеме КР142ЕН8А(Г) и двух керамических конденсаторах емкостью 1 мкФ, расположенных рядом с ней.

Рекомендации по выбору элементов, рисунку печатной платы, конструктивному оформлению, налаживанию - те же, что и для описанного ранее варианта прибора. В качестве XS1 и XS2 можно использовать стандартные звукотехнические разъемы ОНЦ-ВГ, имеющие соответствующее число гнезд. К четырем контактам ответной вилки следует подпаять разноцветные провода с зажимами "крокодил" на концах.

При измерении на диапазонах до 2, 20, 200 Ом вилку включают в розетку XS1, контролируемый резистор подключают четырьмя зажимами. На пределах 2, 20 и 200 кОм используют два зажима, подключенные к контактам 2 и 3. На диапазонах 2 МОм - 2 ГОм вилку переключают в розетку XS2 и используют зажимы, подключенные к контактам 1 и 4. Источник питания лучше включать после подсоединения контролируемого резистора - это уменьшит время установления показаний.

Повысить удобство пользования прибором можно, изготовив зажимы с изолированными губками. Для этого у одной из губок "крокодила" спилить зубья и на их место напаять пластинку из двустороннего фольгированного стеклотекстолита. Роль одного из зажимов будет выполнять губка, оставшаяся с зубьями, роль второго - поверхность пластинки. Оставшиеся зубья следует подровнять так, чтобы при измерениях они не касались вставки. Такими зажимами можно пользоваться на всех пределах измерений.

При использовании сетевого источника питания необходимо (а при батарейном питании - очень желательно), защитить входы микросхемы DD2 (выводы 30, 31, 35, 36) как указано в конце первого раздела этой главы.

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Описываемый прибор позволяет измерять коэффициент передачи тока базы $h_{21Э}$ в трех диапазонах с верхними пределами 200, 2000, 20000 при токе коллектора, устанавливаемом дискретно величиной 0,1; 0,3; 1 и т. д. до 300 мА. Кроме того, возможно измерение обратного тока коллектора также на трех диапазонах с верхними пределами 20, 2 и 0,2 мкА, разрешающая способность на низшем - 0,1 нА. Определение $h_{21Э}$ производится при напряжении коллектор-база около 1,5 В, обратного тока коллекторного перехода - при 5 В.

Принцип измерения $h_{21Э}$ проиллюстрирован на рис. 30. Проводимый транзистор VT_X включен по схеме с общей базой. Его эмиттерный ток определяется относительно большим сопротивлением токозадающего резистора, установленного в цепь эмиттера (один из резисторов $R15 - R23$) и напряжением источника питания. В цепь эмиттера включен также токоизмерительный резистор ($R11 - R14$). В цепи базы в диагонали диодного моста $VD1$ установлен резистор, падение напряжения на котором пропорционально току базы ($R1 - R6$).

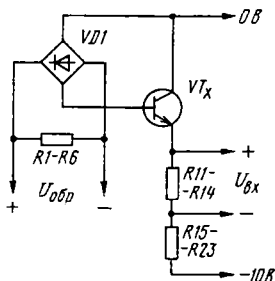


Рис. 30. Принцип измерения $h_{21Э}$

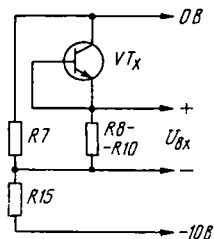


Рис. 31. Измерение обратного тока коллекторного перехода

Отношение напряжения на резисторе в цепи эмиттера к напряжению на резисторе в цепи базы пропорционально коэффициенту передачи тока в схеме с общим коллектором, он на единицу больше аналогичного коэффициента в схеме с общим эмиттером. Это отношение измеряется АЦП на микросхеме КР572ПВ5. Токоизмерительные резисторы подобраны такого сопротивления, что падение на эмиттерном резисторе составляет около 50 или 150 мВ, на базовом - 25...1500 мВ в зависимости от коэффициента передачи тока базы $h_{21Э}$ и диапазона. Диодный мост необходим для того, чтобы можно

было проверять транзисторы различной структуры без переключения входов U_{OBR} АЦП. Кроме того, падение напряжения на диодах моста обеспечивает напряжение коллектор-база на указанном уровне 1,5 В. Напряжение на входе $U_{ВХ}$ АЦП может менять знак, поэтому в эмиттерной цепи диодный мост не требуется.

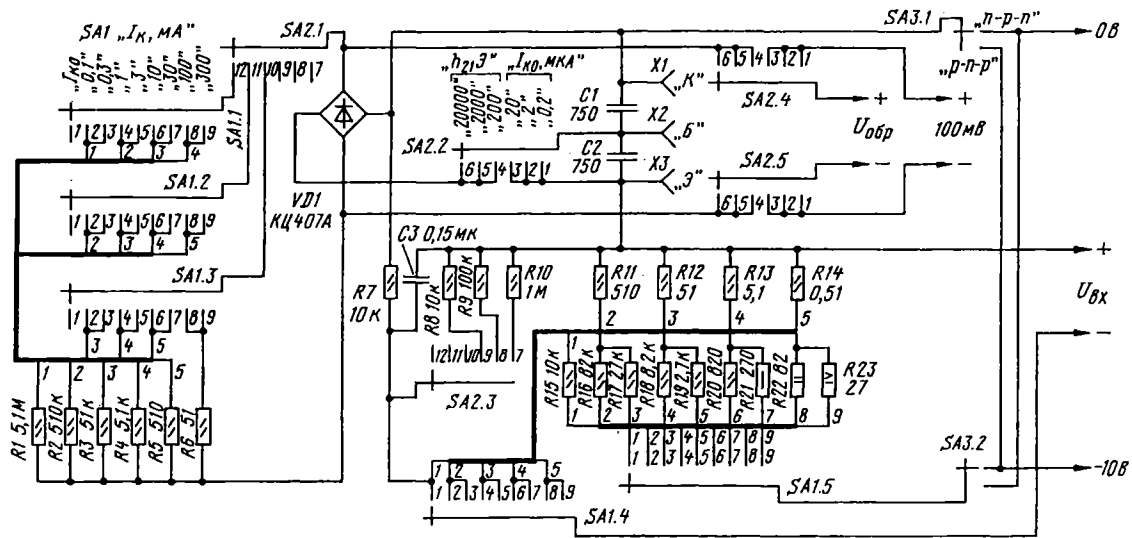


Рис. 32. Схема коммутации цепей измерителя

При измерении обратного тока коллекторного перехода $I_{К0}$ между коллектором и эмиттером проверяемого транзистора VT_X прикладывается напряжение 5 В с делителя R7R15 (рис. 31). Падение напряжения на токоизмерительных резисторах R11 - R14 пропорционально измеряемому току. На вход U_{OBR} АЦП в этом режиме подается напряжение 100 мВ. Роль делителя состоит не только в снижении напряжения, подаваемого на транзистор, до 5 В и ограничении тока в случае установки неисправного транзистора, но и в приведении синфазного напряжения на входах $U_{ВХ}$ АЦП к половине напряжения питания. Естественно, что в этом режиме можно проверять и обратные токи диодов.

Полная схема измерителя приведена на рис. 32 и 33. Переключатель SA1 служит для выбора тока эмиттера проверяемого транзистора и включения режима измерения обратного тока коллек-

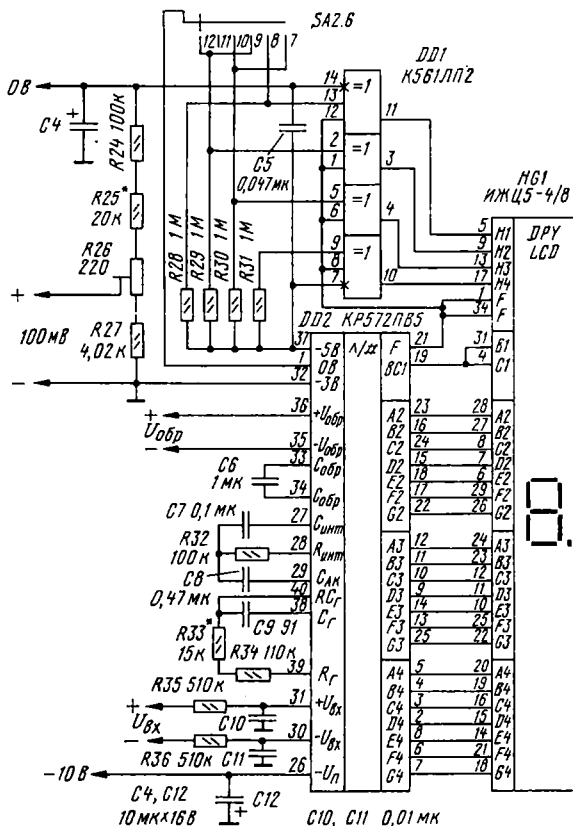


Рис. 33. Измерительная часть прибора

тора I_{K0} , переключатель SA2 определяет диапазоны измерений $h_{21Э}$ и I_{K0} , положение SA3 определяется структурой транзистора. Конденсаторы C1 и C2 необходимы для устранения генерации, иногда возникающей при проверке высокочастотных транзисторов, C3 устраняет сетевые наводки при измерении обратного тока коллекторного перехода. Включение микросхемы КР572ПВ5 и индикатора ИЖЦ5-4/8 достаточно стандартное, отличие лишь в том, что входы $U_{ВХ}$ и $U_{ОВР}$ не связаны с общим проводом аналоговых цепей (вывод 32 микросхемы). Частота тактового генератора - 40 кГц.

Почти все элементы измерителя (в том числе и переключатели SA1 - SA3) смонтированы на печатной плате размерами 65 × 130 мм (рис. 34,а, сторона установки микросхем, рис. 34,б, сторона установки переключателей и конденсаторов C6 - C8). Резисторы, показанные на рис. 32, в основном распаяны на выводах переключателей SA1 и SA2.

Резисторы R1 - R6, R8 - R14 следует подобрать с точностью не хуже 1%. В описываемой конструкции в основном использовались резисторы типа С2-29В мощностью 0,125 Вт. Резисторы R7, R15 - R23 использованы типа МЛТ с допуском 5%, Подстроечный резистор R50 - СПЗ-19а.

Токоизмерительные резисторы R1 - R6 и R11 - R14 не обязательно должны быть точно тех сопротивлений, которые указаны на схеме рис. 32. Например, они могут быть кратны 47 или 56, но обязательно все.

Конденсаторы C6 - C8 использованы типа К73-17 на рабочее напряжение 160 В. Возможно применение и других конденсаторов, обозначение которых начинается с К71 или К73, например К73-9, К73-11, К73-16. Полярные конденсаторы типа К53-4 (C4, C12), остальные КМ-5 или КМ-6.

Переключатель SA1 типа ПГ7-35-16П5Н, SA2- ПГ2-11-6П6Н, SA3 - ПГ2-13-4ПЗН. На принципиальной схеме дана нумерация контактов, приведенная на переключателях.

Микросхему К561ЛП2 можно заменить на КР1561ЛП14, а при изменении рисунка печатной платы - на 564ЛП2.

Все элементы измерителя, включая блок питания на основе трансформатора ТПП220-127/220-50, все шесть вторичных обмоток которого соединены последовательно, установлены в пластмассовую коробку размерами 70 × 95 × 150 мм.

Настройку прибора следует начать с установки частоты тактового генератора АЦП, равной 40 кГц, подбором резистора R57. Для этого осциллографом, синхронизированным от сети, контролируют частоту

ту импульсов на выходе F микросхемы DD2 (вывод 21). Изображение импульсов на экране должно быть практически неподвижным, при этом их частота составляет 50 Гц.

Необходимо также откалибровать измеритель тока. Проще всего установить на движке подстроечного резистора R51 относительно общего провода напряжение 100 мВ, контролируя его точным вольтметром с входным сопротивлением не менее 1 МОм.

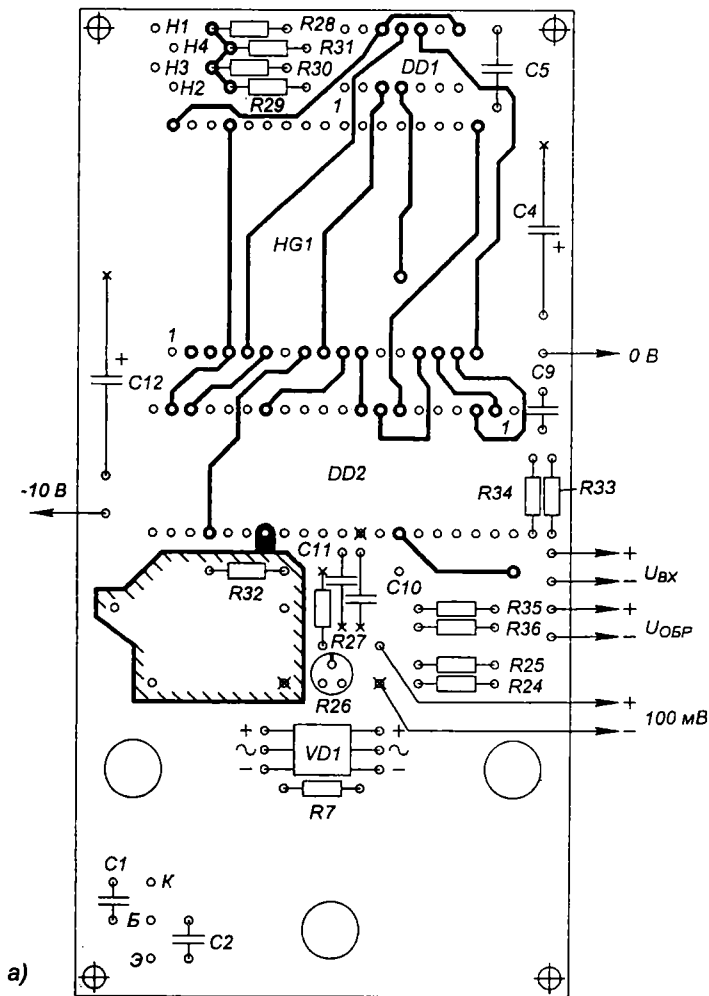
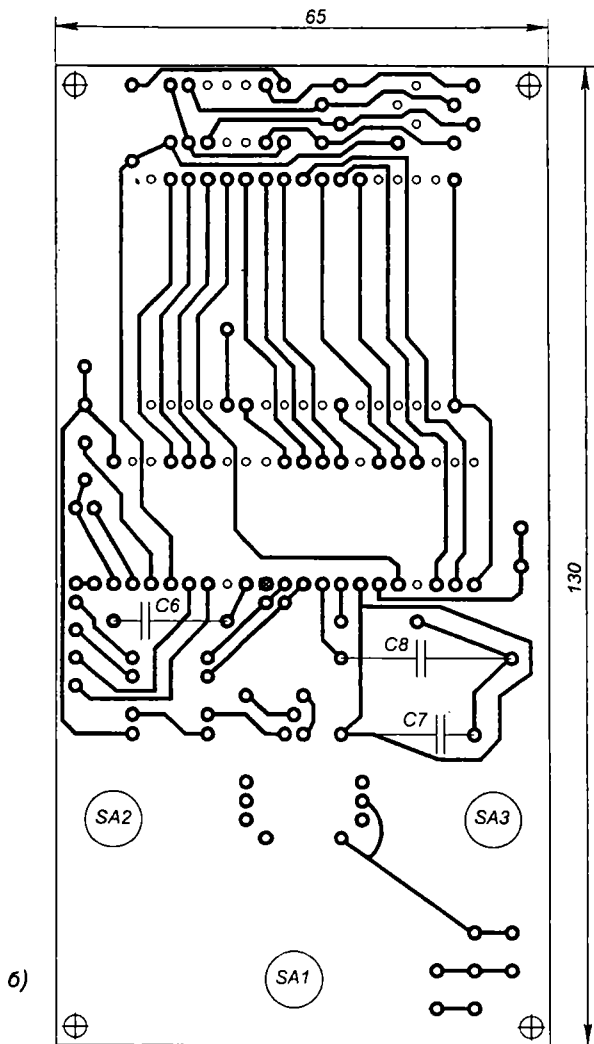


Рис. 34. Печатная плата измерителя:
а - со стороны установки микросхем, *б* - с противоположной стороны

Для примера на рис. 35 приведены снятые этим прибором зависимости коэффициента передачи тока базы $h_{21Э}$ от тока коллектора случайно взятых образцов различных транзисторов, в том числе и для двух типов транзисторов со статической индукцией (КП948А и КП959А). Два составных транзистора различной структуры КТ972А и КТ973А оказались практически неотличимыми по своим зависимостям $h_{21Э}$ от тока коллектора.



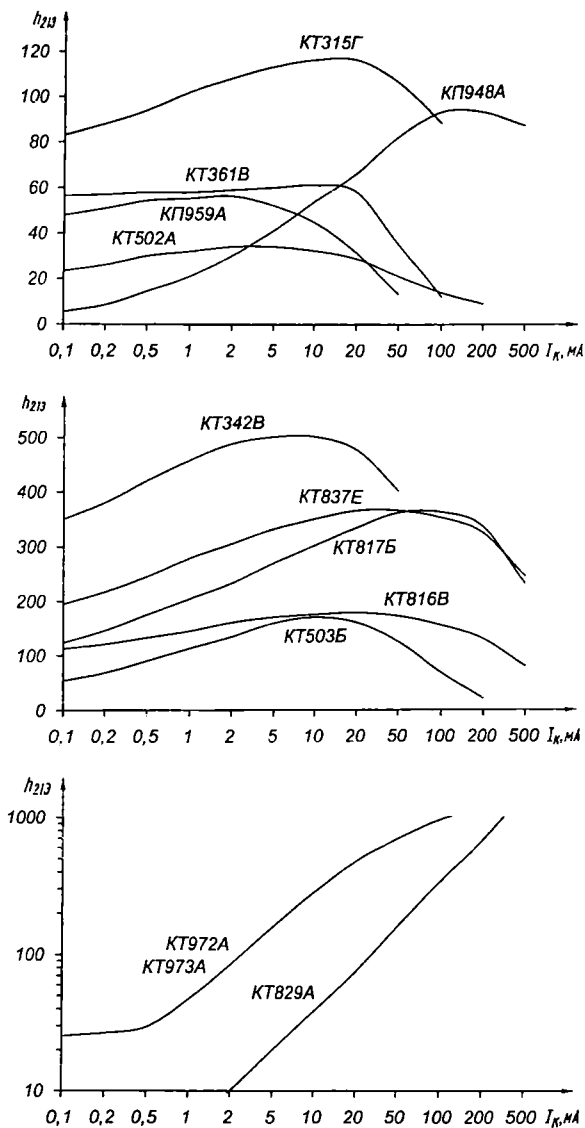


Рис. 35. Зависимости коэффициента передачи тока базы h_{213} от тока коллектора различных транзисторов

Измеренные обратные токи коллектора для кремниевых мало-мощных транзисторов составляли 0,1...0,3 нА, для мощных - 1...10 нА. Для транзисторов серий КТ315 и КТ361 обнаружен заметный

фотоэффект, приводящий к увеличению обратного тока до 10 нА при освещении транзистора рассеянным светом настольной лампы.

При использовании прибора следует помнить, что показания $h_{21Э}$ менее 5% от предельного значения недостоверны, поскольку напряжение на выходе интегратора АЦП при этом выходит за пределы линейного участка. При обрыве коллекторного перехода транзистора ток базы равен току эмиттера, и на пределах 100 и 300 мА могут выйти из строя токоизмерительные резисторы. Избежать этого можно увеличением их мощности рассеяния до 0,5 и 1 Вт соответственно. Можно также принять за правило проверку мощных транзисторов начинать при токе коллектора не более 50 мА, переходя при их исправности к большим значениям тока.

Входы U_{OBR} микросхемы КР572ПВ5 (выводы 35, 36) следует защитить, как указано в конце первого раздела этой главы.

ПРОСТОЙ ЦИФРОВОЙ ТЕРМОМЕТР

Термометр может измерять температуру от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$, погрешность не превышает $0,2^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $0...40^{\circ}\text{C}$ и в два раза больше за его пределами. Рабочая температура корпуса прибора $15...25^{\circ}\text{C}$. Термометр питается от встроеной батареи 7Д-0,125Д и потребляет ток не более 2 мА.

Основой предлагаемого устройства служит аналого-цифровой преобразователь на микросхеме DD2 с жидкокристаллическим индикатором HG1 (рис. 36). В качестве параметрического датчика использован кремниевый диод VD1, для которого температурный коэффициент напряжения (ТКН) примерно равен -2 мВ/ $^{\circ}\text{C}$. Падение напряжения на прямосмещенном диоде при токе $0,1...1$ мА имеет величину в пределах $550...650$ мВ и линейно уменьшается с ростом температуры.

Для питания датчика использован имеющийся в микросхеме DD2 источник опорного напряжения.

Делитель из резисторов R4, R7, R10 - R13 снижает напряжение до 600 мВ, что по величине соответствует напряжению на диоде VD1 при температуре 0°C ; подстроечный резистор R10 обеспечивает его небольшую регулировку. Делитель формирует также напряжение 200 мВ, соответствующее разности напряжений, снимаемых с диода VD1 и движка резистора R11 при показании термометра 100°C . Это напряжение подается на входы U_{OBR} микросхемы DD2, оно может быть тоже подстроено резистором R12.

Элементы R5, R6, C2 определяют частоту задающего генератора (50 кГц), цепочка R8C3 сглаживает наводки и шумы и способствует

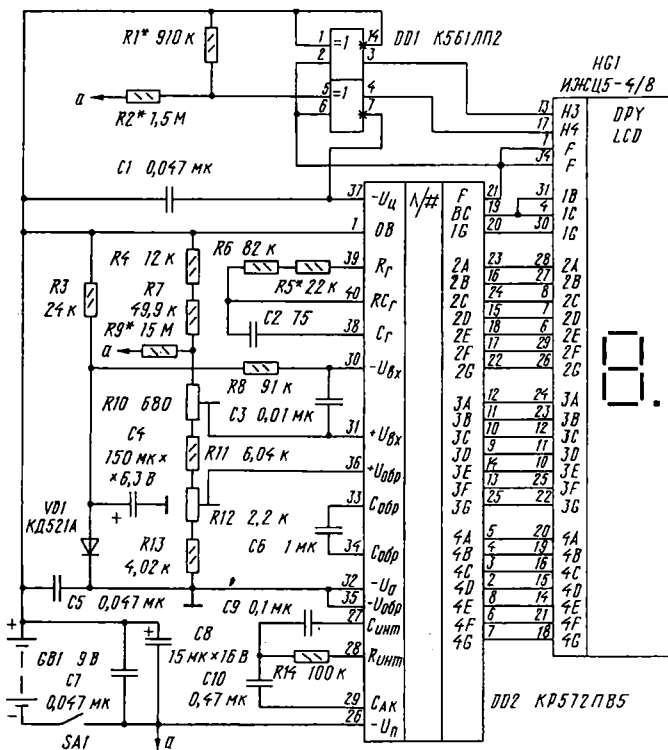


Рис. 36. Принципиальная схема термометра

защите от статического электричества. Конденсатор С6 служит для хранения образцового напряжения, резистор R14 и конденсатор С9 являются элементами интегратора микросхемы, С10 входит в цепь автокоррекции нуля.

Конденсаторы С1, С5, С7, С8 - блокировочные в цепях питания. Конденсатор С4 устраняет наводки переменного напряжения с частотой сети, которые при его отсутствии детектируются на нелинейности диода VD1 и существенно искажают показания.

Микросхема DD1 используется для постоянного включения запятой H3 и контроля разрядки батареи. Особо следует отметить назначение резистора R9. Дело в том, что нестабильность источника опорного напряжения микросхемы DD2 составляет примерно 0,01%/°С и 0,1% при снижении напряжения свежезаряженной батареи 7Д-0,125Д с 9,8 В до 8 В (неполная разрядка). Для использования в цифровом мультиметре такая нестабильность допустима. В описываемом термометре это изменение опорного напряжения приводит к

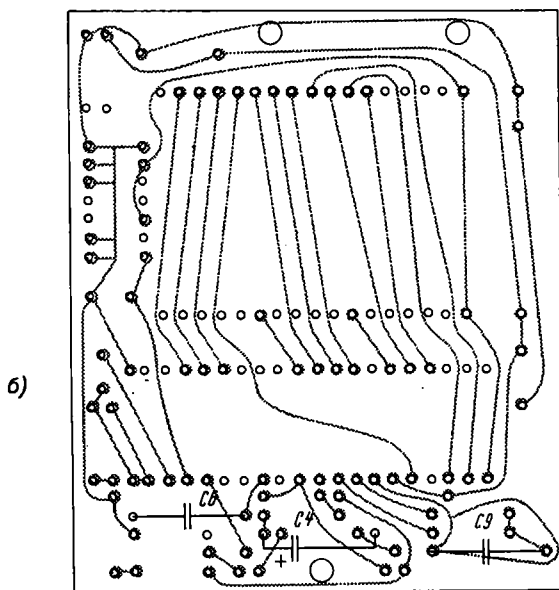
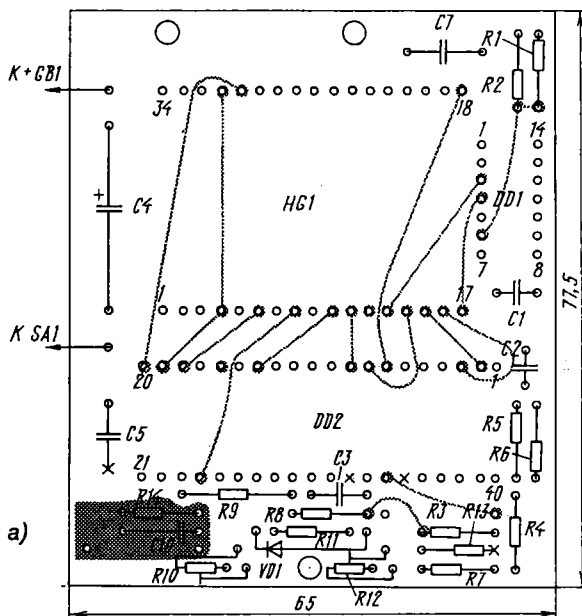


Рис. 37. Печатная плата термометра:
 а - со стороны установки микросхем,
 б - с противоположной стороны

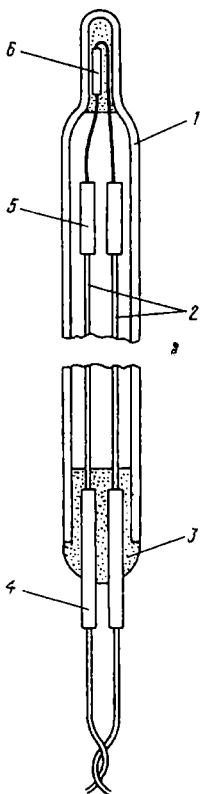


Рис. 38. Конструкция датчика температуры

термометра. Возможен, например, вариант, показанный на рис. 38. Для его изготовления берут стеклянную трубку 1 диаметром 4...6 мм, конец ее, нагретый на огне газовой горелки или спиртовки, оттягивают для уменьшения диаметра примерно до 3...3,5 мм. Затем тонкую часть трубки следует разломить и запаять на том же пламени.

Один из выводов диода 6, используемого как датчик, следует подогнуть к его корпусу, к обоим выводам подпаять два провода 2 марки МГТФ-0,07 длиной по 0,5 м, одеть на каждый из них по два отрезка (4 и 5) поливинилхлоридной или фторопластовой трубки. Диод с проводами вставить в стеклянную трубку и закрепить провода в ее открытом конце каплей эпоксидного клея 3. Для улучшения теплового контакта трубки и диода перед сборкой

ошибке в 0,6 мВ или в 0,38°C, что заметно. Частично можно скомпенсировать эту погрешность подбором резистора R9, уменьшив ошибку до 0,1°C.

Все элементы конструкции, кроме батареи, выключателя и датчика, установлены с обеих сторон двусторонней печатной платы из фольгированного стеклотекстолита. На рис. 37,а приведено расположение деталей и проводников на стороне размещения микросхем, а на рис. 37,б - с противоположной стороны. Конструктивные особенности платы - те же, что и платы мультиметра.

В качестве датчика температуры практически пригоден любой кремниевый маломощный диод, предпочтение следует отдать приборам с наименьшими габаритами. Конденсаторы С6 и С9 - К73-17 с допуском $\pm 10\%$ на рабочее напряжение 160 В, возможно применение и других пленочных конденсаторов. Полярный конденсатор С4 - К53-4, остальные - КМ-5 или КМ-6. Резисторы R7, R11, R13, входящие в делители, желательно использовать стабильные, например С2-29В, резисторы R10, R12 - СПЗ-19а.

Плата установлена в пластмассовый корпус промышленного изготовления с габаритами 30 × 72 × 132 мм.

Оформление датчика температуры зависит от предполагаемых областей использования

датчика в утонченную часть трубки с помощью тонкой трубки ввести небольшое количество жидкого масла, например моторного.

Возможен и такой вариант. К выводам диода подпаивают провода, затем на них одевают поливинилхлоридную или фторопластовую трубку длиной около 300 мм так, чтобы диод был расположен с небольшим смещением относительно ее середины, после чего трубку складывают пополам и концы туго обматывают ниткой, предварительно заполнив их клеем. Если предполагается использовать термометр для измерения температуры воздуха в помещении, никакого специального оформления датчика не требуется - вполне достаточно установить его в корпусе прибора, в котором сделать вентиляционные отверстия.

Налаживание термометра несложно. Вначале подбирают резистор R5 для обеспечения частоты задающего генератора микросхемы DD2 равной 50 кГц. Контроль производят на выводе 21 микросхемы - на нем частота должна составлять 62,5 Гц.

Поместив датчик в таящий лед или снег, подстроечным резистором R10 следует установить нулевые показания на индикаторе, при необходимости подобрать резистор R4. Затем опустив датчик в воду с температурой 35...40°C, контролируемой точным термометром, резистором R12 установить соответствующие показания на индикаторе. Использование кипящей воды для калибровки нежелательно, так как температура кипения зависит от атмосферного давления.

Подключив термометр к источнику регулируемого напряжения, подобрать резистор R9 так, чтобы при изменении напряжения в пределах от 8 до 9,8 В показания отличались не более чем на 0,1°C. После этого надо уточнить настройку в соответствии с предыдущим абзацем при напряжении питания 8,8 В.

Существенно повысить точность цифрового термометра и стабильность его показаний при изменении напряжения питания и температуры корпуса прибора можно, использовав интегральный датчик температуры K1019EM1 [6]. Датчик представляет из себя двухполюсник с малым дифференциальным сопротивлением, падение напряжения на котором при токе 1 мА и температуре 0°C составляет 2932 мВ и изменяется пропорционально абсолютной температуре корпуса датчика.

Абсолютный ТКН такого датчика, в отличие от диода, положителен и составляет 10 мВ/°С. Сама по себе установка датчика K1019EM1 вместо диода не решает проблем с погрешностями, связанными с зависимостью опорного напряжения от температуры и напряжения питания, поскольку относительные ТКН датчика и диода практически равны и отличаются только знаком (+ 0,3%/°С и - 0,3%/°С соответственно).

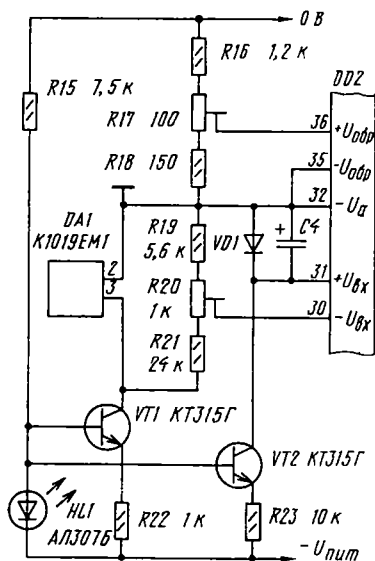


Рис. 39. Схема совместного включения микросхемы К1019ЕМ1 и кремниевого диода

АЦП, изменяется с ТКН 4 мВ/°С. Температуре 100°С соответствует напряжение 400 мВ, такой же величины должно быть и напряжение, подаваемое на образцовый вход АЦП DD2, оно снимается с делителя R16 - R18.

Теперь нестабильность опорного напряжения микросхемы DD2 не сказывается на величине сигнала, подаваемого на измерительный вход АЦП, а нестабильность образцового напряжения в 0,1% приводит к ошибке 0,1°С при 100°С, причем не влияя на показания при 0°С. Поскольку образцовое напряжение составляет 400 мВ, сопротивление резистора R14 интегратора должно быть увеличено до 220 кОм.

Настройка этого термометра заключается в установке подстроечным резистором R20 нулевого показания при температуре 0°С и показаний, соответствующих температуре, близкой к верхней границе используемого диапазона, подстроечным резистором R17.

Недостатками такого варианта термометра является необходимость подключения датчика, включающего в себя микросхему и диод, трехпроводным кабелем и относительно большие габариты датчика.

Решением проблемы, связанной с нестабильностью опорного напряжения, может быть одновременное использование двух рядом расположенных датчиков - микросхемы К1019ЕМ1 и кремниевого диода. На рис. 39 приведена возможная схема их совместного включения.

Датчик температуры DA1 питается током 1 мА от генератора тока на транзисторе VT1 и светодиоде HL1, а диод VD1 - током 100 мкА от аналогичного генератора на том же светодиоде и транзисторе VT2. Делителем R19 - R21 напряжение с датчика DA1 уменьшено примерно в пять раз и приведено к напряжению на диоде VD1 при температуре 0°С. Разность этих величин, подаваемая на измерительный вход

ОБ ОБЪЕДИНЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Отметим вначале, что все приборы, кроме измерителей емкости и RCL, не чувствительны к частоте тактового генератора, если она выбирается, конечно, из рекомендованного ряда и производится перерасчет номиналов элементов. Для перехода с частоты 50 на 40 кГц достаточно увеличить сопротивление резистора $R_{\text{инт}}$ на 20%, для частоты 100 кГц - уменьшить емкости $C_{\text{инт}}$, $C_{\text{обр}}$, $C_{\text{ак}}$ в два раза.

Поэтому при сохранении номиналов элементов измерителя RCL и частоты его тактового генератора 40 кГц с ним можно объединить любой другой прибор, кроме измерителя емкости. С измерителем емкости можно объединить любую другую конструкцию, кроме измерителя RCL, используя его номиналы (с приведенным выше уточнением для $C_{\text{инт}}$ и $C_{\text{ак}}$) и частоту тактового генератора 100 кГц.

При отсутствии микросхемы KP572ПВ5 или жидкокристаллического индикатора описанные автором измерители можно собрать с использованием микросхемы KP572ПВ2 и полупроводниковых индикаторов с общим анодом, как, например, это сделано в [2, 3]. Все рекомендации статьи применимы и для приборов на основе этой микросхемы. Отметим, что в мультиметре [2, 3] применено симметричное питание микросхемы АЦП, поэтому использование номинала $C_{\text{инт}} = 0,1$ мкФ вполне обосновано.

В приборах на основе KP572ПВ2 для питания светодиодных индикаторов следует применять отдельный источник напряжением 4...5 В на ток около 100 мА. Его минусовый вывод подключается к выводу 21 микросхемы (цифровой общий провод), который можно и не соединять с общим аналоговым проводом.

Отметим, что при использовании светодиодных индикаторов их суммарный ток, протекающий через микросхему АЦП, зависит от индицируемого числа. Поэтому в процессе измерений изменяется температура кристалла микросхемы, что заметно изменяет напряжение опорного источника и снижает точность показаний. Именно поэтому автор в [2, 3] использовал отдельный источник опорного напряжения.

Вариант подключения вакуумных люминесцентных индикаторов к микросхеме KP572ПВ2А [7] приведен на рис. 40 (нумерация элементов условная). Преобразователь напряжения для питания нитей накала индикаторов возбуждается импульсами тактового генератора микросхемы DD1 (снимаются с ее вывода 38). Для увеличения яркости свечения индикаторов HG1-HG4 (при напряжении 9 В она может оказаться недостаточной, особенно при ярком внешнем освещении) в преобразователь введена цепь вольтодобавки (VD2, С6, обмотка I трансформатора Т1). Эта цепь повышает напряжение между катодами и анодами индикаторов, что заметно

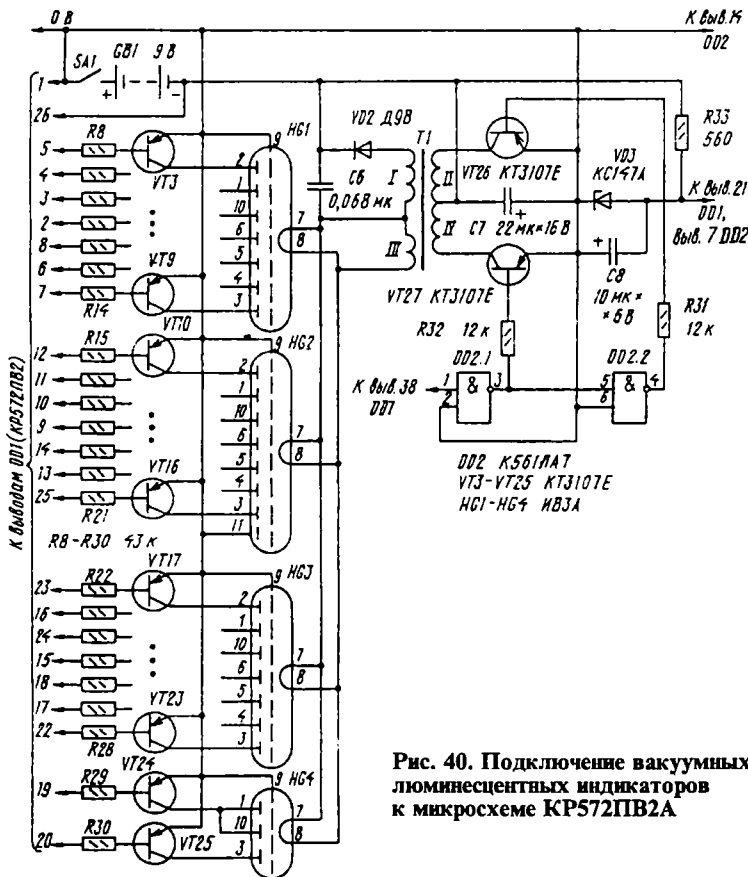


Рис. 40. Подключение вакуумных люминесцентных индикаторов к микросхеме KP572PB2A

увеличивает яркость их свечения. Потребляемый ток при этом возрастает незначительно.

Магнитопровод трансформатора T1 - ферритовое (2000НН) кольцо типоразмера K10 × 6 × 4,5. Обмотки I, II и IV наматывают одновременно в три провода (150 витков ПЭЛШО 0,07), после чего конец одной из обмоток соединяют с началом любой другой (это будут обмотки II и IV), оставшуюся используют в качестве обмотки I. Обмотку III (16 витков) наматывают поверх остальных проводом ПЭВ-2 0,25.

Конденсаторы C7 и C8 - оксидные K53-1 (можно применить K50-6, K50-16 и т. п.), резисторы - МЛТ-0,125. Входы неиспользуемых элементов микросхемы DD2 необходимо соединить с положительным или отрицательным выводом стабилитрона VD3.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В БЫТУ

СИМИСТОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ МОЩНОСТИ

В радиоловительской литературе можно найти немало описаний различных регуляторов мощности и автоматических устройств, использующих в качестве выходного мощного ключа тринистор. Тринистор в цепи переменного тока неудобен тем, что требует питания через выпрямительный мост, и при большой мощности диоды моста должны быть установлены на радиаторы. Более удобен симистор.

Симистор, как и тринистор, имеет три электрода. Его основное отличие - возможность коммутации переменного тока. Ток через симистор может протекать в любом направлении - как от анода к катоду (как в тринисторе), так и в противоположную сторону.

Симисторы серии КУ208 при положительном напряжении на аноде могут включаться импульсами любой полярности, подаваемыми на управляющий электрод относительно катода, а при отрицательном напряжении на аноде - импульсами только отрицательной полярности.

Использование симисторов в регуляторах мощности и различных автоматических коммутаторах затруднено из-за необходимости обеспечения сравнительно большого тока управляющего электрода - 150 мА для симисторов серии КУ208. Управление симистором постоянным током требует большой мощности, а при импульсном управлении необходим формирователь, обеспечивающий короткие импульсы в момент прохождения сетевого напряжения через "нуль" и имеющий общий вывод с одним из сетевых проводов.

В описываемом далее устройстве регулирование мощности в нагрузке осуществляется изменением числа полупериодов сетевого напряжения, подаваемого на нее в течение некоторого интервала времени, поэтому регулятор можно использовать для работы лишь с такими нагрузками, как, например, электроплитка, камин, паяльник и другими подобными электронагревательными приборами.

Включение симистора происходит вблизи момента перехода сетевого напряжения через "нуль", что снижает уровень помех по

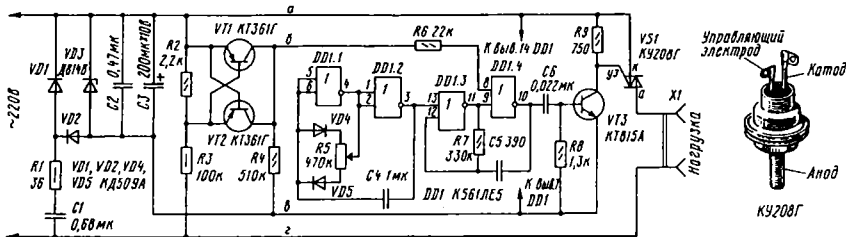


Рис. 41. Принципиальная схема первого варианта симисторного регулятора

сравнению с регуляторами, в которых использован фазоимпульсный метод регулирования.

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 41. Диоды VD1 - VD2, стабилитрон VD3, конденсаторы C1 - C3 и резистор R1 образуют источник питания устройства напряжением около 10 В (при максимальном выходном токе 18...20 мА). Оригинальным является формирователь импульсов частотой 100 Гц, выполненный на транзисторах VT1, VT2 и резисторах R2 - R4. При положительном полупериоде сетевого напряжения на верхнем (по схеме) сетевом проводе транзистор VT1, включенный по схеме с общим эмиттером, открыт и насыщен - напряжение на его коллекторе близко к эмиттерному (транзистор VT2 закрыт). При отрицательном полупериоде закрыт транзистор VT1, но открыт и насыщен транзистор VT2, включенный по схеме с общей базой, и напряжение на его коллекторе имеет тот же знак и амплитуду.

Лишь в моменты, когда сетевое напряжение по абсолютному значению меньше 40...50 В, оба транзистора закрыты и напряжение на их коллекторе близко к напряжению на выводе 7 микросхемы DD1. При этом разрешена работа генератора импульсов на элементах DD1.3, DD1.4. Импульсы частотой около 5 кГц с его выхода дифференцируются цепью C6R8, усиливаются транзистором VT3 и включают симистор VS1.

Однако работой этого генератора управляет и генератор, собранный на элементах DD1.1 и DD1.2. Частота формируемых им импульсов - около 2 Гц, а скважность можно регулировать переменным резистором R5 от 1,01 до 100. В одном крайнем положении движка этого резистора на нагрузке выделяется почти полная мощность, в другом - нагрузка обесточена.

При напряжении низкого уровня на выходе элемента DD1.2 разрешена работа генератора на элементах DD1.3 и DD1.4, а при высоком запрещена. В результате при перемещении движка резистора R5 из одного крайнего положения в другое изменяется соотношение числа полупериодов напряжения сети, подаваемых и

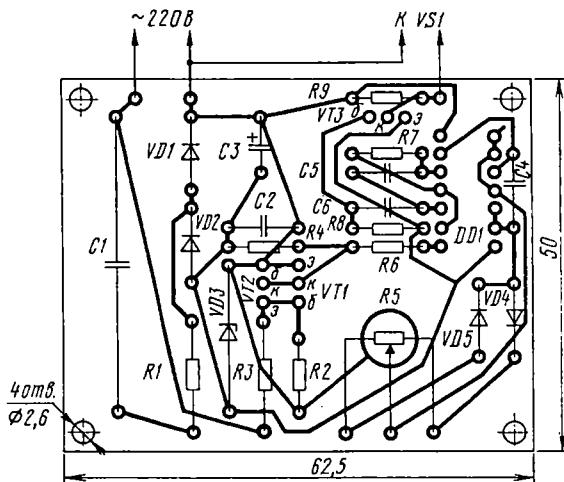


Рис. 42. Печатная плата первого варианта симисторного регулятора

не подаваемых на нагрузку, подключенную к разъему X1. А так как одному периоду работы управляющего генератора соответствует около 50 полупериодов сетевого напряжения, дискретность регулирования равна примерно 2 %.

Все элементы этого варианта регулятора, кроме симистора VS1, смонтированы на печатной плате размерами 62,5 × 50 мм (рис. 42). Плата рассчитана на установку резисторов МЛТ, конденсаторов К73-16 (C1), К50-6 (C3), КМ-6 (остальные), переменный резистор (R5) СП3-4аМ или СП3-26М. Диоды VD1, VD2, VD4 и VD5 - маломощные кремниевые, стабилитрон VD3 - на напряжение стабилизации 10...12 В. Микросхема К561ЛЕ5 заменяема на К176ЛЕ5 или КР1561ЛЕ5. Транзисторы VT1 и VT2 могут быть любыми кремниевыми маломощными структуры p-n-p, транзистор VT3 - средней или большой мощности структуры p-n-p с допустимым коллекторным током 150 мА.

Конденсатор К73-16 (C1) можно заменить на любой металлопленочный емкостью 0,33...0,68 мкФ на номинальное напряжение не менее 250 В или на бумажный или металлобумажный такой же емкости на номинальное напряжение не менее 400 В. Корпус резистора R5 должен быть соединен с плюсовым проводником цепи питания микросхемы, что необходимо для его экранирования. Симистор КУ208Г (или КУ208В) установлен на штыревом теплоотводе размерами 80 × 60 × 20 мм.

Предварительно симистор целесообразно проверить на значение тока спрямления, включив его по схеме, приведенной на рис. 43.

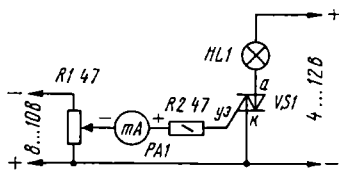


Рис. 43. Схема включения симистора при его проверке

Напряжение питания анодной цепи симистора должно соответствовать номинальному для лампы накаливания EL1, рассчитанной на рабочий ток не менее 150 мА. Плавно увеличивая ток управляющего электрода симистора (резистором R1), измеряют его значение непосредственно перед включением

лампы. Паспортное значение тока спрямления при комнатной температуре равно 150 мА. Для регулятора следует подобрать симистор с током спрямления не более 70 мА (из проверенных автором 15 симисторов лишь один не соответствовал этому требованию).

Накачивают регулятор следующим образом. Параллельно конденсатору C1 подсоединяют резистор сопротивлением 220...330 Ом и подключают устройство вместо сети к внешнему источнику постоянного тока напряжением 12...15 В. Его подбирают таким, чтобы потребляемый ток был около 20 мА. Установив движок резистора R5 в среднее положение, с помощью осциллографа или головных телефонов (что очень удобно) контролируют на резисторе R9 наличие пачек импульсов частотой около 5 кГц и периодом повторения пачек близким к 0,5 с. При перемещении движка переменного резистора длительность пачек должна изменяться практически от нуля до непрерывной последовательности импульсов.

Затем снимают дополнительный резистор, к разъему X1 подключают настольную лампу (установка симистора на теплоотвод не обязательна) и на регулятор подают напряжение сети. При перемещении движка резистора R5 лампа должна вспыхивать с частотой около 2 Гц, а длительность ее вспышек - изменяться от нуля до непрерывного свечения.

Устройство можно упростить, если в нем использовать микросхему К561ТЛ1 - четыре триггера Шмитта, каждый из которых выполняет функцию элемента 2И-НЕ. Схема соответствующей части такого варианта устройства показана на рис. 44,а, а фрагмент рисунка монтажной платы, в остальном аналогичной предыдущей, - на рис. 44,б. Источник питания и формирователь импульсов на транзисторах VT1, VT2 остаются без изменений.

Последовательность прямоугольных импульсов низкого уровня, соответствующих моментам нулевого напряжения сети, поступает на нижний по схеме вход элемента DD1.4 через дифференцирующую цепь C5R6. Входные диоды элемента подавляют отрицательные продифференцированные импульсы, а положительные проходят на базу транзистора VT3 - усилителя тока - и далее на управляющий

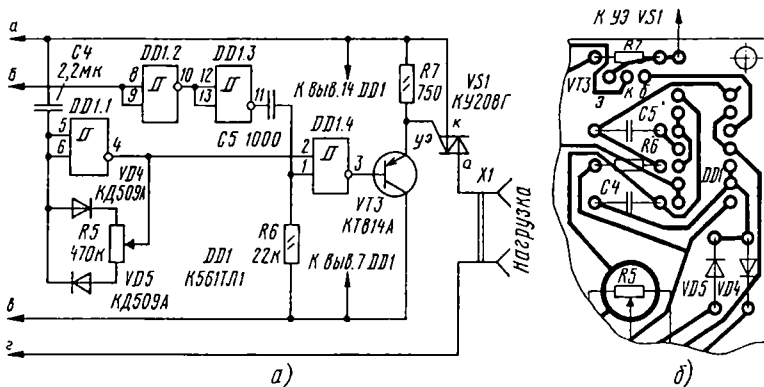


Рис. 44. Второй вариант симисторного регулятора

электрод симистора VS1. Длительность управляющих импульсов - около 12 мкс. Они открывают симистор VS1 в начале полупериода.

Прохождение импульсов через элемент DD1.4 разрешает выходной сигнал генератора с регулируемой скважностью, собранный на элементе DD1.1.

На рис. 45 приведены схема варианта регулятора с фазоимпульсным управлением симистором и чертеж соответствующего ему участка монтажной платы. Такой регулятор хоть и создает помехи радиоприему, зато позволяет регулировать напряжение питания таких нагрузок, как, например, лампа накаливания, электродвигатель переменного тока.

При прохождении сетевого напряжения через "нуль" импульс отрицательной полярности с выхода формирователя на транзисторах VT1 и VT2 (на схеме рис. 45,а не показаны) инвертируется элементом DD1.1 и через эмиттерный повторитель на транзисторе VT3 заряжает конденсатор C4 практически до напряжения источника питания. Разряжается конденсатор через резисторы R5-R7. При снижении напряжения на нем до порогового элементы DD1.2 и DD1.3 переключаются, спад импульса с выхода элемента DD1.3 дифференцируется цепью C5R8 и в виде импульса длительностью около 12 мкс через инвертор DD1.4 и транзистор VT4 включает симистор VS1.

Переменным резистором R6 можно регулировать длительность разрядки конденсатора C4, изменять момент включения симистора и эффективное напряжение на нагрузке. Резистор R5 исключает перегрузку транзистора VT3. Подбором резистора R7 можно добиться, чтобы максимальному сопротивлению резистора R6, работающего как реостат, соответствовало нулевое напряжение на нагрузке.

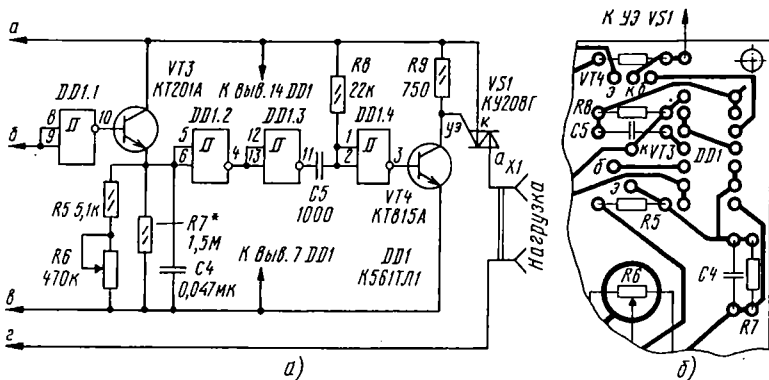


Рис. 45. Регулятор с фазоимпульсным управлением

Конденсатор С4 должен быть бумажным или пленочным; автор использовал К73-17 на напряжение 250 В. Транзистор VT3 должен допускать обратное напряжение на эмиттерном переходе не менее напряжения стабилизации стабилитрона VD3. Пригодны транзисторы серии KT201 с буквенными индексами А, Б, АМ, БМ, а при использовании в источнике питания стабилитрона VD3 на напряжение стабилизации 10 В - с индексами В-Д, ВМ-ДМ. Можно также использовать любой кремниевый маломощный транзистор структуры п-р-п, включив последовательно с его эмиттерным переходом кремниевый маломощный диод.

Вместо переменного резистора R6 можно установить, например, биполярный или полевой транзистор, фотодиод или фоторезистор оптопары. В таком случае регулятор может быть использован в автоматических устройствах типа выключателя с плавным включением лампы накаливания или мощного коллекторного электродвигателя.

Во всех описанных здесь вариантах устройств отсутствуют резисторы, ограничивающие выходной ток элемента, управляющего выходным транзистором, и ток управляющего электрода симистора. Из-за малой длительности импульсов этого тока такое включение совершенно безопасно для радиоэлементов.

При налаживании любого варианта регулятора и его практическом использовании следует помнить, что все его элементы, включая вал переменного резистора, находятся под напряжением сети. Поэтому регулятор должен быть помещен в корпус из изоляционного материала, а переменный резистор - снабжен ручкой из изоляционного материала с закрытым стопорным винтом.

Описанные симисторные регуляторы мощности при работе с мощной нагрузкой вызывают мигание осветительных ламп, включенных в ту же сеть. Это происходит из-за периодического включения и выключения нагрузки с частотой порядка одного герца. Особенно это заметно, если одновременно через такие регуляторы питается несколько мощных потребителей энергии. Минимальное мигание ламп может обеспечить описываемый далее регулятор.

Рассмотрим, что происходит, если два описанных выше устройства одновременно регулируют мощность в нагрузках, например по 1 кВт каждая. На диаграмме 1 рис. 46 показана зависимость от времени для мощности, потребляемой одной нагрузкой, на диаграмме 2 - другой, на диаграмме 3 - суммарная мощность. Видно, что в различные моменты времени от сети может потребляться мощность 2 кВт, 1 кВт или не потребляться никакая. Соответственно, лампы накаливания, включенные в ту же сеть, будут мигать с тремя уровнями яркости. Если же оба регулятора будут работать синхронно и противофазно, уровней потребления мощности будет только два - или 1 кВт и 2 кВт (рис. 47,а), или 1 кВт и отсутствие потребления (рис. 47,б). Соответственно, у ламп накаливания будет только два уровня яркости при мигании, что менее заметно.

Схема регулятора приведена на рис. 48. На схеме не показаны узел питания регулятора и цепи формирования импульсов в моменты перехода сетевого напряжения через нуль, полностью повторяющие предыдущие конструкции. Триггер Шмитта на элементах DD1.1 и DD1.2 и резисторе R5 формирует крутые фронты импульсов. Положительный перепад, соответствующий началу полупериода, дифференцируется цепочкой C5R19 и в виде короткого импульса положительной полярности подается на выводы 2 и 5 элементов DD1.3 и DD1.4.

Прохождением импульсов через них управляют генератор треугольного напряжения на элементах DD2.1 и DD2.2 и компараторы, роль которых выполняют DD2.3 и DD2.4. Первые два элемента микросхемы DD2 образуют традиционный функциональный генера-

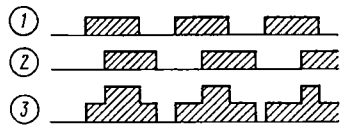


Рис. 46. Несинхронная работа двух регуляторов

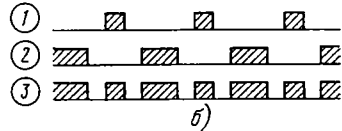
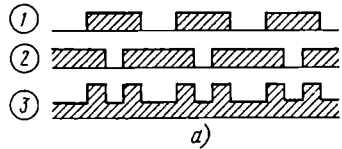


Рис. 47. Синхронная работа двух регуляторов

тор, в котором элемент DD2.1 и резисторы R6 и R8 - триггер Шмитта, а DD2.2, резистор R7 и конденсатор C4 - интегратор. Напряжение треугольной формы с частотой около 1,5 Гц с выхода элемента DD2.2 поступает на два сумматора на резисторах R13 - R16 и с них - на компараторы DD2.3 и DD2.4. В среднем положении движков резисторов R11 и R12 треугольное напряжение на входах компараторов остается симметричным относительно порога их переключения (рис. 49,а). На выходах компараторов формируются сигналы, по форме близкие к меандру. Поскольку вход 1 DD2.3 подключен к плюсовому выводу источника питания, этот элемент работает как компаратор с инверсным выходом, элемент DD2.4, у которого вход 5 соединен с общим проводом - с прямым. В результате их выходные сигналы противофазны.

Конденсаторы C6 и C7 служат для устранения генерации компараторов DD2.3 и DD2.4.

При перемещении движков резисторов R9 и R12 треугольное напряжение смещается относительно порога переключения компараторов (рис. 49,б) и скважность импульсов на их выходах меняется. При этом сигналы всегда остаются противофазными, как это показано на рис. 47. Компараторы, как уже указывалось выше, управляют прохождением коротких импульсов в начале каждого полупериода на управляющие электроды симисторов, чем и достигается регулирование средней мощности в нагрузках.

Все элементы регулятора, кроме симисторов VS1, VS2, выходных гнезд X1, X2 и выключателя SA1, смонтированы на печатной плате

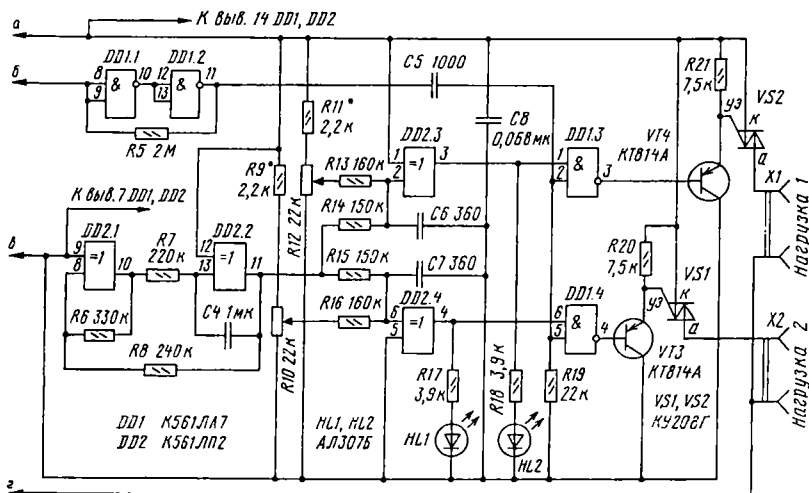


Рис. 48. Принципиальная схема двухканального регулятора

размерами 50 × 120 мм (рис. 50). Плата рассчитана на установку резисторов МЛТ, конденсаторов К73-16 (С1), К50-6 (С3), КМ-5 (остальные). Переменные резисторы R11 и R12 - СПЗ-4аМ или СПЗ-4бМ. Диоды VD1, VD2 - любые кремниевые

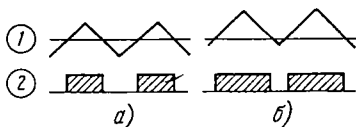


Рис. 49. Принцип регулирования мощности

импульсные или выпрямительные, стабилитрон VD3 - на напряжение стабилизации 10...12 В. Микросхема К561ЛА7 заменяема на К176ЛА7 или КР1561ЛА7, микросхему К561ЛП2 никакими другими заменять не следует, поскольку К176ЛП2 генерирует на высокой частоте при ее включении в качестве интегратора; по-видимому, также должна вести себя и микросхема КР1561ЛП14. Транзисторы VT1 и VT2 могут быть любыми кремниевыми маломощными структуры р-п-р, транзисторы VT3 и VT4 - средней или большой мощности той же структуры с допустимым коллекторным током 150 мА.

Светодиоды можно использовать любые видимого свечения с максимальной светоотдачей. Следует обратить внимание на их установку - светодиоды следует максимально вынести за пределы платы, и направлены они должны быть в ту же сторону, что и ось переменного резистора.

Корпуса резисторов R11 и R12 соединены с минусовым проводником цепи питания микросхем, что необходимо для их экрани-

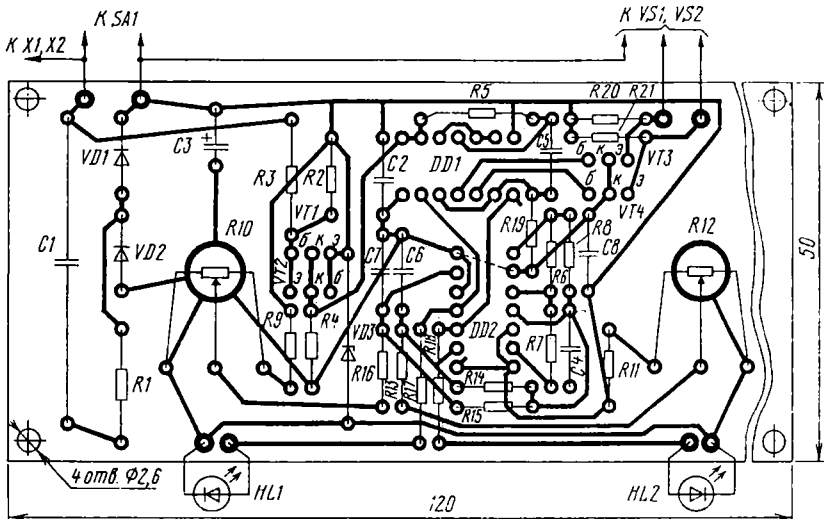


Рис. 50. Печатная плата двухканального регулятора

рования. Симисторы КУ208Г (или КУ208В) установлены на ребристых теплоотводах размерами 25 × 50 × 60 мм.

Плата, теплоотводы с симисторами, две пары гнезд и выключатель SA1 типа ТВ1-2 установлены в пластмассовую коробку размерами 70 × 95 × 150 мм. При этом плата расположена максимально близко к нижней стенке коробки, теплоотводы - к верхней (это стенки среднего размера). В них просверлено по 42 отверстия диаметром 6 мм с шагом 10 мм. Светодиоды и оси переменных резисторов выведены через отверстия в передней стенке коробки. Ось и крепежные винты пластмассовых ручек переменных резисторов не должны быть доступны для случайного прикосновения.

Налаживают и градуируют регулятор без симисторов. Выводы 2 и 5 микросхемы DD1 соединяют перемычкой с выводом 14. Параллельно конденсатору С1 подсоединяют резистор сопротивлением 220...330 Ом и подключают регулятор к источнику питания постоянного тока с напряжением 12...15 В, верхний по схеме провод к плюсу источника. Напряжение устанавливают такой величины, чтобы потребляемый ток составил 18...20 мА.

Вращая оси переменных резисторов R11 и R12, убеждаются, что светодиоды HL1 и HL2 мигают с частотой около 1,5 Гц с меняющейся скважностью. При малой длительности вспышек светодиодов должно быть видно, что они включаются неодновременно, в противофазе. Светодиод HL2 включается и выключается довольно плавно, это не является признаком какой-либо неисправности.

Заменяют конденсатор С4 на аналогичный емкостью 0,01 мкФ, при этом частота треугольных колебаний возрастет в 100 раз. Подключив к резистору R21 вольтметр постоянного напряжения (он будет измерять среднее напряжение импульсной последовательности регулируемой скважности), убеждаются, что при вращении оси резистора R12 его показания меняются от нуля до 9 В (приблизительно). Подбирая резистор R10, добиваются, чтобы указанный диапазон регулировки осуществлялся при возможно большем угле вращения оси резистора R12. На шкале переменного резистора наносят метки, соответствующие границам регулирования напряжения, а также 20, 40, 60 и 80% от максимальной величины, индицируемой вольтметром. Метки можно поставить и чаще, например, через 5 или 10%. По ним при эксплуатации можно будет устанавливать необходимый уровень мощности в нагрузке.

Подключив вольтметр параллельно резистору R20, аналогично подбирают резистор R9 и градуируют шкалу переменного резистора R11.

Далее следует восстановить схему регулятора и собрать его полностью. В качестве нагрузок подключить две настольные лампы, включить регулятор в сеть. При вращении движков переменных резисторов лампы должны мигать с частотой около 1,5 Гц. Длительность вспышек ламп должна меняться от нуля до непрерывного свечения ламп. При малой длительности вспышек должно быть заметно, что лампы включаются противофазно.

Регулятор устанавливают в вертикальное положение так, чтобы вентиляционные отверстия ничем не закрывались, например, на стену комнаты.

Если не обязательна плавная регулировка мощности, можно за счет перехода к чисто цифровому управлению исключить операцию по налаживанию регулятора.

Схема регулятора с дискретной регулировкой мощности приведена на рис. 51. Отрицательный перепад, соответствующий началу полупериода, дифференцируется цепочкой C4R5, инвертируется элементом DD1.2 и в виде короткого импульса положительной полярности подается на выводы 2 и 5 элементов DD1.3 и DD1.4 и на вход CP счетчика с дешифратором DD2.

Выходные сигналы счетчика DD2 управляют двумя триггерами микросхемы DD3. Если подвижные контакты переключателей SA2 и SA3 не находятся в крайних положениях, при установке счетчика DD2 в состояние 0 фронтом импульса на выходе 0 счетчика (вывод 2) оба триггера устанавливаются в состояние 1, поскольку на их входах D высокий логический уровень. Момент перехода триггеров в

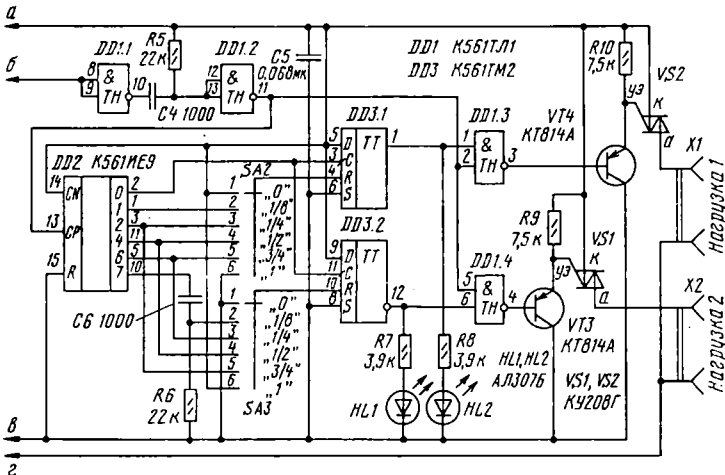


Рис. 51. Принципиальная схема регулятора с дискретной регулировкой мощности

состояние 0 определяется положением подвижных контактов переключателей SA2 и SA3. Если, например, переключатель SA2 установлен в положение "1/8", то в момент появления на выходе 1

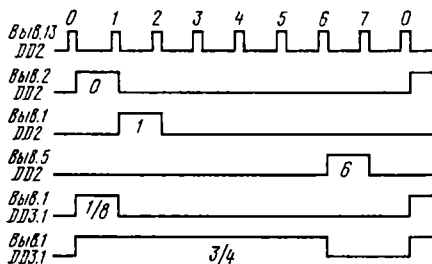


Рис. 52. Временные диаграммы работы регулятора

счетчика DD2 (вывод 1) высокого логического уровня триггер DD3.1 установится в 0 (см. соответствующую диаграмму на рис. 52).

Выходной сигнал триггера DD3.1 управляет прохождением импульсов, соответствующих моменту начала полупериода, через элемент И-НЕ DD1.3. Поэтому через этот элемент пройдет только один

из каждых восьми импульсов (импульс 1 на верхней диаграмме рис. 52). Эти импульсы включают первую из нагрузок, и, соответственно, к нагрузке будет подведен только один из каждых восьми полупериодов сетевого напряжения, на ней выделится 1/8 максимальной мощности. Переводя подвижный контакт переключателя в другие положения, можно добиться, чтобы на нагрузке выделялась указанная около переключателя в долях от максимальной мощность. На нижней диаграмме рис. 52 приведена форма сигнала на прямом выходе триггера DD3.1 при установке переключателя SA2 в положение "3/4". В этом случае через элемент DD1.3 на управляющий электрод симистора VS1 в каждом цикле работы счетчика DD2 пройдут шесть импульсов из восьми (импульсы 1 - 6) и на нагрузке выделится мощность, равная 3/4 от максимальной.

Если подвижный контакт переключателя SA2 установлен в верхнее по схеме положение ("0"), на вход R триггера DD3.1 постоянно подан высокий логический уровень, триггер находится в состоянии 0, нагрузка отключена. При установке подвижного контакта в нижнее положение ("1") на входе R триггера низкий логический уровень и переход триггера в нулевое состояние не происходит - он постоянно находится в состоянии 1, на нагрузке выделяется максимальная мощность.

Поскольку цикл работы счетчика составляет восемь тактов, можно было получить восемь уровней мощности в нагрузке (включая полную и отключение). Для конкретного случая применения (регулирование нагрева электроплиток) достаточным оказалось шесть уровней, они указаны на схеме.

Во второй нагрузке регулировка мощности происходит аналогично, но единичному состоянию триггера DD3.2 соответствует выключение нагрузки, нулевому - включение. Поэтому, если первая нагрузка включается в начале цикла работы микросхемы DD2 и выключается где-то внутри цикла, то вторая нагрузка включается внутри цикла и выключается в момент включения первой. В результате работа нагрузок максимально возможно разнесена во времени, что несколько уменьшает потери в подводящих проводах. Уменьшено и так малозаметное из-за достаточно высокой частоты коммутации (12,5 Гц) мигание ламп, включаемых в ту же осветительную сеть.

Светодиоды HL1 и HL2 индицируют включение соответствующих нагрузок. По яркости их свечения можно приближенно судить о их мощности.

В регуляторе использованы переключатели ПГ2-9-6П2Н (SA1 и SA2), можно использовать любые другие подходящие по контактным группам и размерам. Микросхему K561ТЛ1 можно заменить на KP1561ТЛ1, K561ТМ2 на K176ТМ2 или KP1561ТМ2. Микросхема K561ИЕ9 заменима на K561ИЕ8 или K176ИЕ8, но при такой замене выход 8 (вывод 9) микросхемы следует соединить с ее входом R (вывод 15), отключив его от вывода 8, для обеспечения коэффициента пересчета 8. Можно также уменьшить дискретность регулировки с 1/8 до 1/10, полностью использовав коэффициент пересчета этих микросхем.

Все элементы регулятора, кроме симисторов VS1, VS2, выходных гнезд X1, X2 и выключателя SA1, смонтированы на печатной плате размерами 50 × 120 мм (рис. 53). Элементы использованы те же, что и в описанных выше регуляторах.

Конструктивно регулятор оформлен также, как и предыдущий.

При использовании исправных радиоэлементов и отсутствии ошибок в монтаже регулятор налаживания не требует. Если же он не заработает сразу, можно рекомендовать следующий порядок поиска неисправности. Ничего не отключая от элемента DD1.1, превратить его в генератор импульсов частотой примерно 1 Гц, подпаяв между выводами 9 и 10 резистор сопротивлением 100 кОм, а между 7 и 8 - оксидный конденсатор 10 мкФ на напряжение не менее 10 В (плюсом к выводу 8). Подключить регулятор к источнику питания постоянного тока с напряжением 12...15 В, как это описано выше.

При помощи вольтметра или индикатора логических уровней проверить наличие импульсов на выходах счетчика DD2, правильность переключения триггеров микросхемы DD3, включение свето-

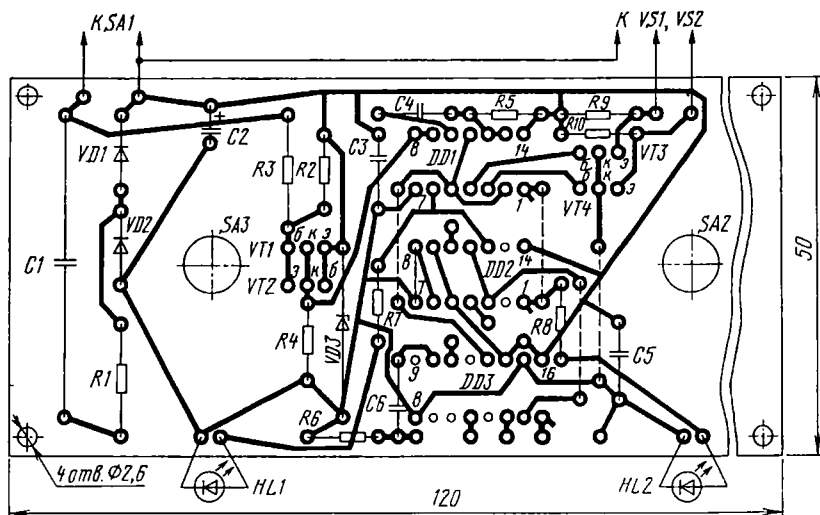


Рис. 53. Печатная плата регулятора с дискретной регулировкой мощности

диодов HL1 и HL2, прохождение импульсов через элементы DD1.3, DD1.4 и эмиттерные повторители VT3 и VT4 на управляющие электроды симисторов. Следует иметь ввиду, что длительность импульсов на выходах DD1.3 и DD1.4 мала и по вольтметру их можно заметить лишь при его включении между плюсом C2 и соответствующим выходом микросхемы и на самом чувствительном диапазоне.

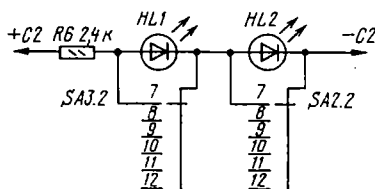


Рис. 54. Вариант включения светодиодов

При наличии осциллографа частоту генератора лучше установить примерно 1000 Гц, подпаяв к DD1.3 конденсатор емкостью не 10, а 0,01 мкФ. Поскольку яркость свечения светодиодов при малых мощностях в нагрузках невелика, можно сделать так, чтобы светодиоды светились одинаково ярко при включении нагрузок на любую мощность и гасли при их выключении (рис. 54). Последовательное включение светодиодов позволяет почти вдвое увеличить ток через них (и, соответственно, яркость) при сохранении общего потребления тока от узла питания на прежнем уровне.

ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЫ

Описываемые в разделе термостабилизаторы можно использовать для поддержания температуры в самых различных случаях - в дачном домике, погребе, балконном хранилище, инкубаторе.

Стабилизация температуры осуществляется включением и выключением сетевого напряжения, подаваемого на нагреватель, в зависимости от температуры датчика - терморезистора. Включение симистора происходит вблизи момента перехода сетевого напряжения через "нуль", что снижает уровень помех.

Схема первого варианта термостабилизатора приведена на рис. 55. Источник питания и формирователь импульсов в момент прохождения сетевого напряжения через нуль выполнены по описанной выше схеме рис. 41. Положительный перепад, соответствующий началу полупериода, дифференцируется цепочкой С4R11 и в виде короткого импульса положительной полярности подается на вывод 12 элемента DD1.4.

На второй вывод этого элемента поступает сигнал с выхода ОУ DA1, выполняющего роль компаратора. Входы ОУ подключены к выходам термочувствительного моста из резисторов R5 - R8 и терморезистора RK1. Пока температура терморезистора выше установленной переменным резистором R5, напряжение на нем меньше напряжения в точке соединения резисторов R7 и R8 и на выходе компаратора низкий логический уровень. Импульсы через элемент DD1.4 не проходят, светодиод HL1 не светится.

Когда температура терморезистора RK1 уменьшится и напряжение на нем станет больше, чем в точке соединения R7 и R8, выходной сигнал ОУ DA1 будет соответствовать логической 1, включится светодиод HL1, импульсы с дифференцирующей цепочки С4R11 начнут проходить через элемент DD1.4 на базу транзистора VT3. В начале каждого полупериода транзистор начнет включать симистор VS1, нагреватель подключится к сети.

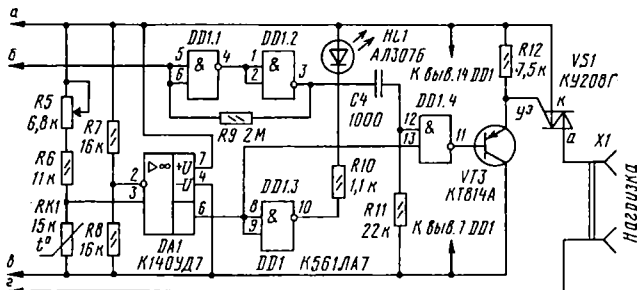


Рис. 55. Принципиальная схема термостабилизатора

Все элементы термостабилизатора, кроме симистора VS1 и выходных гнезд X1, смонтированы на печатной плате размерами 50×80 мм (рис. 56). Элементы использованы те же, что и в описанных выше регуляторах.

Операционный усилитель может быть использован практически любой, работающий при полном напряжении питания 10 В и потребляющий ток не более 5 мА, например, годятся КР140УД7, К140УД6, КР140УД6, КР140УД14.

Терморезистор автор использовал ММТ-4, можно установить любые типа ММТ или КМТ номиналом 22...33 кОм, лучше - герметичные ММТ-4 или КМТ-4. Для определения сопротивлений резисторов R5 и R6 необходимо задаться диапазоном температур, в котором должен работать термостабилизатор. Измеряют сопротивление терморезистора RK1 при максимальной рабочей температуре, резистор R6 устанавливают равным этой величине или несколько меньшей. Затем измеряют сопротивление RK1 при минимальной температуре и подбирают сопротивление R5 таким, чтобы оно в сумме с сопротивлением резистора R6 было не меньше измеренного. Если есть затруднения в измерении сопротивления терморезистора в диапазоне температур, можно считать, что для резисторов ММТ оно увеличивается на 19% при уменьшении температуры на 5°C, на 41% при уменьшении на 10°C и в два раза на 20°C. Аналогично при том же увеличении температуры уменьшение сопротивления составляет 16%, 29% и два раза соответственно. Для терморезисторов КМТ

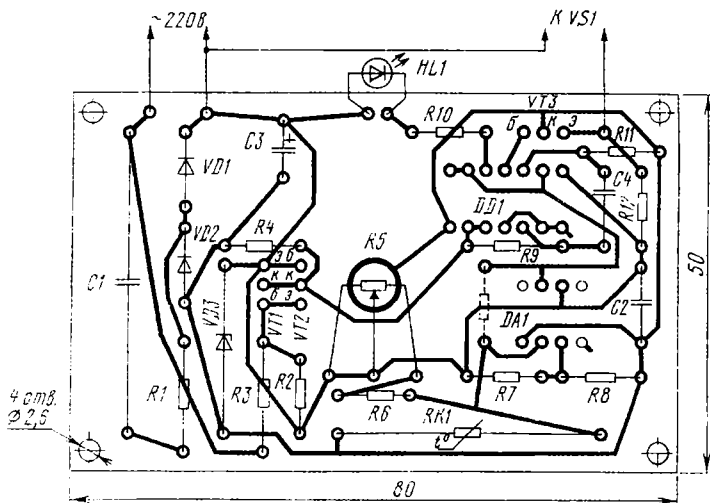


Рис. 56. Печатная плата термостабилизатора

изменение примерно в 1,5 раза больше. Указанные на схеме сопротивления резисторов R5 и R6 и терморезистора RK1 соответствуют диапазону работы термостабилизатора 15...25°C.

Корпус резистора R5 соединен с минусовым проводником цепи питания микросхемы, что необходимо для его экранирования. Симистор КУ208Г (или КУ208В) установлен на ребристом теплоотводе размерами 25 × 50 × 60 мм. При таких размерах теплоотвода нагреватель может иметь мощность до 1 кВт.

Плата, теплоотвод с симистором, пара гнезд X1 установлены в пластмассовую коробку размерами 70 × 95 × 150 мм так, чтобы терморезистор RK1 был расположен максимально близко к нижней стенке коробки, теплоотвод - к верхней (это стенки наименьшего размера). В них просверлено по 24 вентиляционных отверстия диаметром 6 мм с шагом 10 мм. Светодиод HL1 и ось переменного резистора R5 выведены через отверстия в передней стенке коробки. Ось и крепежный винт пластмассовой ручки переменного резистора не должны быть доступны для случайного прикосновения.

Налаживают и градуируют регулятор без симистора. Вывод 12 микросхемы DD1 соединяют перемычкой с выводом 14, к резистору R12 подключают вольтметр. Параллельно конденсатору C1 подсоединяют резистор сопротивлением 220...330 Ом и подключают термостабилизатор к источнику питания постоянного тока с напряжением 12...15 В, верхний по схеме провод к плюсу источника. Напряжение устанавливают такой величины, чтобы потребляемый ток составил 18...20 мА.

Терморезистор помещают в воду с температурой, соответствующей середине рабочего диапазона. Его изолятор не должен быть в воде. Убеждаются в том, что при вращении оси резистора R5 по часовой стрелке светодиод HL1 загорается, вольтметр начинает показывать напряжение около 9 В, а при вращении в противоположном направлении - светодиод гаснет, вольтметр показывает нуль. Делают соответствующую отметку на шкале переменного резистора. Изменяя температуру воды, полностью градуируют термостабилизатор.

Для проведения этой операции вместо терморезистора можно использовать постоянные резисторы с сопротивлениями, соответствующими измеренным сопротивлениям терморезистора при заданных температурах.

Убрав дополнительный резистор и перемычку, полностью собирают стабилизатор и проверяют его работу с включенной в качестве нагрузки лампой накаливания.

Регулятор устанавливают в вертикальное положение так, чтобы вентиляционные отверстия ничем не закрывались, например, на стену

входов, т.е., если входные сигналы превышают порог переключения на двух или трех входах, на выходе - лог.1, если порог переключения превышен лишь на одном входе или на всех входах сигналы ниже порога переключения - на выходе лог.0.

Поэтому, если температура любых двух терморезисторов понизится ниже заданного порога, на двух входах элемента DD1.1 будет превышен порог переключения и на его выходе появится лог.1. Этот сигнал пройдет через буферный элемент DD1.2 и включит транзистор VT1, который, в свою очередь, включит тиристор VS1. Тиристор включит нагреватель и температура стабилизируемого объекта начнет повышаться.

Когда температура двух терморезисторов превысит заданный уровень, на двух входах элемента DD1.1 напряжение будет ниже порога переключения и на выходе элемента DD1.1 появится лог.0, нагреватель выключится.

Резисторы R7 - R9 обеспечивают положительную обратную связь, небольшой гистерезис и четкое переключение элементов микросхемы DD1.

Сопротивление резистора R12 обеспечивает ток питания элементов термостабилизатора около 16 мА, из них около 10 мА используется для включения тиристора. Если подобрать тиристор с током включения по управляющему электроду менее 5 мА, можно увеличить номиналы резисторов R10 - R12 вдвое, что позволит уменьшить мощность, бесполезно рассеиваемую резистором R12, с 4 до 2 Вт.

Еще более сократить потребляемую мощность и уменьшить уровень помех, создаваемых стабилизатором в момент включения нагрузки, можно, если ток в управляющий электрод, включающий тиристор, подавать лишь в моменты времени, соответствующие моментам перехода сетевого напряжения через нуль. Схема такого варианта термостабилизатора приведена на рис. 58.

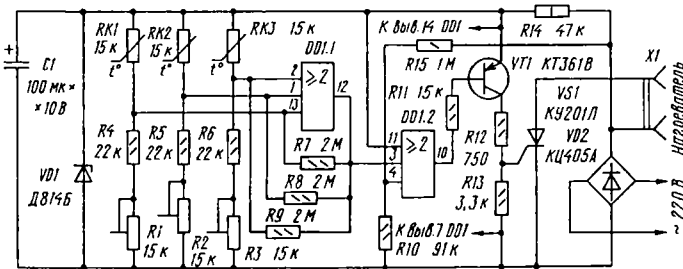


Рис. 58. Принципиальная схема второго варианта термостабилизатора повышенной надежности

Отличием стабилизатора по схеме рис. 58 является подключение терморезисторов к плюсовому проводу питания, что необходимо для того, чтобы сигналом включения нагревателя был лог.0 на выходе элемента DD1.1. Это, в свою очередь, необходимо для того, чтобы элемент DD1.2, выполняющий функцию ИЛИ для сигналов высокого логического уровня или функцию И для сигналов низкого уровня за счет подключения одного из его входов к плюсу питания, выдавал на своем выходе сигнал, включающий тиристор, лишь в те моменты, когда напряжение сети близко к нулю. Для этого же на вход элемента DD1.2 подано через делитель R15R10 напряжение с выхода выпрямительного моста VD2. Поскольку сигналом, включающим тиристор, теперь является лог.0 на выходе элемента DD1.2, усилитель тока на транзисторе VT1 выполнен по схеме инвертора.

В термостабилизаторах могут быть использованы терморезисторы типов ММТ или КМТ, оксидный конденсатор любого типа, любой стабилитрон на напряжение 8...10 В, практически любые маломощные кремниевые транзисторы соответствующей структуры. Микросхему К561ЛП13 можно заменить на К561ИК1 [3], подключив ее два управляющих входа к общему проводу. Резистор R12 (рис. 57) составлен из двух резисторов 24 кОм 2 Вт, включенных параллельно.

На рис. 59 и 60 приведены чертежи печатных плат описываемых термостабилизаторов, на них размещены только слаботочные элементы устройств. Платы рассчитаны на применение подстроечных резисторов типа СПЗ-19а, размер плат - 30 × 50 мм. Подключение входов элемента DD1.3, показанное на схеме рис. 57, объясняется удобством разводки печатной платы; как известно, входы неиспользуемых элементов микросхем КМОП нельзя оставлять свободными.

Вариант силовых цепей, схема которого приведена на рис. 57 и 58, обеспечивает работу с нагревателем до 100 Вт, например, теплоизолированного ящика для хранения овощей на балконе, при этом установка тиристора VS1 на теплоотвод не требуется. При необходимости коммутации более мощного нагревателя следует использовать более мощные диоды и тиристор и установить их на соответствующие радиаторы.

Настройку термостабилизаторов для исключения поражения электрическим током следует производить с использованием мало-мощного понижающего трансформатора с напряжением на вторичной обмотке 26...28 В. Параллельно резистору R12 для устройства по схеме рис. 57 или R14 для стабилизатора по схеме рис. 58 подключить резистор с номиналом 750 Ом на мощность не менее 0,5 Вт. Вместо нагревателя подключить лампу накаливания на рабочее напряжение 27 В. Один из терморезисторов RK1 - RK3

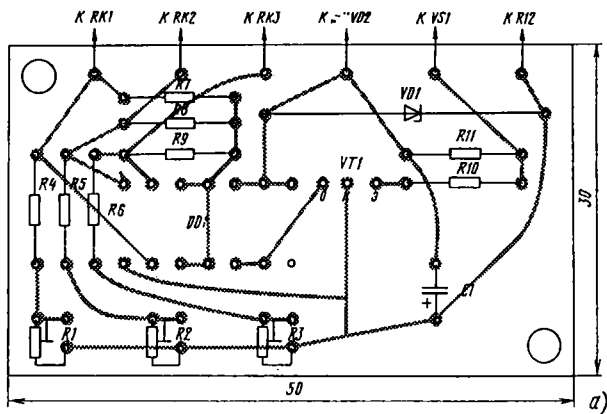


Рис. 59. Печатная плата первого варианта термостабилизатора повышенной надежности

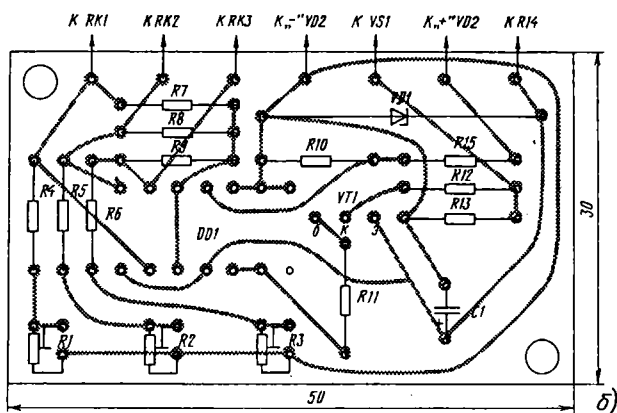


Рис. 60. Печатная плата второго варианта термостабилизатора повышенной надежности

отключить, выводы второго замкнуть между собой, третий поместить в сосуд с водой с температурой, которую необходимо стабилизировать.

Вращая движок соответствующего подстроечного резистора, добиться, чтобы включение и выключение лампы происходило при небольшом повороте движка относительно найденного положения. Повторить подстройку терморегулятора с другими терморезисторами, после чего восстановить полностью схему и проверить работу стабилизатора от сети.

Конечно, три датчика температуры можно применить и в симисторных термостабилизаторах.

Из-за нелинейности зависимости сопротивления терморезистора от температуры шкала переменного резистора, по которой устанавливают температуру, получается также весьма нелинейной. Если от описываемых термостабилизаторов требуется работа в широком температурном диапазоне, желательно линеаризовать шкалу. Оказывается, решить такую задачу несложно.

Зависимость сопротивления R_t терморезистора с отрицательным ТКС от абсолютной температуры T выражается следующей формулой:

$$R_t = R_0 e^{B/T},$$

где R_0 - константа, имеющая размерность сопротивления;

B - константа, имеющая размерность температуры;

T - абсолютная температура ($T = t + 273$).

На рис. 61 приведена такая зависимость для терморезистора ММТ-4 с номинальным сопротивлением 15 кОм ($R_0 = 0,294$ Ом, $B = 3176$ К). Включим последовательно с терморезистором резистор $R_{\text{доп}}$ с сопротивлением, намного большим, чем он имеет в указанном на графике диапазоне, и подключим получившийся делитель к

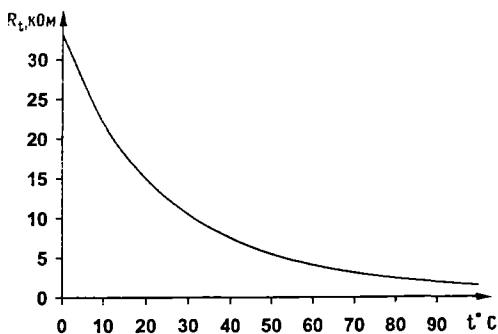


Рис. 61. Зависимость сопротивления терморезистора от температуры

источнику постоянного напряжения. Ток через делитель будет мало изменяться в диапазоне температур, поэтому напряжение на терморезисторе изменяется пропорционально его сопротивлению.

Если же резистор $R_{\text{доп}} \ll R_t$, ток в цепи определяется терморезистором. В этом случае температурная зависимость напряжения на терморезисторе будет описываться также кривой, но с выпуклостью вверх.

Естественно предположить, что при некотором промежуточном значении сопротивления резистора $R_{\text{доп}}$ эта зависимость может быть близка к линейной.

Пусть терморезистор имеет сопротивления, равные R_1, R_2, R_3 при температурах $T_1 < T_2 < T_3$, причем $T_2 = (T_1 + T_3)/2$. В этом случае коэффициенты передачи K_1, K_2 и K_3 делителя напряжения, состоящего из терморезистора и резистора $R_{\text{доп}}$, равны:

$$K_1 = R_1 / (R_1 + R_{\text{доп}}), \quad (1)$$

$$K_2 = R_2/(R_2 + R_{\text{доп}}), \quad (2)$$

$$K_3 = R_3/(R_3 + R_{\text{доп}}), \quad (3)$$

причем $K_1 > K_2 > K_3$. Для того, чтобы зависимость коэффициента передачи делителя была близка к линейной, зададим

$$K_2 = (K_1 + K_3)/2. \quad (4)$$

В результате получаем линейную систему из четырех уравнений (1 - 4) с четырьмя неизвестными K_1 , K_2 , K_3 , $R_{\text{доп}}$. Решим ее относительно $R_{\text{доп}}$:

$$R_{\text{доп}} = (R_1 R_2 + R_2 R_3 - 2R_1 R_3)/(R_1 + R_3 - 2R_2). \quad (5)$$

После определения величины сопротивления $R_{\text{доп}}$ коэффициенты передачи для крайних и среднего значений температуры рассчитывают по формулам (1 - 3).

Для определения ошибки линеаризации в заданном диапазоне изменений температуры можно рассчитать коэффициент передачи по формуле:

$$K(T) = R_t(T)/[R_t(T) + R_{\text{доп}}], \quad (6)$$

где $R_t(T)$ - зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

Теперь можно сравнить его с линейной зависимостью, совпадающей с ней в крайних точках:

$$K_{\text{лин}} = K_1 - (T - T_1)(K_1 - K_3)/(T_3 - T_1). \quad (7)$$

Была разработана несложная программа для IBM PC, позволяющая по сопротивлению терморезистора для двух значений температуры рассчитать его константы R_0 и B , определить для любого температурного диапазона значение $R_{\text{доп}}$ и погрешность линеаризации (в градусах).

Для примера на рис. 62 приведен график погрешности линеаризации в диапазоне 100 град. для терморезистора с зависимостью сопротивления от температуры, показанной на рис. 61. Как видно из графика, максимальная ошибка составляет примерно 3,7 град.

Ошибку линеаризации можно уменьшить более чем в полтора раза, если подобрать сопротивление $R_{\text{доп}}$ так, чтобы нулевую погрешность в точках сопряжения получать не на концах диапазона, а при значениях температуры, смещенных внутрь диапазона на 0,07 от его ширины (рис. 63). Как видно из графика, для этого случая погрешность примерно одинакова на концах диапазона и на расстоянии 25 % от границ составляет не более 2,1 град. Но резкое ее увеличение на края диапазона наводит на мысль, что небольшие неточности в расчете и настройке моста могут резко увеличить ошибку. Поэтому сопряжение лучше обеспечить на расстоянии

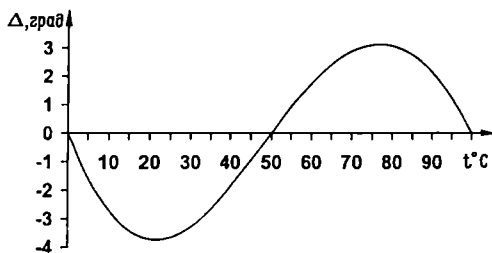


Рис. 62. График погрешности линейаризации при $a = 0$

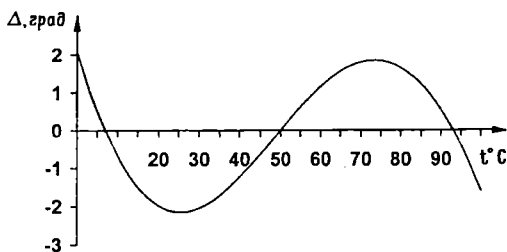


Рис. 63. График погрешности линейаризации при $a = 0,07$

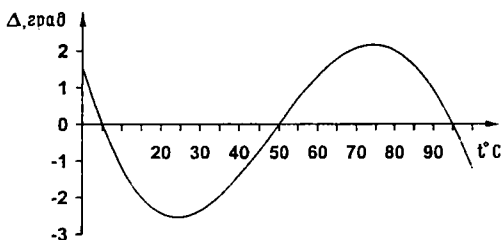


Рис. 64. График погрешности линейаризации при $a = 0,05$

примерно 0,05 от границ диапазона (рис. 64), погрешность при этом составит около 2,5 град.

В табл.1 приведены результаты расчета погрешности для различных температурных диапазонов, заданных значениями температуры T_1 и T_3 . Для них также построены графики зависимости ошибки от температуры. Все графики различаются лишь масштабом, их формы неотличимы от кривых на рис. 62 - 64. Погрешности рассчитаны для различного положения точек сопряжения: на краях диапазона ($a = 0$) и на относительном смещении 0,05 и 0,07 от краев. В таблице также приведены значения сопротивления $R_{\text{доп}}$ для сопряжения на краях диапазона ($a = 0$).

Как видно из таблицы, для температурного диапазона не более 40 град. точность линейаризации достаточно высока для

любых применений даже при сопряжении на их концах. Для измерителя температуры воздуха за окном в диапазоне $-20 \dots + 30^\circ\text{C}$ результат линейаризации также вполне приемлем.

Особое место в таблице занимает последняя строка, в которой указан (с запасом) температурный диапазон медицинского термометра. Ошибка линейаризации для него ничтожна, что позволяет разработать простой и точный термометр с терморезисторным датчиком.

Надо заметить, что для терморезисторов КМТ значение константы B значительно выше, поэтому температурные диапазоны с приемлемой ошибкой линейаризации существенно уже. Определить

Таблица 1

t1, °C	t3, °C	R _{доп.} , кОм	Δ, °C		
			a = 0	a = 0,05	a = 0,07
0	10	19,9	0,007	0,005	0,003
0	20	15,4	0,05	0,04	0,03
0	30	12,7	0,16	0,11	0,09
0	40	10,5	0,36	0,24	0,21
0	50	8,8	0,65	0,43	0,38
0	60	7,4	1,05	0,7	0,61
0	70	6,24	1,56	1,05	0,89
0	80	5,3	2,2	1,47	1,24
0	90	4,54	2,9	1,97	1,66
0	100	3,9	3,7	2,54	2,14
15	25	10,3	0,005	0,004	0,003
-20	30	19,5	0,85	0,57	0,49
30	45	5,5	0,014	0,01	0,008

константу В имеющегося терморезистора по результатам измерения его сопротивления при двух значениях температуры можно по формуле:

$$B = \ln(R1/R2)/(1/T1 - 1/T2)$$

Как рассчитать терморезисторный мост? Вначале следует измерить по возможности точно сопротивление терморезистора в выбранных точках сопряжения и в середине диапазона, а затем по формуле (5) вычислить сопротивление резистора R_{доп.}

Дальнейший расчет различается для случая использования моста в термометре и в терморегуляторе.

Рассмотрим вначале расчет измерительного моста для термометра. В этом случае нужно добиться, чтобы напряжение, снимаемое с движка подстроечного резистора R2 (рис. 65), соответствовало напряжению на терморезисторе R_t при линейной зависимости выходного напряжения делителя R_{доп.}R_t от температуры и при температуре 0°С (рис. 66). Поэтому коэффициент передачи делителя R1R2R3 должен составлять:

$$K_0 = K1 + T1(K1 - K3)/(T3 - T1). \quad (8)$$

Чувствительность моста ΔU_{вых}/ΔT может регулироваться изменением напряжения питания:

$$\Delta U_{\text{вых}}/\Delta T = U_{\text{пит.}}(K1 - K3)/(T3 - T1)$$

При подключении вольтметра к выходу моста в соответствии с указанной на рис. 65 полярностью знак напряжения на нем будет соответствовать знаку изменения температуры относительно принятого за ноль значения.

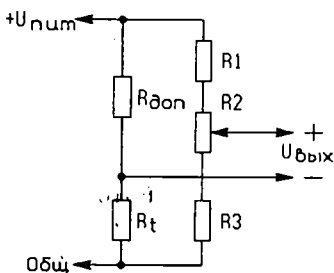


Рис. 65. Терморезисторный мост

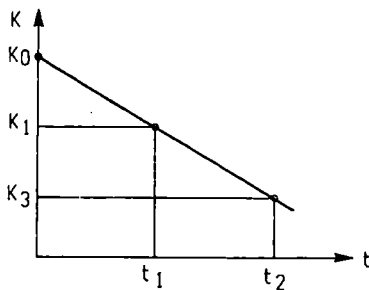


Рис. 66. К расчету терморезисторного моста

Применение терморезисторного моста в терморегуляторе, как правило, не требует высокой точности. Поэтому расчет можно проводить для сопряжения на краях диапазона. В этом случае в верхнем по схеме положении движка R_2 делитель $R_1R_2R_3$ должен обеспечивать коэффициент передачи K_1 , в нижнем - K_3 .

АВТОМАТ ПЛАВНОГО ПУСКА КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Тот, кто имел дело с мощным коллекторным электродвигателем, замечал, как резко пригасали осветительные лампы накаливания в момент пуска двигателя. Однако большой пусковой ток вреден не столько миганием ламп, сколько возможным разрушением коллектора самого двигателя и редуктора электроинструмента из-за теплового и динамического удара. В разделе описано устройство, обеспечивающее плавное увеличение тока в двигателе. Оно, кроме того, "по совместительству" выполняет функцию регулятора мощности нагрузки и электронного предохранителя, исключающего порчу инструмента при большой перегрузке или его заклинивании.

Схема предлагаемого автомата приведена на рис. 67. Основой устройства послужил симисторный регулятор с фазоимпульсным управлением, описанный выше.

Триггер Шмитта DD2.1 формирует крутые фронт и спад образующегося в момент перехода сетевого напряжения через нуль импульса и через эмиттерный повторитель VT3 заряжает конденсатор C10 практически до напряжения на выводе 14 микросхем. Разряжается конденсатор через резисторы R19 - R21 и открытый транзистор VT4. При снижении напряжения на конденсаторе C10 до порогового значения элемент DD2.4 переключается, фронт импульса с его выхода дифференцируется цепью C11R22 и в виде импульса

длительностью около 100 мкс через элементы DD2.2, DD2.3 и транзистор VT5 включает симистор VS1.

В исходном состоянии транзистор VT4 закрыт и разрядка конденсатора C10 происходит только через резистор R21. Его сопротивление подобрано так, что симистор включается в конце каждого полупериода, поэтому на выход устройства подается относительно небольшое "дежурное" сетевое напряжение.

При включении нагрузки через резистор R5 начинает протекать ток, создающий на нем падение напряжения (в виде импульсов изменяющейся полярности) амплитудой 10...30 мВ. Движок подстроечного резистора R7 устанавливают в такое положение, чтобы напряжение на прямом входе ОУ DA1.1 было несколько меньше, чем на инверсном, и на выходе ОУ был сигнал низкого уровня. Импульсы с полярностью, при которой на правом (по схеме) выводе резистора R5 - плюс, переключают ОУ DA1.1, в результате чего на его выходе формируются импульсы положительной полярности амплитудой, близкой к напряжению источника питания микросхем.

С выхода ОУ DA1.1 импульсы поступают на вход узла, состоящего из диода VD6, резистора R15, элементов DD1.1, DD1.2 и конденсатора C7, выполняющего функцию одновибратора с перезапуском. Пока

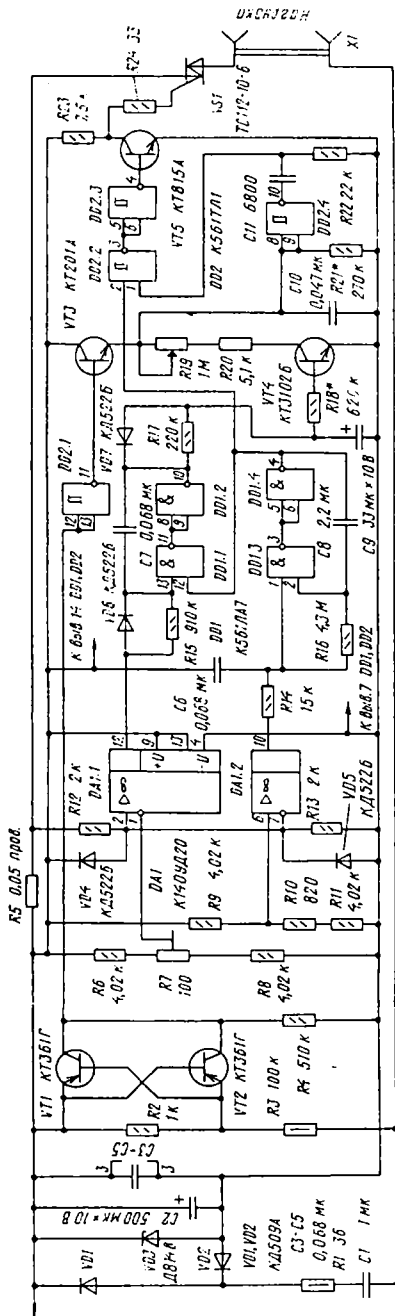


Рис. 67. Принципиальная схема автомата плавного пуска коллекторных электродвигателей

на его входе присутствуют импульсы положительной полярности, на выходе элемента DD1.2 - сигнал высокого уровня. Конденсатор C9 плавно заряжается через резистор R17, транзистор VT4 открывается и ток коллектора увеличивается. Это приводит к более быстрой разрядке конденсатора C10 и более раннему, в пределах полупериода сетевого напряжения, открыванию симистора VS1. В результате напряжение на нагрузке плавно повышается и примерно через 3 с достигает максимального. Его значение можно регулировать резистором R19 в пределах 30...98% от напряжения сети.

При выключении нагрузки с задержкой в пределах 40...50 мс напряжение на выходе элемента DD1.2 становится низким, конденсатор C9 быстро разряжается через диод VD7, напряжение на выходе устройства снижается до своего "дежурного" значения. При следующих включениях симистора процесс плавного пуска повторяется.

Импульсы "дежурного" запуска симистора протекают и через резистор R5. Но они не вызывают включения ОУ DA1.1, так как их полярность не соответствует необходимой.

Если при перегрузке электроинструмента или замыкании в его цепи амплитуда тока, протекающего через резистор R5, превысит 20 А, на выходе ОУ DA1.2 появятся импульсы низкого уровня. Пройдя через помехоподавляющую цепь C6R14, первый же из этих импульсов переключит второй одновибратор, образованный резистором R16, элементами DD1.3, DD1.4 и конденсатором C8. На выходе элемента DD1.4 появляется сигнал низкого уровня, который переключит в исходное состояние первый одновибратор и запретит прохождение импульсов через элементы DD2.2 и DD2.3 на базу транзистора VT5. Напряжение с нагрузки снимается.

Примерно через 5...7 с второй одновибратор переключается в исходное состояние - и вновь (если нагрузка не отключена) начинается процесс плавного пуска двигателя электроинструмента. Если причина срабатывания защиты не устранена, она вновь сработает. Такой процесс будет повторяться каждые 5...7 с.

Диоды VD4 и VD5 защищают входы ОУ DA1 в аварийных ситуациях.

Электродвигатель инструмента, как нагрузка, имеет заметную индуктивную составляющую, в связи с чем ток через него прекращается не в момент перехода напряжения сети через "нуль", а несколько позже. Поэтому импульс, открывающий симистор при максимальной мощности, следует подавать позже, чем в случае чисто активной нагрузки. Для этого сопротивление резистора R2 уменьшено, что привело к расширению импульса низкого уровня на коллекторах транзисторов VT1, VT2 и увеличению задержки по-

явления запускающего импульса относительно момента перехода сетевого напряжения через "нуль".

Чтобы за время импульса запуска ток через нагрузку с индуктивной составляющей достиг значения тока удержания симистора, длительность запускающих импульсов увеличена примерно до 100 мкс за счет установки конденсатора С11 большей емкости. В связи с этим потребовалось защитить транзистор VT5 (резистором R24) от возможной перегрузки.

Все элементы устройства, кроме симистора VS1 с его ребристым теплоотводом размерами 60 × 50 × 40 мм и выходного разъема X1, смонтированы на печатной плате (рис. 68), выполненной из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Плата рассчитана на установку резисторов МЛТ, конденсаторов К73-17 на номинальное напряжение 250 В (С1, С10), К50-16 (С2), К53-18 (С9), КМ-5 и КМ-6 (остальные). Конденсаторы С1 и С10 могут быть любыми другими, обозначение которых начинается с К73, например К73-16. Номинальное напряжение конденсатора С1 должно быть не менее 250 В, конденсатора С10 - любое.

Переменный резистор R19 - СПЗ-4аМ или СПЗ-46М, подстроечный R7 - СПЗ-19а. Диоды VD1, VD2, VD4 - VD7 - любые кремниевые импульсные, стабилитрон VD3 - на напряжение стабилизации 10...12 В. Микросхема К561ЛА7 (DD1) заменяема на К176ЛА7 или

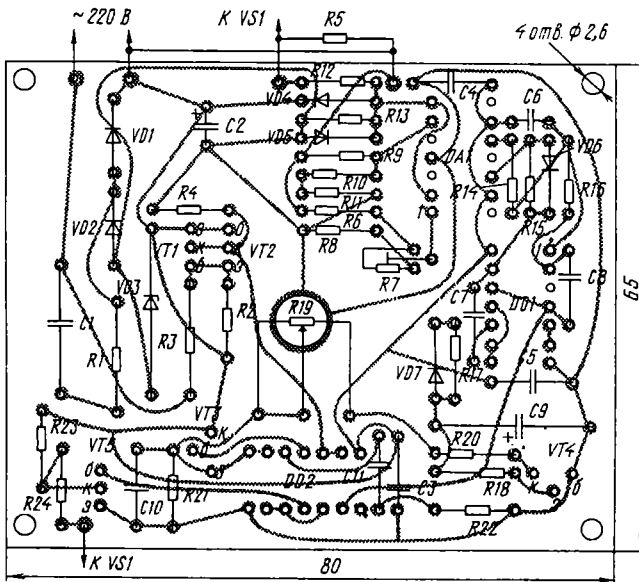


Рис. 68. Печатная плата автомата

КР1561ЛА7, а К561ТЛ1 (DD2) - на КР1561ТЛ1. Вместо ОУ К140УД20 (DA1) подойдут два ОУ КР140УД7 или КР140УД14.

Резисторы R6, R8, R9, R11-R13 - С2-29 с допуском 0,25%, однако их сопротивления могут быть в 1,5 - 2 раза больше указанных на схеме. Важно, чтобы сохранялись соотношения $R6=R8$, $R9=R11$, $R12=R13$, $R6=2R12$, причем последнее равенство - приблизительно. Сопротивление резистора R10 должно составлять примерно 20% от номинала R12. Здесь существенно не столько сопротивление резисторов, сколько их стабильность. Если не удастся подобрать стабильные резисторы, то, возможно, придется подстраивать резистор R7 в процессе эксплуатации.

Резистор R5 изготовлен из восьми отрезков нихромовой проволоки диаметром 0,8 мм, которые соединены параллельно и скручены в жгут. Длина отрезков (несколько сантиметров) подобрана с таким расчетом, чтобы сопротивление каждого из них было $0,4 \text{ Ом} \pm 10\%$. Готовый резистор припаян к двум гнездовым контактам диаметром 1 мм от разъема 2РМ. К ним же подпаяны и провода силовой разводки, как это показано на рис. 68. Контакты насажены на штыри такого же диаметра, впаяные в плату в точках подключения внешних цепей.

Транзисторы VT1 и VT2 могут быть любыми кремниевыми маломощными структуры p-n-p. Транзистор VT3 должен допускать обратное напряжение на эмиттерном переходе не менее напряжения стабилизации стабилитрона VD3. Пригодны транзисторы серии КТ201 с буквенными индексами А, Б, АМ, БМ, а при использовании в источнике питания стабилитрона VD3 на напряжение стабилизации 10 В - с индексами В-Д, ВМ-ДМ. Можно также использовать любой кремниевый маломощный транзистор структуры p-n-p, включив последовательно с его эмиттерным переходом кремниевый маломощный диод. Транзистор VT4 может быть серии КТ3102 или КТ342 с любым буквенным индексом, кроме А. Транзистор VT5 - любой средней или большой мощности структуры p-n-p.

Симистор VS1 может быть ТС112-10 или ТС112-16 с любым последующим цифровым индексом, но не менее 4. Этот индекс означает максимальное рабочее напряжение симистора, выраженное в сотнях вольт. В обозначении симистора может быть также еще один цифровой индекс, но его значение не играет роли. С использованием указанных симисторов максимальный ток нагрузки может составлять 10 и 16 А соответственно. С симистором КУ208В или КУ208Г ток нагрузки не превысит 5 А.

Корпус резистора R19 соединен с минусовым проводником цепи питания микросхемы, что необходимо для его экранирования.

Монтажная плата, теплоотвод с симистором и гнезда разъема X1 размещены в пластмассовой коробке размерами 150 × 95 × 70 мм так, чтобы плата была расположена ближе к нижней стенке коробки, а теплоотвод симистора - к верхней (стенки наименьших размеров). В этих стенках просверлено по 24 вентиляционных отверстия диаметром 6 мм с шагом 10 мм. Вал переменного резистора R19 выведен через отверстие в передней стенке коробки и снабжен пластмассовой ручкой. При этом вал резистора и крепежный винт его ручки не должны быть доступны для случайного прикосновения.

Налаживают автомат и градуируют его органы управления вначале без симистора и нагрузки. Вместо R5 временно впаивают резистор сопротивлением 100 Ом и его левый (по схеме рис. 67) вывод соединяют с плюсовым проводником источника питания. Параллельно конденсатору C1 подключают резистор сопротивлением 150...200 Ом, после чего на сетевой вход устройства подают от внешнего источника постоянное напряжение 12...15 В, плюс - к верхнему по схеме проводу. Его выходное напряжение устанавливают таким, чтобы ток, потребляемый устройством, был в пределах 30...35 мА.

Затем между плюсовым проводником источника питания и выходом (вывод 11) элемента DD1.1 включают светодиодный индикатор - последовательно соединенные резистор сопротивлением 5,1 кОм и любой светодиод из серии AL302 или AL307. Перемещая движок подстроечного резистора R7 из одного крайнего положения в другое, убеждаются, что светодиод включается и гаснет. Если это не происходит, параллельно резистору R6 или R8 подключают дополнительный резистор сопротивлением до нескольких мегаом. Движок резистора устанавливают в крайнее положение (до упора), при котором светодиод не горит.

Тот же или аналогичный индикатор включают между плюсовым проводником питания и выходом (вывод 4) элемента DD1.4. При кратковременном замыкании выводов резистора R11 светодиод должен включаться на 5...7 с. Точно порог срабатывания системы защиты можно проверить, подключив к резистору, заменяющему проволочный R5, гальванический элемент (плюсовым выводом к его правому по рис. 67 выводу) последовательно с переменным резистором сопротивлением 220 Ом. При плавном уменьшении сопротивления этого резистора, когда напряжение на резисторе, заменяющем R5, приблизится к 1 В, светодиод индикатора должен включиться. Другой порог срабатывания защиты устанавливают соответствующим подбором резистора R10.

Затем движок переменного резистора R19 устанавливают в нижнее по схеме положение, а параллельно транзистору VT4

подключают вольтметр постоянного тока. Резистор R18 временно заменяют на переменный резистор сопротивлением 2 МОм и, пользуясь им как реостатом, выводят транзистор VT4 на границу насыщения, т. е. добиваются показания вольтметра 0,4...0,8 В. Измеряют сопротивление введённой части переменного резистора и впаяют резистор R18, номинал которого должен быть примерно вдвое меньшим.

Далее дополнительный переменный резистор убирают и окончательно собирают устройство (светодиодный индикатор оставляют подключенным к выходу 11 элемента DD1.1). Особое внимание уделяют прокладке силовых цепей - провода к плате и резистор R5 должны подключаться именно так, как показано на рис. 68. К выходному разъёму X1 подключают лампу накаливания мощностью не менее 60 Вт, устройство включают в сеть и подбором резистора R21 добиваются, чтобы нить накала лампы слабо светилась. При этом переменное напряжение на лампе должно составлять 12...18 В. Движок резистора R7 устанавливают в такое положение, чтобы при выключенной лампе светодиод гас, при включении - загорался, а яркость свечения самой лампы плавно увеличивалась.

Теперь вместо лампы накаливания к разъёму X1 подключают электроинструмент, потребляющий минимальную мощность, например, электродрель. При его включении светодиод должен загораться, а ротор двигателя плавно разгоняться. Если светодиод светится постоянно или не включается вообще, следует уточнить положение движка резистора R7, после чего проверить работу устройства с наиболее мощным электроинструментом.

При любых проверках автомата и работе с ним следует иметь в виду, что сразу после его включения в сеть запускается цепь защиты и в течение 5...7 с нагрузка не включается. Проверить же работу системы защиты можно, предварительно заменив проволочный R5 на резистор сопротивлением 1 Ом. При включении электроинструмента любой мощности защита должна четко срабатывать.

В процессе эксплуатации автомата его подвешивают или устанавливают в вертикальном положении так, чтобы вентиляционные отверстия в его корпусе ничем не закрывались.

АВТОМАТ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМОРАЖИВАНИЕМ ХОЛОДИЛЬНИКА

Описываемое устройство обеспечивает автоматический режим размораживания холодильнику "Ока-6", оснащенный полуавтоматической системой. Оно включает размораживание холодильника всегда в одно и то же время, например ночью.

Для возможно точного соблюдения рекомендуемой периодичности размораживания холодильника раз в двое суток, в описываемое устройство введены кварцованный генератор колебаний и делитель его частоты.

Схема электронного блока, дополняющего систему полуавтоматического режима размораживания, приведена на рис. 69. Смонтированный блок подключают четырьмя проводниками к соответствующим цепям и агрегатам электрооборудования холодильника. На упрощенной схеме этой системы электродвигатель компрессора обозначен буквой М, клапан размораживания - буквой К, выключатель терморегулятора - SK1, кнопка включения режима размораживания - SK2.

Задающий генератор электронного блока собран на микросхеме DD1 с кварцевым резонатором ZQ1 на частоту 32768 Гц (от наручных электронных часов). С выхода М сигнал микросхемы, следующий с частотой 1 импульс в минуту (1/60 Гц), поступает на вход СР делителя частоты DD2.2 и уменьшает частоту импульсов до одного в 16 мин. Далее сигнал с таким периодом делится по частоте на три в счетчике DD2.1.

Резистор R6 и диод VD5 образуют элемент совпадения, обнуляющий счетчик DD1.1 своим выходным сигналом после достижения им состояния 3. Конденсатор С7 несколько удлиняет импульс обнуления и обеспечивает четкость в работе делителя.

Импульсы с периодом в 48 мин через инвертор DD3.1, функцию которого выполняет генераторный элемент микросхемы DD3, поступает на вход С делителя частоты на 60 той же микросхемы. Делитель DD3.2 принудительно устанавливается в нулевое состояние цепью С9R8 в момент включения источника питания устройства.

Период импульсов на выходе М делителя DD3.2 равен 48 ч. Их положительные перепады устанавливают триггер первого разряда счетчика DD5.1 в состояние 1, и на его выходном выводе 11 появляется сигнал высокого уровня (см. диаграммы на рис. 70). Если при этом электродвигатель компрессора холодильника выключен, то никаких других изменений в устройстве не происходит. При включении же компрессора переменное напряжение сети выпрямляется

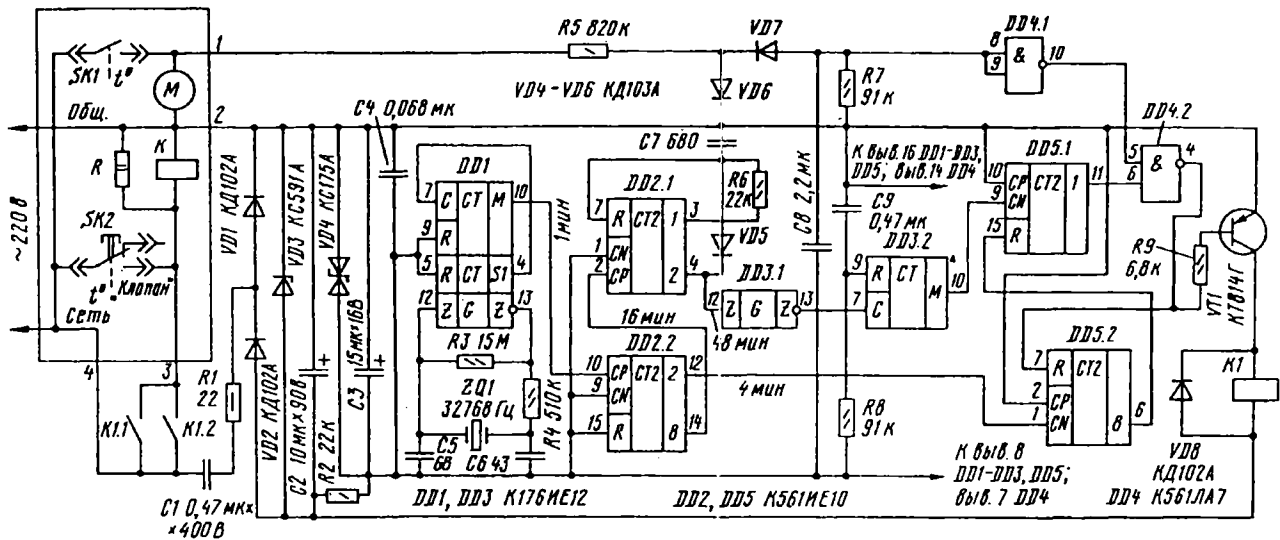


Рис. 69. Принципиальная схема автомата управления размораживанием холодильника

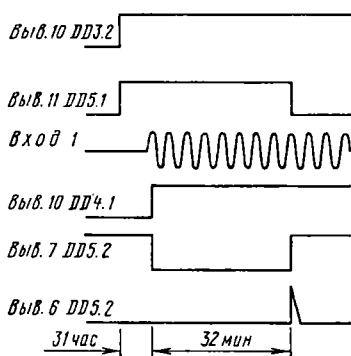


Рис. 70. Временная диаграмма работы автомата

диодом VD7, выключает элемент DD4.1 и в виде сигнала высокого уровня проходит на вход 5 элемента DD4.2. Этот элемент включается сам и открывает транзистор VT1. Срабатывает реле K1 и своими контактами K1.1 и K1.2, соединенными параллельно, замыкает цепь питания электромагнита клапана, открывая тем самым путь горячему фреону в испаритель холодильника - начинается процесс размораживания.

Одновременно сигнал низкого уровня с выхода элемента DD4.2 разрешает работу счетчика DD5.2, и он начинает считать импульсы с периодом в 4 мин, поступающие на его вход CN с выхода 2 счетчика DD2.2. После восьми импульсов на выходе 8 счетчика DD5.2 возникает сигнал высокого уровня, который устанавливает счетчик DD5.1 в исходное состояние, транзистор VT1 закрывается и реле K1 отпускает - процесс размораживания прекращается. Сигнал такого же уровня с выхода элемента DD4.2 устанавливает в нулевое состояние и счетчик DD5.2.

Поскольку работа делителя DD2.2 не синхронизирована с включением компрессора, время размораживания может быть от 28 до 32 мин.

Так происходит каждые 48 ч. Но если в момент положительного перепада на выходе делителя DD3.2 электродвигатель компрессора оказывается включенным, то процесс размораживания начнется сразу.

Срабатывание устройства происходит примерно через 31 ч после включения питания, поскольку первый положительный перепад на выходе делителя DD5.1 появляется после пуска спустя 39/60 периода выходных колебаний, составляющего в данном случае 48 ч. Это позволяет включить устройство вечером, например, в 20 ч, после чего размораживание будет происходить раз в двое суток в 3 ч ночи.

Электронный блок питается от сети через гасящий конденсатор C1 и выпрямитель на диодах VD1, VD2. Напряжение питания реле K1 стабилизировано стабилитроном VD3, а микросхем, кроме того, параметрическим стабилизатором R2VD4. В предлагаемом электронном блоке использованы резисторы МЛТ, конденсаторы - К73-16 (C1), ЭТО (C2), КМ-5 и КМ-6 (остальные). Реле K1 - РЭС-9 (паспорт

РС4.524.204). Стабилитрон VD4 должен быть на напряжение стабилизации 7...9 В, диоды VD1, VD2 и VD8 - на обратное напряжение не менее 100 В, диоды VD5, VD6 и VD7 - любые маломощные кремниевые. Транзистор КТ814Г (VT1) заменим на КТ816Г.

Любая замена микросхем, кроме К561ЛА7, на другую, содержащую по крайней мере два элемента И-НЕ, потребует переработки электронного блока.

Все детали устройства смонтированы на печатной плате (рис. 71) из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Часть соединений выполнена навесными проводниками на стороне платы, противоположной установке микросхем. Неиспользуемые входные выводы микросхем подключены к какому-либо проводнику цепи питания. Стабилитрон VD3 снабжен небольшим теплоотводом в виде "флажка" из мягкого алюминия толщиной 0,5 мм.

Правильно собранное из заведомо исправных элементов устройство в налаживании не нуждается, однако перед установкой в холодильник его целесообразно проверить. Для этого замкните между собой выводы конденсатора C1, резистора R2 и подайте на входные проводники 2 и 4 постоянное напряжение такого значения (9...10 В), чтобы ток, потребляемый блоком, был в пределах 10...15 мА. По частотомеру или осциллографу убедитесь в нормальной работе микросхемы DD1 - на ее выводах 14, 11, 1, 4 должны формироваться импульсы, следующие с частотой 32768, 1024, 128 и 1 Гц соответственно. Затем отключите вывод 10 счетчика DD2.2 от

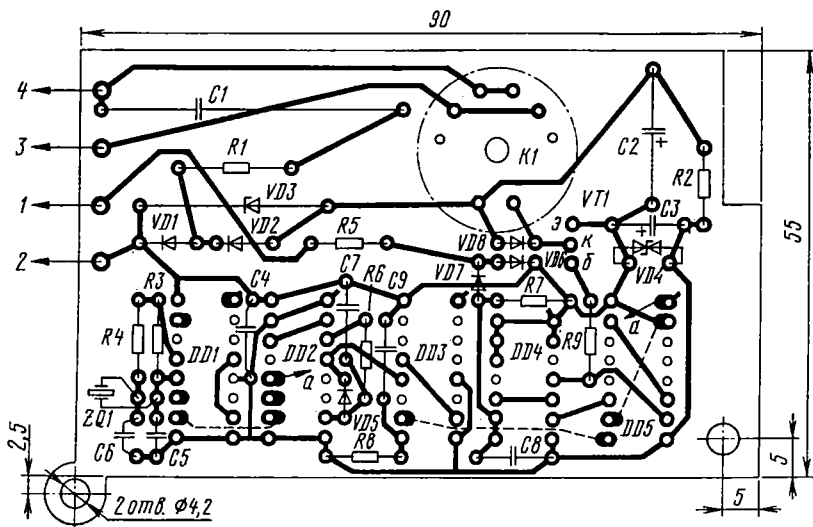


Рис. 71. Печатная плата автомата

вывода 10 микросхемы DD1 и подключите его к выводу 14 той же микросхемы. При этом на вход СР счетчика DD2.2 будут поданы импульсы частотой 32768 Гц. Проверьте наличие импульсов частотой 8192 Гц на его выводе 12, 2048 Гц - на выводе 14 того же делителя, 687 Гц - на выводе 13 и 11,4 Гц - на выводе 10 микросхемы DD3. На выходе элемента DD4.2 должен быть сигнал высокого уровня. Далее замкните выводы конденсатора С8 - на выходе элемента DD4.2 должны появиться импульсы низкого уровня.

Затем вход СР счетчика DD2.2 соедините с выводом 1 микросхемы DD1 (128 Гц), параллельно обмотке реле К1 подключите любой светодиод видимого излучения с ограничительным резистором сопротивлением 1,5 кОм. После включения питания первая вспышка этого светодиода должна произойти спустя примерно 15 с и повторяться каждые 22,5 с. Далее вход СN счетчика DD5.1, отключив его от выхода счетчика DD3.2, подключите к выходу М микросхемы DD1 - вспышки светодиода должны повторяться каждую минуту.

Двумя последними проверками можно начать контроль работоспособности устройства, а предшествующие им помогут найти возможные неисправности.

После этого, не изменяя соединения между счетчиками, удалите перемычки с конденсаторов С1, С8 и резистора R2, отключите от реле К1 светодиод и резистор. Соедините между собой входы 4, 1, подключите входы 2, 3, 4 устройства к холодильнику и, соблюдая меры предосторожности, подключите электрооборудование холодильника к сети 220 В. При этом реле К1 может кратковременно сработать. Следующее же его срабатывание должно произойти спустя 15 с после подачи питания и повторяться через каждые 22,5 с. Разомкните входы 1 и 4. Теперь реле не должно срабатывать.

После такой проверки восстановите все соединения устройства в соответствии с его принципиальной схемой.

Перед установкой платы в холодильник ее соединяют четырьмя отрезками провода, например МГШВ-0,5, с соответствующими цепями электрооборудования и покрывают несколькими слоями какого-либо лака, например УР-231. Холодильник тщательно размораживают и просушивают. В нем необходимо снять плафон и крышку, закрывающую снизу пульт управления, удалить два винта: средний винт декоративной передней панели пульта и правый винт, поджимающий через прокладку трубки терморегулятора и автомата отключения режима оттаивания.

Плату крепят деталями вверх двумя шурупами, используя одну дистанционную втулку длиной 3 мм, ввертывая их в освободившиеся отверстия. После установки ранее снятых деталей холодильник можно включать в сеть.

Время размораживания холодильника можно изменять подключением входа CN счетчика DD5.2 к другим выходам делителя DD2.2. Период размораживания можно уменьшить в два раза, если вход CP счетчика DD2.1 переключить с выхода 8 делителя DD2.2 на его выход 4, или, наоборот, увеличить, подключая входы элемента совпадения R6VD5 к выходам счетчика DD2.1 с большими номерами.

Описанный электронный блок пригоден для любого другого холодильника, имеющего полуавтоматическую систему размораживания. Придется лишь переработать печатную плату с учетом свободного места. Впрочем, плата может находиться и снаружи холодильника.

ДОРАБОТКА ИМПОРТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЧАСОВ

Во многих магазинах и киосках, торгующих бытовой техникой, можно приобрести импортные настольные электронные часы-радиоприемник. На упаковочной коробке - название какой-либо крупной фирмы, например, Philips и мелким шрифтом made in China - сделано в Китае. Часы-радиоприемник, как правило, хорошо оформлены и удобны в эксплуатации, но покупатель с большим огорчением вскоре обнаруживает, что они отстают на несколько минут в сутки. В чем причина? Что сделать, чтобы ход часов стал нормальным?

Часы-радиоприемник обычно выполнены на двух микросхемах. Нередко встречается такая комбинация - LM8560 - собственно часы и CXA1019S - радиоприемник на диапазоны СВ и УКВ. Схемы устройств в основном повторяют друг друга, могут встретиться и отличия, главным образом, в цепях питания.

Образцовой для часов служит частота электроосветительной сети - 50 Гц. В России и других странах СНГ она обычно несколько ниже номинала (хотя и в пределах допуска), что и приводит к отставанию часов. Для нормальной работы их надо дополнить генератором, обеспечивающим на входе часовой микросхемы стабильный сигнал частотой 50 Гц. При наличии резонатора на частоту 100 кГц (или кратную ей) нетрудно сделать генератор с цепочкой делителей, понижающих его частоту до необходимого значения. А вот с использованием в генераторе широко распространенного часового кварцевого резонатора на частоту 32768 Гц получить импульсы, следующие с частотой 50 Гц, не так-то просто.

Схема узла, в котором частота 50 Гц, необходимая для часов, формируется из частоты 32768 Гц, приведена на рис. 72. На микросхеме DD1 собраны генератор, частоту колебаний которого стабилизирует резонатор ZQ1, и делитель его частоты. На выходе К

микросхемы формируются импульсы с частотой следования 32768 Гц, а на выходах 9 и 14 соответственно 64 и 2 Гц. Элемент совпадения DD2.1 пропускает через себя лишь половину импульсов частотой 64 Гц, поэтому средняя частота на его выходе равна 32 Гц. Импульсы с выхода К микросхемы DD1 и выхода элемента DD2.1 дифференцируются ячейками С3R3 и С4R4, в результате чего на входы 9 и 8 элемента DD2.2 поступают совпадающие во времени последовательности импульсов частотой 32768 и 32 Гц. На выходе этого элемента формируются импульсы суммарной частоты 32800 Гц, которую микросхема DD3 совместно с элементами DD2.3 и DD2.4 делит на 328.

Диод VD1 и резистор R5 увеличивают число входов элемента И-НЕ (DD2.4) до трех, что необходимо для получения требуемого коэффициента деления. Импульсы с выхода 28 микросхемы DD3 поступают на вход С JK-триггера DD4 - для формирования импульсов частотой 50 Гц и скважностью 2, обеспечивающей нормальное функционирование цепей динамической индикации часов.

Источником питания этого устройства служит блок питания самих часов, фрагмент схемы которых приведен на рис. 73.

В часах использован светодиодный индикатор HG1' на четыре цифровых разряда, элементы цифровых знакомест которого в довольно произвольном порядке разбиты на две группы. В каждой из групп катоды элементов светодиодов объединены и соединены с контактами 1 и 2 индикатора. Часовая микросхема DD1' подключена к источнику двуполярного напряжения ± 6 В, собранному на диодах VD1', VD2' и конденсаторах С1' и С2'. Диоды этого источника

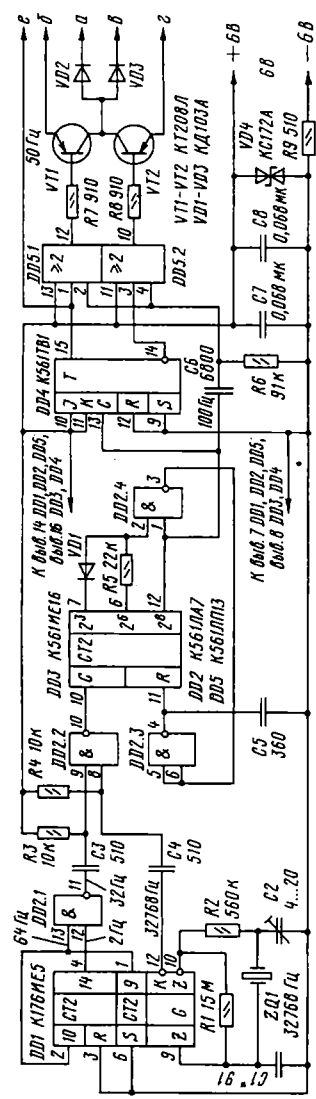


Рис. 72. Схема узла для доработки импортных электронных часов

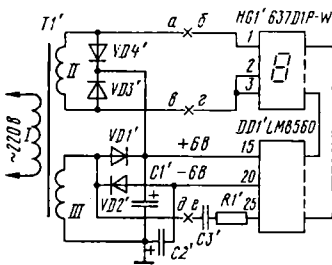


Рис. 73. Фрагмент схемы электронных часов

на непосредственно с частотой сети. Поэтому для функционирования цепей динамической индикации в дополняющее устройство введены транзисторы VT1 и VT2, включающие в соответствующие моменты времени нужную группу элементов индикатора HG1', и диоды VD2, VD3, которые вместе с диодами VD3' и VD4' часов образуют обычный мостовой выпрямитель для питания индикатора.

Для обеспечения нормального режима динамической индикации в микросхеме DD1' часов введена небольшая задержка момента смены информации для групп элементов относительно прихода фронтов импульсов частотой 50 Гц. Поэтому в работу ключевых транзисторов VT1 и VT2 введена пауза длительностью около 0,4 мс, во время которой и происходит смена информации. Длительность паузы определяется дифференцирующей цепью C6R6, а элементы DD5.1 и DD5.2 выполняют функцию И для сигналов низкого уровня (либо ИЛИ для высокого).

Все детали узла доработки часов смонтированы на печатной плате (рис. 74). Постоянные резисторы - КИМ-0,125 (R2) и МЛТ-0,125; конденсатор C1 - КТ4-216, остальные КМ-5 и КМ-6. Транзисторы VT1 и VT2 могут быть любыми структуры р-п-р малой или средней мощности с допустимым коллекторным током не менее 150 мА, диоды VD1 - VD3 - любые кремниевые на рабочий ток такого же значения. Стабилитрон VD4 - любого типа на напряжение стабилизации 7...8 В.

Микросхемы К561ИЕ16 можно заменить на К561ИЕ10, собрав на ней делитель частоты на 164 и поделив ее на 2, используя для этого свободный JK-триггер микросхемы DD4. Микросхема К561ТВ1 заменима на К561ТМ2, а К561ЛП13 - на два элемента ИЛИ, собранные из элементов ИЛИ-НЕ одной микросхемы К561ЛЕ5.

Частоту кварцованного генератора целесообразно подстроить до установки платы в корпус часов. Точнее всего это можно сделать, контролируя цифровым частотомером период колебаний 1 с на выходе 15 (вывод 5) микросхемы DD1. Если такой возможности нет,

обеспечивают подачу полуволн отрицательной (относительно цепи +6 В) полярности на группы объединенных катодов индикатора HG1'. Синхронно с частотой сети микросхема DD1' выдает необходимые сигналы на аноды соответствующей группы элементов индикатора.

После дополнения часов генератором с делителем его частоты до 50 Гц работа микросхемы DD1' уже не связа-

то настраивать генератор придется по сигналам поверки времени.

Монтажную плату устанавливают под основной платой часов, предварительно срезав одну из пластмассовых стоек корпуса. На плате же часов следует разрезать печатные проводники, идущие от сетевого трансформатора к индикатору (на рис. 73 обозначено крестами) и удалить перемычку между выводом обмотки III трансформатора Т1' и конденсатором С3'. Затем подключить гибкими проводниками контактные площадки дополнительной платы к соответствующим точкам основной и включить часы в сеть. Если элементы индикатора образуют хаотический рисунок, это укажет на необходимость поменять местами проводники, идущие от эмиттеров транзисторов VT1 и VT2 к индикатору часов.

В инструкции к часам нет указания, как в них устанавливать точно текущее время. Да это и не требовалось - при работе часов от сети точность их хода невысока. А вот после доработки появляется смысл в точном пуске часов. Выполнять его можно так. Установить на табло время, соответствующее показанию образцовых часов, и в момент, когда они увеличат свои показания на одну минуту, нажать и отпустить кнопку установки минут.

Сетевой трансформатор приобретенных часов может иметь одну вторичную обмотку с отводом от середины (рис. 75). Для таких часов

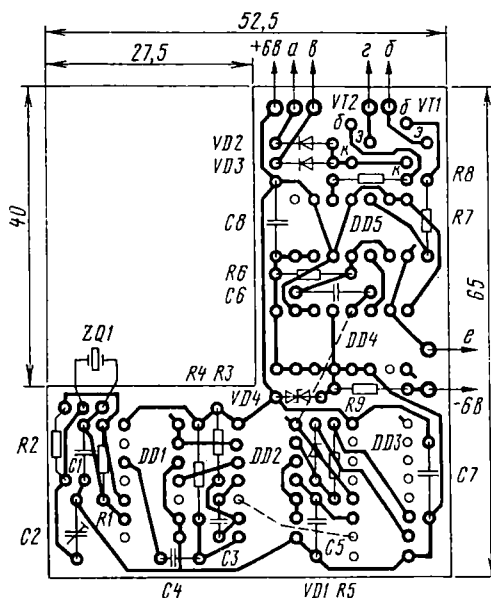


Рис. 74. Печатная плата узла

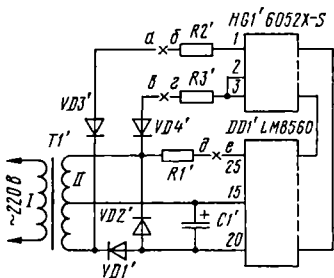


Рис. 75. Вариант схемы электронных часов

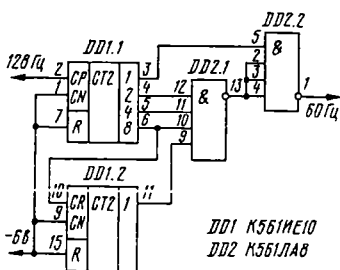


Рис. 76. Формирователь импульсов частотой 60 Гц

импульсы частотой 128 Гц можно снять с выходов Т2 или Т4 микросхемы К176ИЕ12 с кварцевым резонатором на 32768 Гц (выходы Т1 и Т2 для этой цели непригодны). Для формирования частоты 120 Гц из 128 или 60 из 64 Гц, полученных с выхода микросхемы К176ИЕ5, надо вход 5 элемента DD2.2 подключить не к выходу 1 счетчика DD1.1 (как на рис. 76), а к его входу СР (вывод 2).

Как частоту импульсов 100 Гц, полученную таким способом, использовать в других электронных устройствах? Импульсы этой частоты следуют во времени неравномерно. Но эта неравномерность невелика, поэтому никак не скажется на работе секундомера, шахматных часов или какого-либо другого измерителя времени, от которого требуется точность в 0,01 с. Однако эти импульсы совершенно непригодны, например, для задания времени счета в цифровом частотомере, где необходимы точные интервалы в 0,01 с.

диоды VD2 и VD3 в узле доработки не нужны - точку соединения коллекторов транзисторов VT1 и VT2 следует соединить с объединенными анодами диодов VD3' и VD4' (точки а и в на рис. 75). Печатная плата в этом случае имеет Т-образную форму и ее также устанавливают под основной. Питание для узла доработки снимают с конденсатора С1' или непосредственно с выводов 15 и 20 микросхемы DD1'.

Доработанные таким образом часы вполне пригодны для установки в автомобиль, однако приемник в диапазоне СВ будет работать плохо.

Если в приобретенных часах есть переключатель частоты сети 50/60 Гц, целесообразно сделать более простой формирователь импульсов частотой 60 Гц (рис. 76). В таком случае на выходе элемента совпадения DD2.1 сигнал низкого уровня будет появляться после окончания каждого 15-го

импульса и присутствовать до окончания 16-го. В результате на выход элемента DD2.2 станут проходить 15 импульсов из поступивших на его вход 16-ти.

Импульсы частотой 128 Гц можно снять с выходов Т2 или Т4 микросхемы К176ИЕ12 с кварцевым резонатором на 32768 Гц (выходы Т1 и Т2 для этой цели непригодны). Для формирования частоты 120 Гц из 128 или 60 из 64 Гц, полученных с выхода микросхемы К176ИЕ5, надо вход 5 элемента DD2.2 подключить не к выходу 1 счетчика DD1.1 (как на рис. 76), а к его входу СР (вывод 2).

Как частоту импульсов 100 Гц, полученную таким способом, использовать в других электронных устройствах? Импульсы этой частоты следуют во времени неравномерно. Но эта неравномерность невелика, поэтому никак не скажется на работе секундомера, шахматных часов или какого-либо другого измерителя времени, от которого требуется точность в 0,01 с. Однако эти импульсы совершенно непригодны, например, для задания времени счета в цифровом частотомере, где необходимы точные интервалы в 0,01 с.

КОНТРОЛЬ ИСПРАВНОСТИ СИГНАЛЬНЫХ ЛАМП

Обеспечение безопасности движения автотранспорта прямо связано с исправностью сигнальных ламп - указателей поворотов, торможения и др. Сейчас с увеличением средней скорости на дорогах эта проблема становится более актуальной. Очевидно, поэтому на некоторые современные автомобили стали устанавливать электронные устройства, призванные "сообщать" водителю о перегорании ламп той или иной сигнальной системы.

Схема простейшего контролирующего устройства для автомобиля приведена на рис. 77. Оно позволяет водителю по работе контрольной лампы HL1 судить об исправности сигнальных ламп.

Эксплуатация этого устройства

выявила некоторые его недостатки, о которых стоит сказать подробнее.

В первую очередь следует отметить

низкую температурную стабильность.

При понижении температуры

увеличивается напряжение, которое

необходимо подать на эмиттерный

переход транзистора VT1 для включения

контрольной лампы. К

тому же увеличивается и необходимый для насыщения транзистора

базовый ток, что также повышает порог срабатывания индикатора.

В результате в холодную погоду контрольная лампа указателей

поворота начинает включаться лишь после прогрева устройства,

установленного в моторном отсеке.

Несколько снизить зависимость порога срабатывания от темпера-

туры можно уменьшением сопротивления резистора R1, однако

это увеличивает риск порчи транзистора VT1 при возможных

замыканиях в цепи контролируемых ламп.

Второй недостаток - необходимость тщательной подбора сопротив-

ления токоизмерительного резистора R2, причем эту операцию

можно выполнить только на автомобиле.

Серьезным недостатком является и то, что падение напряжения на

резисторе R2 при двух исправных лампах равно почти 1 В (при одной

перегоревшей - около 0,5 В), что заметно снижает их яркость.

Контролирующее устройство, схема которого показана на рис. 78,

свободно от указанных недостатков. Пороговым элементом в нем

служит операционный усилитель DA1, сравнивающий половину

падения напряжения на токоизмерительном резисторе R3 с порого-

вым уровнем, устанавливаемым подстроечным резистором R5.

При отсутствии тока в цепи контролируемых ламп напряжение на

неинвертирующем входе ОУ ниже, чем на инвертирующем. Напря-

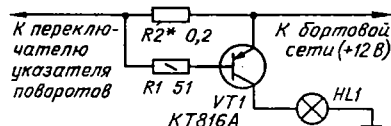


Рис. 77. Простейшее контролирующее устройство

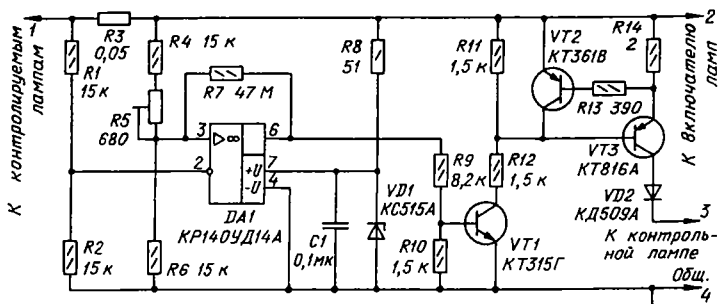


Рис. 78. Принципиальная схема контролирующего устройства

жение на выходе ОУ близко к нулю, все транзисторы устройства закрыты, контрольная лампа не светит.

Если цепи ламп и сами лампы исправны, то при их включении на резисторе R3 возникает падение напряжения. В результате напряжение на инвертирующем входе ОУ становится меньше, чем на неинвертирующем, ОУ переключается, его выходное напряжение становится близким к напряжению питания. Транзистор VT1 открывается и входит в насыщение. Вслед за ним открывается и транзистор VT3, включая контрольную лампу, индицирующую исправность контролируемых ламп.

При неисправности одной из контролируемых ламп (или питающей ее цепи) падения напряжения на резисторе R3 недостаточно для переключения ОУ, контрольная лампа не включается. Это и служит водителю сигналом о необходимости проверить систему.

Резистор R7 обеспечивает небольшой гистерезис ОУ, способствующий более четкому его переключению. Транзистор VT2 защищает мощный транзистор VT3 от выхода из строя при возможных аварийных замыканиях в цепи контрольной лампы. Если ток в этой цепи превысит 300 мА, транзистор VT2 откроется и, шунтируя эмиттерный переход транзистора VT3, ограничит его коллекторный ток. Мощность, рассеиваемая при этом на транзисторе VT3, достигает примерно 3 Вт, поэтому такой режим не должен быть длительным.

Стабилитрон VD1 служит для защиты ОУ от кратковременных всплесков напряжения в бортовой сети. Если на автомобиле установлен электронный регулятор напряжения, например, описанный в [8], и электронный блок зажигания с оксидным конденсатором большой емкости, шунтирующим бортовую сеть [9], то стабилитрон VD1 не нужен.

Развязывающий диод VD2 необходим лишь в том случае, когда контрольная лампа использована еще в какой-либо цепи автомобиля (т. е. выполняет и другие функции).

Устройство можно существенно упростить, если вместо контрольной лампы использовать светодиод. При этом становятся излишними все транзисторы, диод VD2 и резисторы R10-R14, а контрольный светодиод подключают вместо резистора R10 (резистор R9 заменяют другим, сопротивлением около 1,5 кОм). К сожалению, яркость свечения светодиодов в ряде случаев их применения на автомобиле недостаточна. Повысить заметность индикатора можно применением группы последовательно включенных светодиодов вместо одного.

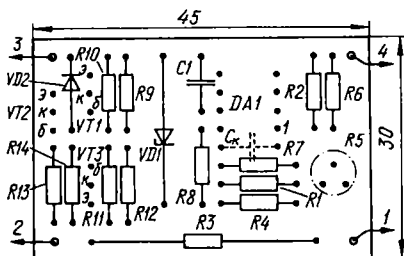
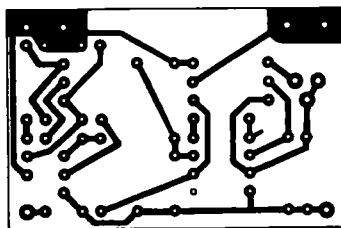


Рис. 79. Печатная плата контролирующего устройства

Все элементы размещены на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, ее чертеж представлен на рис. 79.

В устройстве можно использовать практически любой ОУ широкого применения; корректирующий конденсатор C_x (на схеме не показан) устанавливают при необходимости на предусмотренное для него на печатной плате место. Транзисторы заменимы на любые кремниевые соответствующей структуры, VT1 и VT2 - маломощные, VT3 - средней или большой мощности.

Резистор R5 - СП3-19а. Резисторы R1 и R2, R4 и R6 следует подобрать попарно возможно более близкими по сопротивлению, различие не должно превышать 1%. Вообще же номиналы этих пар резисторов могут быть любыми в пределах 10...20 кОм. Лучше всего здесь использовать стабильные резисторы, например С2-29В.

Если резисторы с такой точностью подобрать не удастся, придется увеличить номинал подстроечного резистора R5 примерно до 2,2...3,3 кОм, и включить его потенциометром - движок соединен с неинвертирующим входом ОУ, а нижний по схеме вывод - с верхним выводом резистора R6. При этом плавность подстройки тока срабатывания ухудшится.

Резистор R3 - самодельный, он представляет собой жгут из четырех проводов диаметром 0,8 мм из высокоомного сплава, свитый в виде пружины. Длину жгута подбирают так, чтобы при токе 5 А падение напряжения на нем было в пределах 0,25...0,3 В. Резистор R3 удобно собрать из двух типа С5-14В (С5-16В, С5-17В) мощностью не менее 0,5 Вт и сопротивлением по 0,1 Ом, соединенных параллельно.

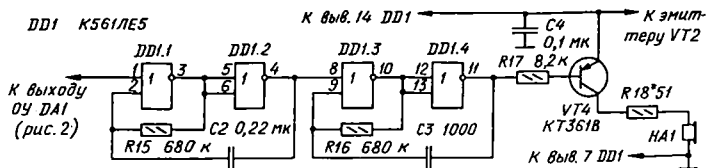


Рис. 80. Звуковой сигнализатор

Налаживание устройства заключается в установке резистором R5 необходимого порога срабатывания. Эту операцию следует выполнять после установки узла на автомобиль. Подают питание на контролируемые лампы, вращая движок, устанавливая его на границу включения контрольной лампы и отмечают положение шлица карандашом. Затем удаляют одну из контролируемых ламп, снова находят границу включения контрольной лампы и еще раз отмечают положение шлица. После этого устанавливают движок в среднее между отметками положение.

Изготовленный экземпляр устройства позволял подстраивать порог тока срабатывания от 0,5 до 5 А.

Контролирующее устройство можно сделать двухканальным - исправность ламп указателя поворотов и стоп-сигнала будет индцировать одна лампа. Для этого оно должно содержать два канала, включающие в себя все элементы, показанные на схеме рис. 78 левее базы транзистора VT1, и общий выходной узел на транзисторах VT1-VT3. Точку соединения резисторов R9 каждого канала подключают к общему резистору R10 и базе транзистора VT1. Элементы R8, C1, VD1 могут быть также общими для обоих каналов. В таком устройстве удобно использовать сдвоенный ОУ К140УД20.

Световой индикатор целесообразно дополнить звуковым сигнализатором, включающимся лишь при перегорании лампы. Схема одного из вариантов такого сигнализатора показана на рис. 80.

Сигнализатор представляет собой генератор пачек импульсов, собранный на элементах DD1.1-DD1.4, частота повторения пачек - около 4 Гц, частота заполнения - 1000 Гц. При подаче напряжения питания и высокого уровня с выхода ОУ DA1 (когда лампы исправны и включены), генератор заторможен. Если же одна из ламп перегорает, на выходе ОУ DA1 появляется низкий уровень и генератор начинает работать. На транзисторе VT4 собран усилитель тока, нагрузкой которого служит звукоизлучатель HA1. Таким образом, при перегорании лампы звучит прерывистый звуковой сигнал.

В сигнализаторе допустимо также использовать микросхемы КР1561ЛЕ5 или 564ЛЕ5. Звукоизлучателем может работать калсюль ДЭМ-4 или любой другой сопротивлением 50...100 Ом.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВОДОКАЧКА

В радиолобительской литературе можно найти описания различных устройств для автоматизации работы насоса, откачивающего воду из подвала или накачивающего воду из колодца в резервуар. В них предусматривался контроль за уровнем воды лишь в одном месте - источнике или приемнике воды. Однако при ограниченном поступлении воды в колодец необходим автомат, контролирующий уровни сразу в двух местах. Он должен автоматизировать работу насоса для получения максимально возможного количества воды. Конечно, при этом необходимо следить за тем, чтобы приемный резервуар не переполнялся. Схема автомата, обеспечивающего необходимый алгоритм работы насоса, приведена на рис. 81.

К контактам X1 - X5 подключены датчики уровня, опущенные в воду. Датчик, подключаемый к контакту X1, установлен в приемном резервуаре на 10 мм ниже его верхнего края, к контакту X2 - на 100 мм ниже. Аналогично, датчик, подключенный к контакту X4, находится у дна колодца примерно на 50 мм выше уровня заборных отверстий вибрационного насоса или клапана центробежного, датчик от контакта X3 еще на 100 мм выше. Контакт X5 подключен к корпусу приемного резервуара и к металлической трубе, по которой откачивается вода из колодца.

Если датчики сухие, на соответствующие входы микросхемы DD1 через резисторы R1 - R8 подается напряжение источника питания +9 В, если они находятся в воде, напряжение на входах микросхемы за счет проводимости воды близко к нулю.

Рассмотрим работу автомата с момента включения в сеть. Пусть в колодце достаточно воды, а приемный резервуар пуст. В этом случае на входах 1 и 2 элемента DD1.1 высокий логический уровень, на входах 3 и 4 DD1.2 - низкий. Эти элементы представляют собой мажоритарные клапаны [3], сигнал на выходе которых соответствует большинству сигналов на входах. Поэтому на выходе элемента DD1.1 будет высокий уровень, на выходе DD1.2 - низкий. На двух входах элемента DD2.2 - высокий уровень, поэтому на его выходе - низкий, на выходе DD2.3 - высокий, он открывает транзистор VT1. Включается тринисторный оптрон U1, он замыкает между собой анод и управляющий электрод симистора VS1 через резистор R13. Симистор включается и подает напряжение на электродвигатель насоса M1. Поскольку автор использовал трехфазный двигатель, напряжение на один из его выводов подается через фазосдвигающий конденсатор C8.

При включении автомата в сеть конденсатор C5 разряжен. Поскольку на выходе элемента DD2.2 низкий уровень, он через

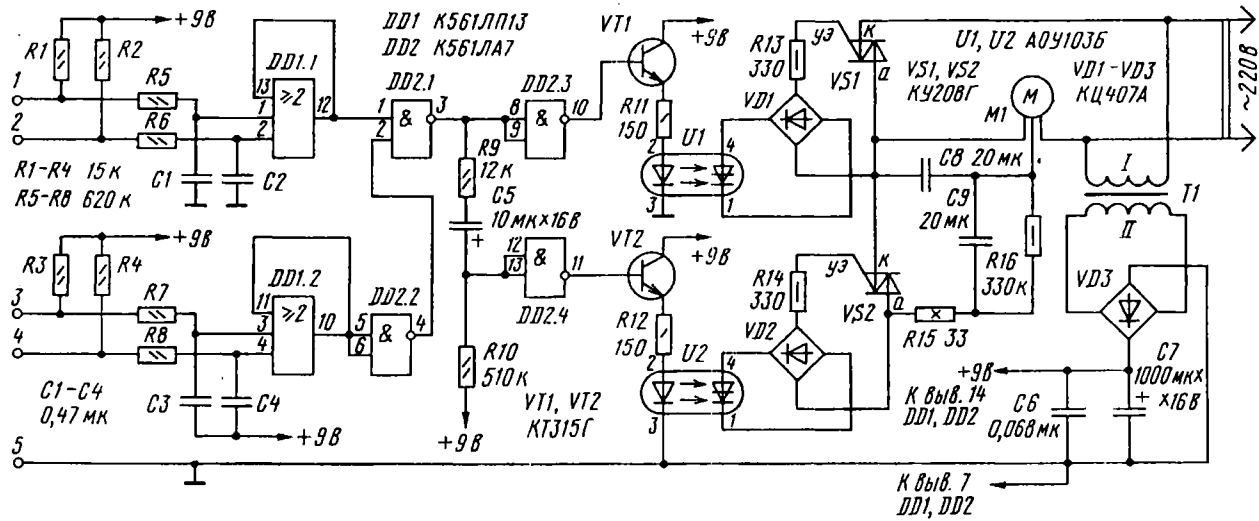


Рис. 81. Принципиальная схема автоматической водочапки

конденсатор С5 передается на вход элемента DD2.4 и на его выходе появляется высокий уровень, открывающий транзистор VT2. Включается оптрон U2, симистор VS2 подключает параллельно С8 пусковой конденсатор С9, происходит быстрый запуск двигателя М1.

Напряжение на нижней по схеме обкладке повышается за счет тока через резистор R10. Примерно через 3 с оно поднимется до порога переключения элемента DD2.4 и на его выходе появится низкий уровень, пусковой конденсатор С9 отключится. Время выбрано с большим запасом, гарантирующим пуск. В то же время оно недостаточно, чтобы двигатель перегрелся.

Далее возможны два варианта работы. Предположим, что воды в колодце много и ее достаточно для наполнения приемного резервуара. Поэтому через некоторое время после пуска вода подойдет к датчику, подключенному к контакту X2, на входе 2 элемента DD1.1 появится низкий уровень. Выходной сигнал этого элемента, однако, не изменится, поскольку на его входах 13 и 1 - высокий уровень. Когда же резервуар наполнится, низкий уровень появится и на входе 1 DD1.1. Поскольку на двух входах этого элемента низкий уровень, такой же сигнал появится и на его выходе, двигатель М1 остановится.

При отборе воды из резервуара вначале высокий уровень появится на входе 1 элемента DD1.1. Это не изменит его состояния, поскольку на его входах 13 и 2 низкий уровень. Лишь когда уровень воды станет ниже датчика, подключенного к контакту X2, на двух входах этого элемента будет высокий уровень, который включит двигатель насоса.

Таким образом, элемент DD1.1 образует триггер, устанавливаемый в единичное состояние подачей на два его входа высокого уровня и в нулевое состояние подачей на них низкого. Гистерезис по уровню воды позволяет избежать слишком частых включений двигателя.

Аналогично управляется насос в случае, когда воды в колодце недостаточно для наполнения резервуара. Он выключается, когда уровень станет ниже уровня, задаваемого датчиком, подключенным к контакту X4, и включается, когда он станет выше датчика, подключенного к контакту X3.

Резисторы R5 - R8 и конденсаторы С1 - С4 защищают входы микросхемы DD1 от статического электричества и помех, наводимых в проводах и датчиках. Резистор R9 ограничивает выходной ток элемента DD2.2 при перезарядке конденсатора С5. Резисторы R11 и R12 определяют ток через светодиоды оптронов U1 и U2, резисторы R13 и R14 ограничивают ток через их диоды и управляющие электроды симисторов VS1 и VS2 в момент включения. Резистор R16 служит для разрядки конденсатора С9 после его отключения от С8, а

R15 ограничивает ток через симистор VS2 в момент его повторного включения, если C9 не успел полностью разрядиться.

Источник питания устройства собран по простейшей схеме без стабилизации напряжения, поскольку микросхемы серии K561 допускают напряжение питания от 3 до 15 В.

Если в насосе установлен однофазный двигатель, не требующий на момент пуска подключения дополнительного конденсатора, или используется вибрационный насос, элементы, начиная с R9 и заканчивая R16, устанавливать не нужно. Необходимо лишь помнить, что входы неиспользуемого элемента DD2.4 следует соединить с общим проводом или выводом 14 этой микросхемы.

Устройство собрано в виде этажерки и накрыто колпаком, изготовленным из полиэтиленовой канистры от автомобильного масла. На нижней пластине из текстолита толщиной 6 мм установлены конденсаторы C8 и C9, к выводам C9 подпаян резистор R16. Верхняя плата - печатная 80 × 180 мм из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. На ней размещены все остальные детали автомата. Чертеж фрагмента платы приведен на рис. 82. Плата рассчитана на установку резисторов МЛТ соответствующей мощности, конденсаторов КМ-6 (C1 - C4, C6), К50-16 (C5) и К50-35 (C7). В качестве C7 можно также

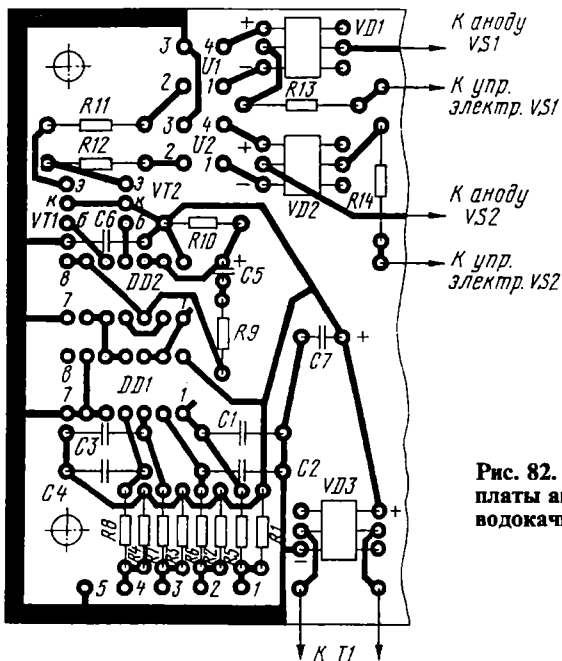


Рис. 82. Фрагмент печатной платы автоматической водочапки

установить К50-6 или К50-16, но расстояние между выводами у них 7,5 мм, это следует учесть при изготовлении печатной платы. Вместо транзисторов КТ315Г можно установить любые транзисторы структуры п-р-п малой или средней мощности, имеющие коэффициент передачи тока базы не менее 40 (при токе коллектора 30...50 мА). Микросхему К561ЛП13 можно заменить на К561ИК1 [3], соединив ее управляющие входы (выводы 7 и 9) с общим проводом.

Вместо диодных мостов можно использовать любые диоды на рабочий ток не менее 100 мА, для замены VD1 и VD2 годятся диоды с рабочим напряжением не менее 300 В. Тринисторные оптроны серии АОУ103 могут использоваться с буквенными индексами Б и В, симисторы КУ208 - В и Г.

Трансформатор питания Т1 использован типа ТПП220, все вторичные обмотки которого соединены последовательно. Можно установить любой трансформатор, обеспечивающий на вторичной обмотке напряжение 7...9 В при токе до 150 мА, например практически от любого адаптера. Кстати, от адаптера можно использовать конденсатор С7 и диоды для замены моста VD3.

Резистор R16 - проволочный остеклованный, его сопротивление может быть в пределах 20...33 Ом. Емкость конденсаторов С8 и С9 указана для двигателя АОЛ22-43Ф мощностью 400 Вт, обмотки которого включены треугольником. При другой мощности их емкость должна быть пропорционально изменена. Конденсаторы С8 и С9 - металобумажные МБГО, МБГТ, МБГП на напряжение не менее 400 В или МБГЧ, К42-19 на 250 В.

Датчики представляют собой плоские спирали с наружным диаметром примерно 25 мм, плотно свитые из оголенных концов медного или алюминиевого осветительного провода в двойной изоляции сечением $2 \times 1,5$ или $2 \times 2,5$ мм². На рис. 83 приведен возможный вариант их установки. Здесь 1 - труба, 2 - вибрационный насос или клапан центробежного, 3 - датчики-спирали, 4 - провод в изоляции. Для уменьшения шунтирования датчиков по поверхности проводов 4 их длина в изоляции от места разделения должна быть не менее 200 мм. Если поступление воды в колодец достаточно большое, расстояние между датчиками можно существенно увеличить, что уменьшит частоту включения насоса.

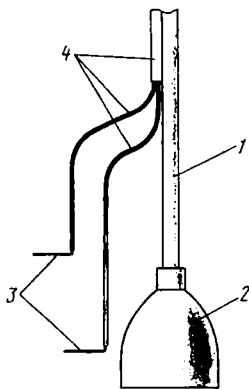


Рис. 83. Установка датчиков

АВТОМАТ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

В подъезде жилого дома, на даче, в садоводческом товариществе полезно иметь устройство, автоматически включающее освещение при наступлении темноты. Схема такого автомата приведена на рис. 84. Питание он получает от сети через гасящий конденсатор $C4$ и диодный мост $VD4$. При закрытом транзисторе $VT1$ ток через обмотку реле $K1$ открывает транзистор $VT2$ и этот транзистор шунтирует собой обмотку. Напряжение на обмотке при этом составляет 2...4 В, реле отпущено. Лампы освещения, включенные через нормально разомкнутые контакты реле, погашены.

Ток, текущий через транзистор $VT2$ и диод $VD2$, проходит также через стабилитрон $VD3$ и создает на нем падение напряжения 12 В для работы управляющей части устройства.

Пока уровень естественного освещения достаточен, напряжение на инвертирующем входе OY $DA1$ меньше, чем на неинвертирующем. Напряжение на выходе OY близко к напряжению на плюсовом выводе конденсатора $C3$, транзистор $VT1$ закрыт и устройство находится в описанном выше состоянии.

По мере уменьшения освещенности сопротивление фоторезистора возрастает, напряжение на неинвертирующем входе OY увеличивается. При достижении уровня, заданного подстроечным резистором $R4$, OY переключается, напряжение на выходе OY становится близким к напряжению на минусовом выводе конденсатора $C3$. Транзистор $VT1$ открывается и входит в насыщение, напряжение на его эмиттере практически сравнивается с напряжением на коллекторе, что приводит к закрыванию транзистора $VT2$. Ток питания

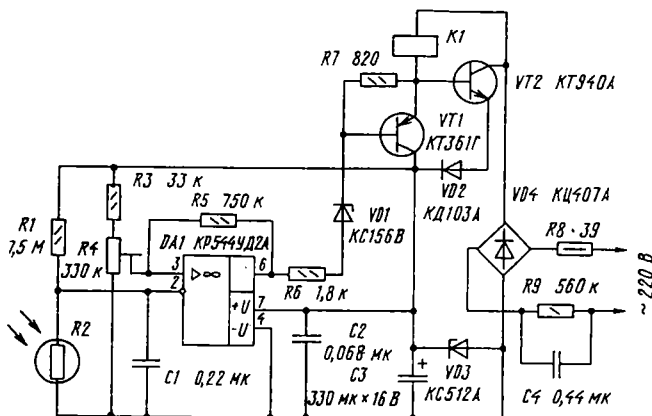


Рис. 84. Принципиальная схема автомата управления освещением

полностью проходит через обмотку реле К1, оно срабатывает и включает освещение.

Отметим, что почти весь ток обмотки реле продолжает питать управляющую часть устройства, лишь малая его часть ответвляется в резистор R6 и выход ОУ.

Резистор R5 обеспечивает гистерезис, необходимый для того, чтобы малые изменения освещенности в районе порога срабатывания не приводили к многократным включениям и выключениям осветительных ламп. Конденсатор C1 устраняет сетевые наводки и замедляет срабатывание автомата, что уменьшает вероятность выключения ламп при кратковременном освещении фоторезистора, например, светом фар проходящих автомобилей. Стабилитрон VD1 обеспечивает четкое закрывание транзистора VT1, а диод VD2 - транзистора VT2. Резистор R3 не позволяет при подстройке уровня срабатывания перейти максимально допустимый уровень синфазного напряжения на входе ОУ, выше которого ОУ уже не работает.

В автомате было применено реле типа РПУ-2 с сопротивлением обмотки 4,5 кОм и рабочим напряжением 110 В. Оно имеет по две пары замыкающих и размыкающих контактов, ток через каждую пару может по оценке автора достигать 10 А. Емкость конденсатора C4 была подобрана для обеспечения номинального напряжения на обмотке при закрытом транзисторе VT2. Устройство сохраняет работоспособность при емкости C4 в пределах 0,22...0,47 мкФ.

Автор использовал фоторезистор ФСД-Г1, чем объясняется высокое сопротивление резистора R1. Если применить фоторезистор ФСК-Г1 или СФ2-5, сопротивление резистора R1 нужно будет уменьшить примерно до 1 МОм, а емкость конденсатора C1 - увеличить до 2,2 мкФ.

При такой же замене фоторезистора можно в качестве ОУ DA1 установить К140УД6 или К140УД7. Транзистор VT1 - любой кремниевый маломощный структуры р-п-р (например серий КТ361, КТ502 или КТ3107 с любым буквенным индексом). Хотя при работе автомата напряжение на транзисторе VT2 не превышает 110 В, в момент включения устройства в сеть к нему может быть приложено полное амплитудное напряжение сети - около 300 В, поэтому его допустимое напряжение коллектор-эмиттер должно быть не менее указанной величины. Подойдут КТ506А(Б), КТ604А(Б, АМ, БМ), КТ605А(Б, АМ, БМ), КТ850Б, КТ854А(Б), КТ859А.

Стабилитрон VD1 - любой малогабаритный на напряжение 4,7...7,5 В, VD3 - на напряжение стабилизации 11...15 В и ток не менее рабочего тока реле К1 с запасом 50% (для РПУ-2 - 25...30 мА), например, Д814Г, КС512А, КС512Б, КС515Г. Диодный мост

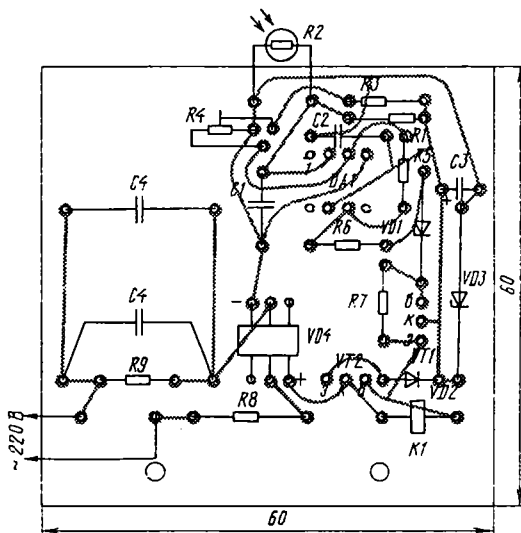


Рис. 85. Печатная плата автомата управления освещением

КЦ407А может быть заменен на четыре любых диода на напряжение не менее 300 В. Конденсатор С3 - импортный аналог К50-35.

Все элементы устройства размещены на печатной плате размерами 60×60 мм (рис. 85). Плата рассчитана на установку двух конденсаторов К73-17 0,22 мкФ 630 В в качестве С4. Их рабочее напряжение должно быть не менее 400 В, можно также использовать К73-16. Резисторы - типа МЛТ (R1 - С1-4 0,25 Вт или КИМ-0,125), подстроечный резистор R4 - СПЗ-19.

Плата помещена внутрь защитного кожуха реле. Для этого крепежные отверстия в основании реле для его механизма расточены надфилем и механизм смещен в сторону насколько это возможно. К основанию подклеен брусок из органического стекла и к нему привинчена плата.

Выводы обмотки реле отсоединены от контактных ламелей и подпаяны к соответствующим штырькам платы, в качестве которых использованы контакты диаметром 1 мм от разъема 2РМ. К освободившимся ламелям подключены проводники питания 220 В платы, фоторезистор подключен двумя свитыми проводами непосредственно к контактам платы.

Регулировку устройства вначале проводят от источника питания с напряжением, несколько меньшим напряжения стабилизации VD3, подключив его параллельно указанному стабилитрону. Фоторезистор следует затенить так, чтобы его освещенность была близка к

той, при которой должно происходить включение уличного освещения. Подключив вольтметр к выходу ОУ и минусовому выводу С3 и вращая движок подстроечного резистора R4, проверить, что напряжение на выходе изменяется скачком где-то в средней части диапазона регулировки. Если переключения не происходит, следует вольтметром с входным сопротивлением не менее 10 МОм проверить напряжение на фоторезисторе - оно должно быть близко к половине от напряжения на конденсаторе С3. Если это не так, подобрать резистор R1.

При затемненном или отключенном фоторезисторе подать сетевое напряжение, реле должно сработать. Соблюдая осторожность, проверить напряжение на его обмотке. Оно должно быть близко к номинальному для этого типа реле. Если это не так, подобрать емкость конденсатора С4.

Реле РПУ-2 имеет специальный виток, охватывающий часть сердечника и делающий реле нечувствительным к пульсациям напряжения питания. При применении других типов реле возможно придется поставить параллельно обмотке сглаживающий конденсатор емкостью порядка 1 мкФ.

Фоторезистор следует установить в защищенном от осадков месте так, чтобы на него не падал свет включаемых им ламп и солнечные лучи. Для выполнения последнего условия его можно сориентировать на север, прикрыв с запада и востока небольшими экранами.

Окончательную подстройку резистора R4 следует произвести на месте установки автомата, добиваясь включения реле при пороговой освещенности.

Если на месте R2 установить терморезистор и соответствующим образом подобрать R1, получится неплохой термостабилизатор.

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРЕВОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Описываемая здесь система предназначается для подачи сигналов тревоги от 12 источников, например, охранных датчиков пожарной сигнализации в садоводческих коллективах, по двум проводам на пульт индикации. Особенность системы - постоянный самоконтроль ее исправности.

Система состоит из двенадцати идентичных блоков кодирования с датчиками тревожного сигнала на их входах и пульта декодирования и индикации, соединенных между собой двухпроводной линией связи. Работая поочередно, каждый блок кодирования может выдавать сигнал "Норма" или "Тревога". Отсутствие сигналов от какого-либо

из блоков индицируется как неисправность этого блока или его датчика.

Для идентификации блоков кодирования используется числоимпульсный код - первый из них выдает в линию пачки из трех импульсов, второй - из четырех, двенадцатый - из 14-ти. В состоянии "Норма" длительность импульсов в пачке равна длительности пауз между ними. Блок кодирования, на вход которого от датчика поступил сигнал тревоги, выдает импульсы втрое большей длительности при сохранении пауз.

Блоки кодирования построены так, что для выдачи сигнала "Норма" или "Тревога" они автоматически выстраиваются в очередь в порядке возрастания числа импульсов в сигнале. Выключение, отсутствие или неисправность какого-либо из них, из-за чего прекращается выдача импульсов, не приводят к нарушению работы других блоков кодирования. В предельном случае возможна работа даже одного блока.

Система построена на микросхемах серий K176 и K561. Для повышения помехоустойчивости амплитуда импульсов в линии выбрана равной 50 В.

Каждый из блоков кодирования (рис. 86) работает следующим образом. На его вход "Линия" от других блоков системы приходят пачки импульсов отрицательной (относительно источника напряжения + 50 В) полярности амплитудой 50 В. Делитель R1R2 приводит их к нормальному для микросхем КМОП уровню. Цепь DD1.2, R5, C1 подавляет короткие импульсные помехи и обеспечивает импульсам пачки крутые фронты. Элемент DD1.3, диод VD1, резистор R6 и конденсатор C2 формируют импульс отрицательной полярности, фронт которого совпадает с фронтом первого импульса в пачке на выходе элемента DD1.2, а спад несколько задержан относительно спада последнего импульса пачки. Формирователь DD1.4, R7, C3 по фронту и спаду импульса на выходе элемента DD1.3 вырабатывает короткий импульс положительной полярности, который, пройдя через элементы DD2.1 и DD2.2, останавливает счетчики DD3 и DD5 в нулевое состояние. Счетчик DD5 во время паузы между пачками считает тактовые импульсы, следующие с частотой 256 Гц, измеряя таким образом длительность паузы между пачками.

Тактовые импульсы формируются кварцованным генератором на элементе DD1.1 с делителем их частоты на микросхеме DD3, что обеспечивает высокую стабильность работы системы и исключает необходимость дополнительной настройки генератора. Работа делителя DD3, входящего в генератор, синхронизирована с началом и концом пачки импульсом, поступающим на его вход R.

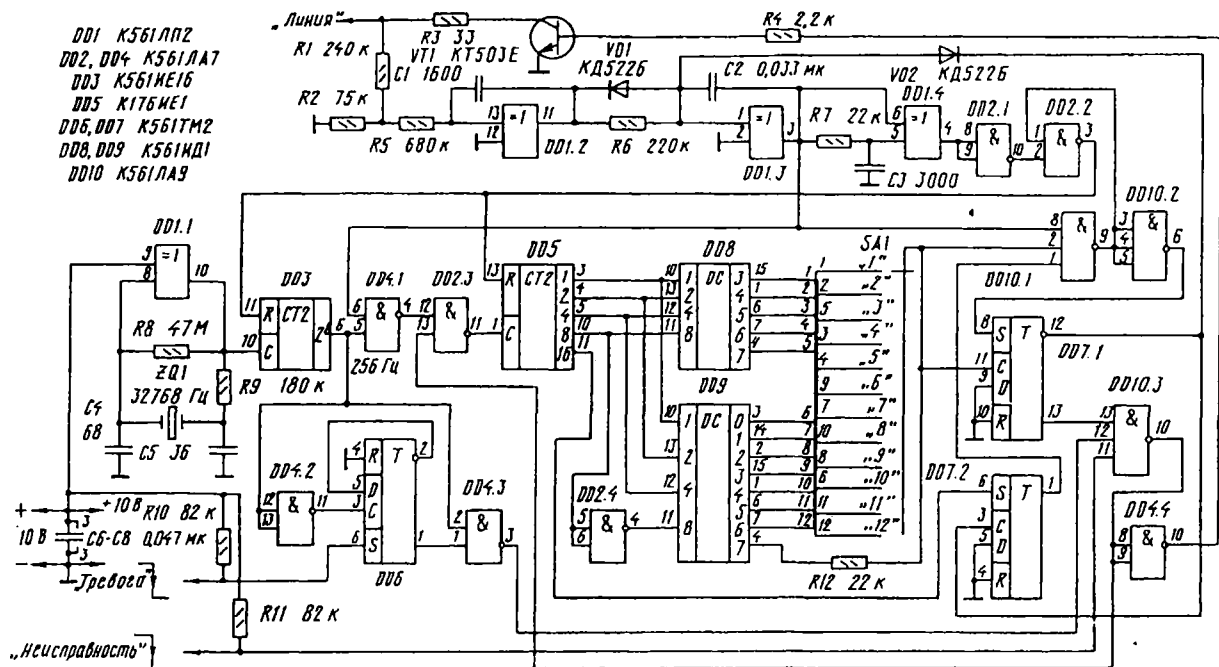


Рис. 86. Принципиальная схема блока кодирования

Если длительность паузы превышает 16 периодов тактовых импульсов, сигналом с выхода 16 счетчика DD5 D-триггер DD7.2 устанавливается в единичное состояние (это происходит одновременно во всех блоках кодирования), после чего продолжается измерение паузы (рис. 87). И если подвижный контакт переключателя SA1 находится в положении "1", то спустя три импульса после переключения этого триггера сигнал лог. 1 с выхода 3 дешифратора DD8 включает элемент DD10.1, лог. 0 с его выхода через элемент DD2.2 устанавливает счетчики DD3, DD5 в нулевое состояние, а D-триггер DD7.1 - в единичное. Сигнал лог. 1 с прямого выхода триггера DD7.1 разрешает прохождение тактовых импульсов через элементы DD10.3 и DD4.4 на базу транзистора VT1. При этом на коллекторе транзистора формируется пачка из трех импульсов отрицательной полярности.

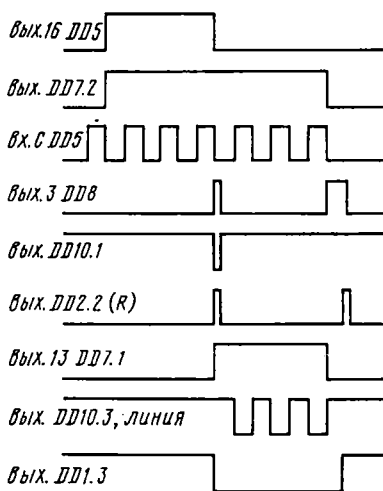


Рис. 87. Временная диаграмма работы блока кодирования

блоке декодирования и индикации (R46 на рис. 88). Счетчик DD5 считает импульсы пачки, приходящие на его вход С через элемент DD2.3. По окончании третьего импульса на выходе 3 дешифратора DD8 появляется лог. 1. Этот сигнал не включает элемент DD10.1, так как на выходе элемента DD1.3 лог. 0, но устанавливает триггер DD7.1 в нулевое состояние, что, в свою очередь, переводит триггер DD7.2 в такое же состояние. В результате блок кодирования прекращает выдачу импульсов до появления паузы в 16 импульсов, которая во всех блоках кодирования переключает триггеры DD7.2 и активизирует их работу.

В том случае, если во втором блоке кодирования переключатель SA1 установлен в положение "2", то после паузы в четыре импульса этот блок выдаст пачку в четыре импульса и также прекратит работу до появления паузы в 16 импульсов. Следующим сработает блок, в котором переключатель SA1 находится в положении "4", и выдаст пять импульсов, и т. д. Несоответствие порядка работы блоков положениям переключателей не принципиально и обусловлено лишь упрощением разводки печатных плат.

После срабатывания последнего блока триггеры DD7.1 всех блоков устройства запрещают выдачу импульсов. Возникает пауза в 16 импульсов, активизирующая работу всех блоков, и цикл работы устройства повторяется.

Длительность полного цикла работы всех блоков кодирования при частоте тактовых импульсов 256 Гц чуть меньше 1 с.

Диод VD2 включает формирователь на элементе DD1.3 в момент начала первого импульса собственной пачки блока. Без диода первый импульс пачки получается несколько большей длительности из-за задержки фронтов импульсов в формирователе на элементе DD1.2.

В зависимости от положения переключателя SA1 блок кодирования выдает от 3 до 14 импульсов в пачках. На случай нарушения контакта в переключателе введен резистор R12, обеспечивающий выдачу пачки в 15 импульсов. Если такого резистора не будет, то при нарушении контакта в переключателе возможна непрерывная подача импульсов блоком в линию, что нарушит работу системы в целом.

Так работают блоки кодирования в состоянии "Норма". Если, однако, на входе "Тревога" какого-либо блока появляется сигнал лог. 0, то триггер DD6, ранее заблокированный по входу S, переходит в режим деления частоты на 2. В этом случае длительность генерируемых импульсов в пачке увеличивается в три раза при сохранении интервалов между ними, а число импульсов сохраняется. Из-за отсутствия синхронизации работы триггера DD6 с моментом начала выдачи пачки первый ее импульс в режиме "Тревога" может быть как утроенной, так и нормальной длительности. Если сигнал лог. 0 приходит на вход "Неисправность", то выдача импульсов этим блоком прекращается.

Схема блока декодирования и индикации приведена на рис. 88 и 89. Элементы DD4.1, DD4.2, DD1.2, DD1.3, счетчики DD2 и DD3 работают так же, как подобные детали блоков кодирования. Обнуляющие их импульсы формируются цепью C5R7 в начале принимаемой блоком пачки импульсов (рис. 90). В конце пачки формируется последовательность из двух импульсов - первый на выходе элемента DD4.3 стробирует дешифраторы DD9-DD12, а следующий за ним второй устанавливает счетчики DD2, DD3, RS-триггер из элементов DD5.4, DD6.1 в нулевое состояние. После прихода пачки в счетчике DD3 будет записано число импульсов в ней, а в момент окончания пачки при стробировании дешифраторов на соответствующем выходе дешифратора DD9 или DD10 появляется положительный импульс, который устанавливает один из 12-ти RS-триггеров микросхем DD13-DD15 в единичное состояние.

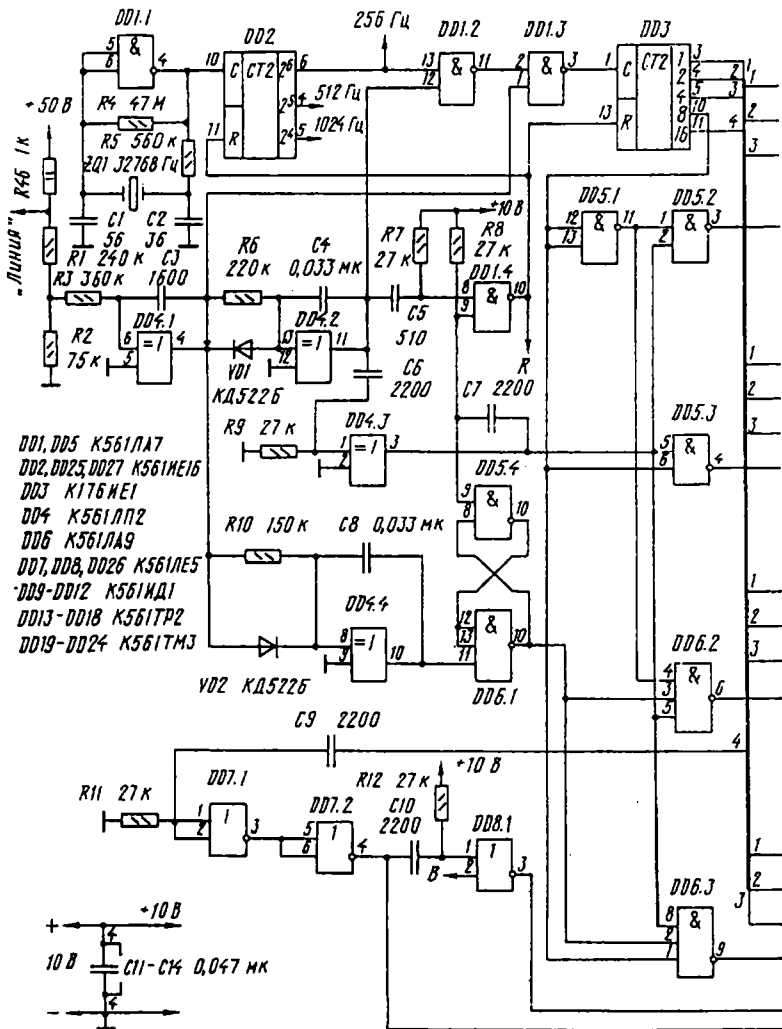
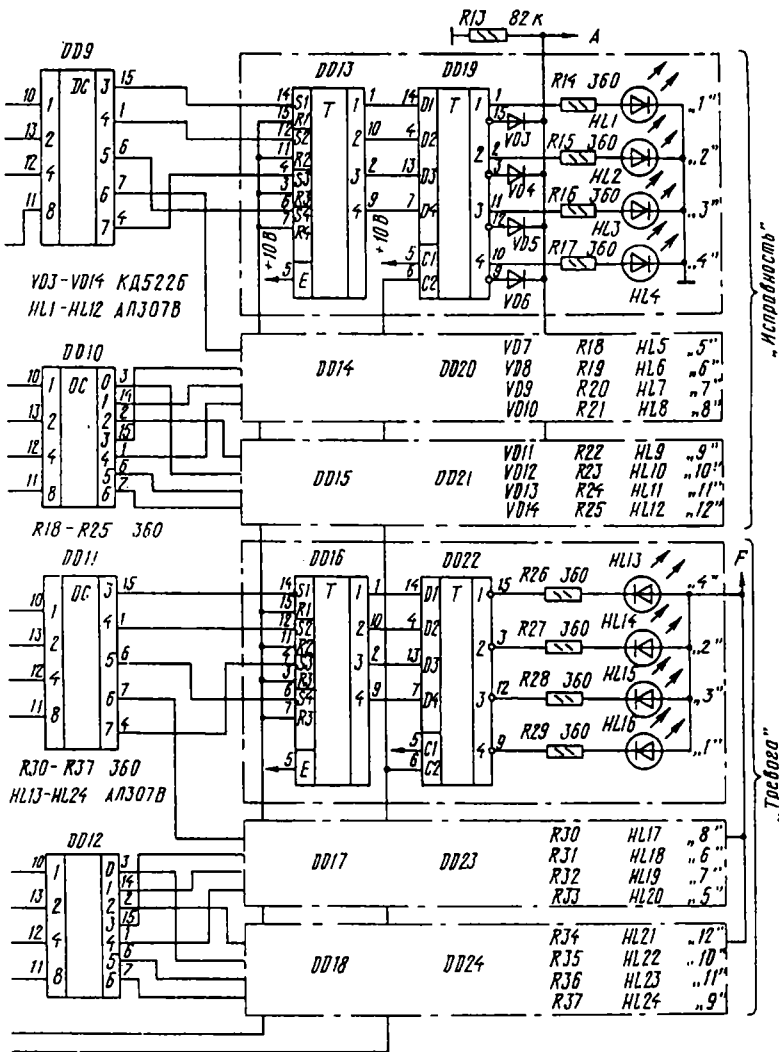


Рис. 88. Принципиальная схема блока



декодирования и индикации

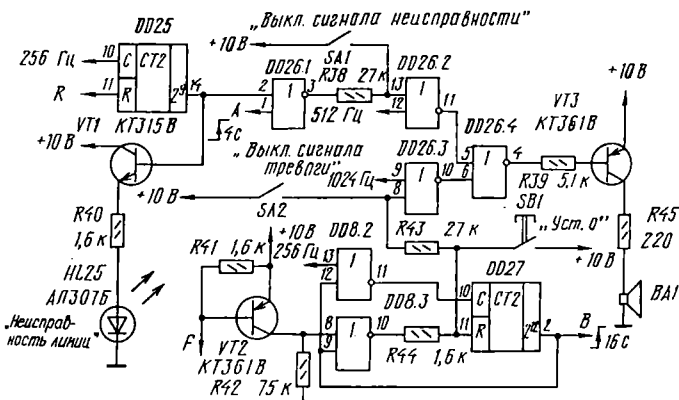


Рис. 89. Узел сигнализации блока декодирования и индикации

После выдачи всеми блоками кодирования "своих" пачек импульсов разной длительности все 12 RS-триггеров микросхем DD13-DD15 установятся в единичное состояние. При паузе, соответствующей 16 тактам, на выходе 16 счетчика DD3 появится лог. 1, формирующая последовательность из двух импульсов. Первый из них, возникающий на выходе элемента DD7.2, переписывает состояния триггеров микросхем DD13-DD18 в триггеры микросхем DD19-DD24, в результате чего вспыхнут зеленые светодиоды HL1-HL2, индицируя исправность блоков кодирования и их датчиков. Второй же из этих импульсов, появившийся на выходе элемента DD8.1, установит триггеры микросхем DD13-DD18 в нулевое состояние.

В случае появления пачки импульсов утроенной длительности - сигнал "Тревога" - по первому же ее импульсу срабатывает формирователь на элементе DD4.4 и диоде VD2, его выходной сигнал установит RS-триггер DD5.4DD6.1 в единичное состояние, что разрешит стробирование дешифраторов DD11, DD12. В результате после окончания пачки импульсов соответствующий триггер микросхем DD16 - DD18 установится в единичное состояние, RS-

триггер DD5.4DD6.1 - в исходное состояние, а после паузы в 16 тактов переключится в единичное состояние один из триггеров микросхем DD22 - DD24 и включит соответствующий ему красный светодиод HL13 - HL24, индицирующий тревогу.

Если в каком-либо из блоков кодирования или его датчике окажется неисправность, то соответствующий

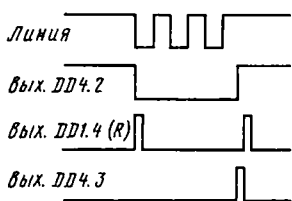


Рис. 90. Временная диаграмма работы блока декодирования и индикации

ему зеленый светодиод не включится, а на резисторе R13 возникнет лог. 1. Этот сигнал переключит элемент DD26.1 в нулевое состояние, что, в свою очередь, разрешит прохождение импульсов частотой 512 Гц через элементы DD26.2, DD26.4 и транзистор VT3 к звукоизлучателю BA1. Звуковой сигнал излучателя может быть отключен тумблером SA1.

Микросхема DD25 считает импульсы, следующие частотой 256 Гц, и устанавливается в нулевое состояние в начале каждой пачки импульсами, поступающими на ее вход R. Если пачки импульсов в линии отсутствуют в течение 4 с или импульсы идут непрерывно, импульсы обнуления счетчика DD25 не вырабатываются и на его выходе формируются импульсы длительностью 4 с с таким же интервалом между ними. Теперь мигает красный светодиод HL25 "Неисправность линии", звучит головка BA1, сигнал которой также можно отключить тумблером SA1.

При нажатии на кнопку SB1 счетчик DD27 устанавливается в нулевое состояние и фиксируется в нем, так как в это время на обоих входах элемента DD8.3 присутствует лог. 0. При сигнале "Тревога" включается транзистор VT2, а сигнал лог. 0 с выхода элемента DD8.3 разрешает работу счетчика DD27. Импульсы частотой 1024 Гц проходят через элементы DD26.3 и DD26.4 на звукоизлучатель BA1 - раздается звуковой сигнал, который можно отключить тумблером SA2. Если длительность сигнала "Тревога" не превышает 16 с, то после его окончания счетчик фиксируется в нулевом состоянии, что обеспечивает выключение звукового сигнала при случайном срабатывании системы. При длительности сигнала "Тревога" более 16 с лог. 1 с выхода 212 счетчика DD27 запрещает дальнейший счет и предотвращает обнуление его при снятии сигнала "Тревога". Кроме того, лог. 1 с того же выхода счетчика поступает на вход элемента DD8.1 и запрещает установку RS-триггеров микросхем DD13 - DD18 в нулевое состояние, что не позволяет погаснуть светодиодам, индицирующим номера сработавших датчиков, но позволяет включиться другим светодиодам. Такое состояние устройства поддерживается до нажатия на кнопку SB1.

Блоки кодирования собраны на двусторонних печатных платах размерами 55 × 95 мм, а блок декодирования и индикации - на плате размерами 130 × 130 мм. Никакого налаживания блоки не требуют. Проверить же их работоспособность можно поочередным подключением блоков кодирования к блоку декодирования и сигнализации и установкой переключателей SA1 блоков кодирования в различные положения.

Ток, потребляемый одним блоком кодирования от источника стабилизированного напряжения 8...10 В, не превышает 1 мА, а потребляемый блоком декодирования и индикации от источника такого же напряжения определяется числом одновременно включенных светодиодов, а также сигналом "Тревога", и может быть 100...200 мА. От источника питания + 50 В ток потребляет только резистор R46 (рис. 87), он составляет в среднем 20...25 мА.

Автором проверена работа системы при длине двухпроводной линии связи 200 м. Если для линии связи использовать экранированный провод, то можно обойтись без источника + 50 В, уменьшив сопротивление резистора R46 до 330 Ом (0,5 Вт) и подключив его верхний (по схеме на рис. 88) вывод к источнику + 10 В. При этом делители R1R2 во всех блоках и резистор R3 (см. рис. 86) следует исключить. Более того, по тому же проводу можно питать блоки

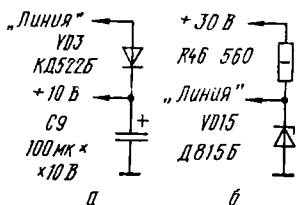


Рис. 91. Питание блоков кодирования по сигнальному проводу

кодирования, дополнив их элементами по схеме рис. 91,а, а блок декодирования и индикации - по схеме рис. 91,б. Линия связи необязательно должна быть проводной. Можно, например, каждый блок кодирования дополнить радиопередатчиком, манипулируемым выходным сигналом с коллектора транзистора VT1, и радиоприемником, выходной сигнал которого через резистор R5 поступает на вход 13 элемента DD1.2, а блок декодирования и индикации - радиоприемником. Все эти радиоприемники настраивают на одну частоту.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

МИКРОСХЕМЫ - СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Одним из важных узлов любой радиоэлектронной аппаратуры является стабилизатор напряжения питания. Еще совсем недавно такие узлы строились на стабилитронах и транзисторах. Общее число элементов стабилизатора было довольно значительным, особенно, если от него требовались функции регулировки выходного напряжения, защиты от перегрузки и короткого замыкания, ограничения выходного тока на заданном уровне. С появлением специализированных микросхем ситуация изменилась. Современные микросхемы стабилизаторов напряжения выпускаются на широкий диапазон выходных напряжений и токов, они имеют встроенную защиту от перегрузки по току и от перегрева - при нагреве кристалла микросхемы свыше допустимой температуры она закрывается и ограничивает выходной ток. В табл. 2 приведен перечень наиболее распространенных на отечественном рынке микросхем линейных стабилизаторов напряжения на фиксированное выходное напряжение и их некоторые параметры, на рис. 92 - разводка выводов. Буквы хх в обозначении конкретной микросхемы заменяются на одну или две цифры, соответствующие напряжению стабилизации в вольтах, для микросхем серии КР142ЕН - на цифробуквенный индекс, указанный в таблице. Микросхемы зарубежных изготовителей серий 78хх, 79хх, 78Мхх, 79Мхх, 78Lхх, 79Lхх могут иметь различные префиксы (указывают фирму-изготовитель) и суффиксы, определяющие конструктивное оформление (оно может отличаться от приведенного на рис. 92) и температурный диапазон. Следует иметь в виду, что сведения о рассеиваемой мощности при наличии теплоотвода в паспортных данных обычно не указаны, поэтому здесь даны некоторые усредненные величины из графиков, приведенных в документации. Отметим также, что для микросхем одной серии, но на разные напряжения, значения рассеиваемой мощности могут также отличаться друг от друга. Более подробные сведения о некоторых сериях отечественных микросхем можно найти в литературе [10 - 14]. Исчерпывающая информация по микросхемам для линейных источников питания опубликована в [15].

Таблица 2

Максимальный ток, А	Полярность	Серия	Рассеиваемая мощность, Вт	Напряжение, В											
				5	6	8	9	12	15	18	20	24	27		
0,1	+	78Lxx	0,5	+	+	+	+	+	+	+			+		
	-	KP1168xx		+	+	+	+	+	+						
		79Lxx		+				+	+	+			+		
	+	KP1157EHxx01A(Б)		+	+	+	+	+	+	+				+	+
		KP1157EHxx02A(Б)		+	+	+	+	+	+	+				+	+
		KP1157EHxxA(Б)		+			+	+	+	+				+	
0,25		KP1157EHxxB(Г)	1,3	+			+	+	+	+		+			
0,5	+	78Mxx	7,5	+	+	+		+	+			+	+		
	-	79Mxx		+	+	+		+	+			+	+		
2(1,5)	+	KP142EHxx	10	5A(В)	5Б(Г)		8А(Г)	8Б(Д)	8В(Е)			9А(Г)	9Б(Д)	9В(Е)	
1,5		KP1180EHxx		+	+	+	+	+	+				+		
1, 1,5		78xx		+	+	+		+	+	+				+	
1,5		KP1162EHxx		+	+	+	+	+	+	+				+	
	KP1179EHxx	+		+	+		+	+					+		
1, 1,5	-	79xx		+	+	+		+	+	+			+		

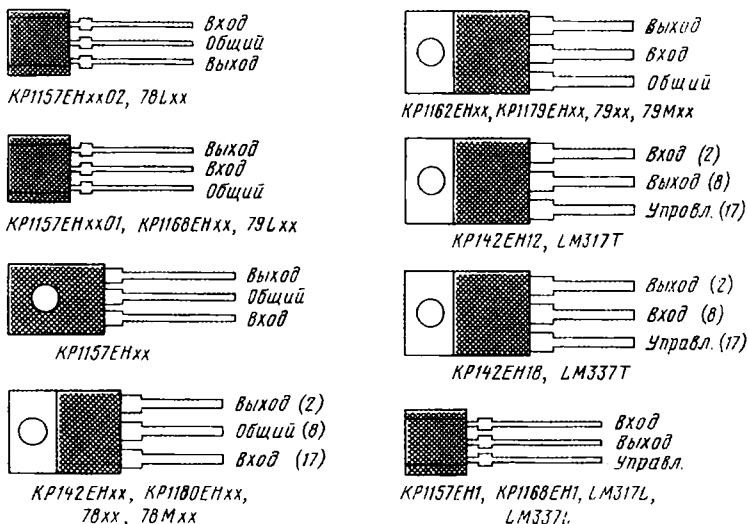


Рис. 92. Разводка выводов микросхем - стабилизаторов напряжения

Типовая схема включения микросхем на фиксированное выходное напряжение приведена на рис. 93. Для всех микросхем емкость конденсатора С1 должна быть не менее 2,2 мкФ для керамических или танталовых и не менее 10 мкФ для алюминиевых оксидных конденсаторов. Емкость конденсатора С2 должна быть не менее 1 и 10 мкФ для аналогичных типов конденсаторов соответственно. Для некоторых микросхем емкости могут быть и меньше, но указанные величины гарантируют устойчивую работу для любых микросхем. В качестве С1 может использоваться сглаживающий конденсатор фильтра, если он расположен не далее 70 мм от микросхемы. В [15] можно найти множество схем включения для различных вариантов использования микросхем - для обеспечения большего выходного тока, подстройки выходного напряжения, введения других вариантов защиты, использования микросхем в качестве генератора тока.

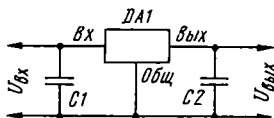


Рис. 93. Типовая схема включения микросхем на фиксированное выходное напряжение

Если необходимы нестандартное напряжение стабилизации или плавная регулировка выходного напряжения, удобно использовать трехвыводные регулируемые микросхемы, поддерживающие напряжение 1,25 В между выходом и управляющим выводом. Их параметры приведены в табл. 3, а типовая схема включения для стабилизаторов положительного напряжения - на рис. 94.

Таблица 3

Максимальный ток, А	Полярность	Микросхема	Рассеиваемая мощность, Вт
0,1	+	KP1157EH1	0,6
		LM317L	0,625
	-	KP1168 EH1	0,5
		LM337L	0,625
1,5(1)	+	KP142EH12A(Б)	10
1,5		LM317Г	15
1(1,5)	-	KP142EH18A(Б)	10
1,5		LM337Г	15

Резисторы R1 и R2 образуют внешний регулируемый делитель, входящий в цепь установки выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, которое определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = 1,25(1 + R2/R1) + I_{\text{потр}} R2,$$

где $I_{\text{потр}}$ - собственный ток потребления микросхемы, составляющий 50...100 мкА. Число 1,25 в этой формуле - это упомянутое выше напряжение между выходом и управляющим выводом, которое поддерживает микросхема в режиме стабилизации.

Следует иметь в виду, что, в отличие от стабилизаторов на фиксированное выходное напряжение, регулируемые микросхемы без нагрузки не работают. Минимальное значение выходного тока таких микросхем составляет 2,5...5 мА для маломощных микросхем и 5...10 мА - для мощных. В большинстве применений для обеспечения необходимой нагрузки достаточно тока делителя R1R2.

Принципиально по схеме рис. 94 можно включать и микросхемы с фиксированным выходным напряжением, но их собственный ток потребления значительно больше (2...4 мА) и он менее стабилен при изменении выходного тока и входного напряжения.

Для снижения уровня пульсаций, особенно при высоких выходных напряжениях, рекомендуется включать сглаживающий конденсатор C2 емкостью 10 мкФ и более. К конденсаторам C1 и C3 требования такие же, как и к соответствующим конденсаторам для микросхем с фиксированным выходным напряжением.

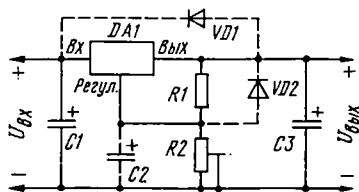


Рис. 94. Типовая схема включения регулируемых микросхем-стабилизаторов положительного напряжения

Диод VD1 защищает микросхему при отсутствии входного напряжения и подключении ее выхода к источнику питания, например, при зарядке аккумуляторных батарей или от случайного замыкания входной цепи при заряженном конденсаторе C3. Диод VD2 служит для разрядки конденсатора C2 при замыкании выходной или входной цепи и при отсутствии C2 не нужен.

Приведенные сведения служат для предварительного выбора микросхем, перед проектированием стабилизатора напряжения следует ознакомиться с полными справочными данными, хотя бы для того, чтобы точно знать максимально допустимое входное напряжение, достаточна ли стабильность выходного напряжения при изменении входного напряжения, выходного тока или температуры. Можно отметить, что все параметры микросхем находятся на уровне, достаточном для подавляющего числа случаев применения в радиолюбительской практике.

Заметных недостатков у описанных микросхем два - довольно высокое минимально необходимое напряжение между входом и выходом - 2...3 В и ограничения на максимальные параметры - входное напряжение, мощность рассеяния и выходной ток. Эти недостатки часто не играют роли и с лихвой окупаются простотой применения и низкой ценой микросхем.

Несколько конструкций стабилизаторов напряжения с использованием описанных микросхем рассмотрено далее.

ЛАБОРАТОРНЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ

При настройке аппаратуры в радиолюбительской практике полезно иметь стабилизированные источники питания с плавной регулировкой выходного напряжения от нуля, что реализовано в описываемых далее устройствах. Максимальный выходной ток блоков - 1 А, для второго варианта ограничение тока может быть плавно установлено от единиц миллиампер до указанной величины. Блоки защищены от перегрузки и перегрева элементами использованной микросхемы KP142EH12A.

Принципиальная схема первого варианта блока приведена на рис. 95. Напряжение со вторичной обмотки трансформатора T1 выпрямляется диодным мостом VD1, сглаживается конденсатором C3 и стабилизируется микросхемой DA1. Для уменьшения рассеиваемой на микросхеме мощности вторичная обмотка выполнена с отводами, выбираемыми переключателем SA1. В верхнем и среднем положениях SA1 (диапазоны выходных напряжений 13...20 и 6,5...13,5 В) включение микросхемы DA1 стандартно. На диапазоне 0...7 В нижний по схеме вывод переменного резистора R3 подключен к

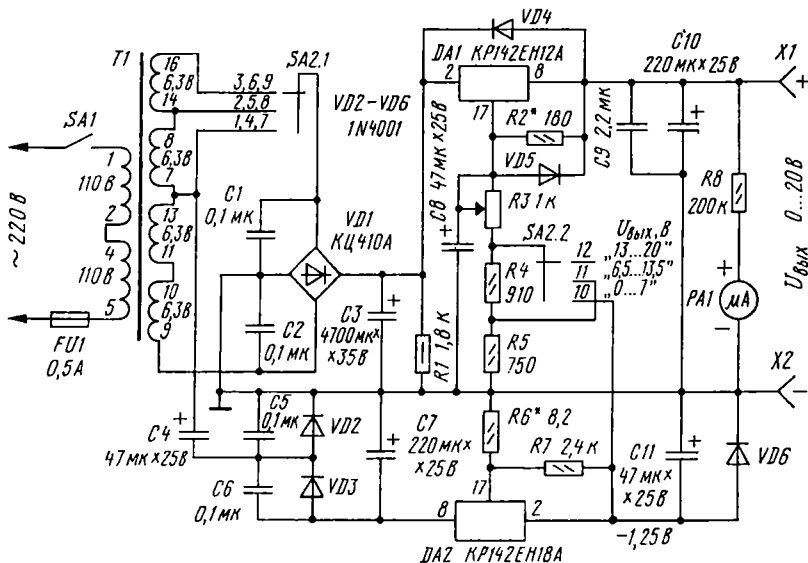


Рис. 95. Принципиальная схема первого варианта блока питания

источнику питания $-1,25$ В, собранном на микросхеме DA2. В результате выходное напряжение микросхемы DA1 сдвинуто на $1,25$ В вниз и регулируется от нуля.

В конструкции использован трансформатор ТН32, имеющий четыре вторичные обмотки по $6,3$ В. Для источника отрицательного напряжения свободной обмотки нет, поэтому его выпрямитель собран по нестандартной схеме на диодах VD2 и VD3. Внешне она напоминает выпрямитель с удвоением напряжения, но ни один из выводов вторичных обмоток трансформатора T1 не подключен к общему проводу.

При такой схеме выпрямителя напряжение на конденсаторе C7 примерно равно полной амплитуде (от пика до пика) напряжения относительно общего провода на том отводе вторичной обмотки, к которому подключен конденсатор C4. Поскольку с общим проводом при одном полупериоде соединяется один из выводов вторичной обмотки, а при следующем - другой, амплитуда напряжения на выбранном отводе зависит от положения переключателя SA2. В результате на диапазоне $0...7$ В напряжение на конденсаторе C7 соответствует по абсолютной величине напряжению на конденсаторе C6 (примерно $12...15$ В), составляет около 5 В при среднем положении SA2 и равно нулю при верхнем положении.

Интересна роль резистора R1. Для нормальной работы выпрямителей необходимо, чтобы токовая нагрузка моста VD1 по крайней

мере в два раза превышала нагрузку VD2, VD3, что и обеспечивает этот резистор. Без него после включения зарядившиеся до своих нормальных напряжений конденсаторы C3 и C7 начинают перезаряжаться - напряжение на конденсаторе C3 медленно повышается, на конденсаторе C7 - падает.

Конденсаторы C1, C2, C5 и C6 устраняют высокочастотные помехи, возникающие в момент закрывания диодов, C8 уменьшает выходное сопротивление блока по переменному току и снижает выбросы напряжения на выходе в моменты переключения диапазонов. Диоды VD4 - VD6 защищают микросхемы при переходных процессах и в аварийных режимах.

Почти все элементы блока размещены на печатной плате из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм (рис. 96). Используются резисторы МЛТ, R3 - проволочный, типа ППЗ-40. Последовательно с ним можно установить еще один переменный резистор сопротивлением 51 Ом, что облегчит точную установку значения выходного напряжения. Оксидные конденсаторы - импортные аналоги K50-35, C3 установлен параллельно печатной плате. Плата позволяет использовать и отечественные указанного типа, однако в этом случае в качестве C3 придется установить четыре конденсатора 1000 мкФх40 В. Возможно использование и конденсаторов с осевыми выводами, для чего на плате предусмотрены соответствующие отверстия.

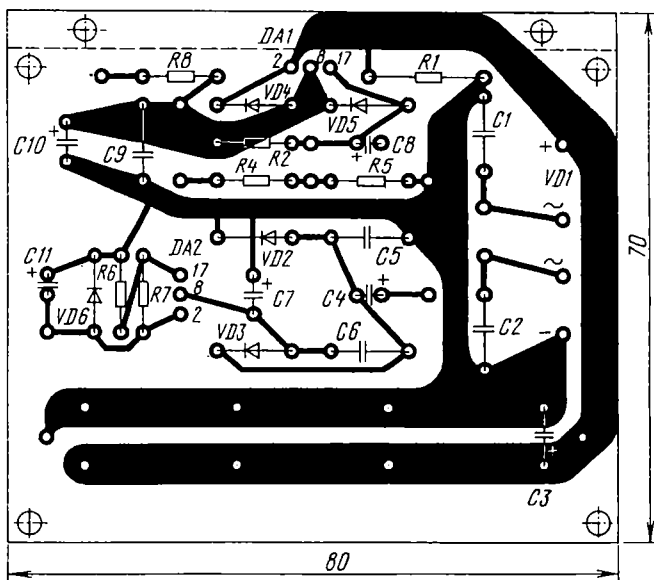


Рис. 96. Печатная плата первого варианта блока питания

Остальные конденсаторы - КМ-6, К10-17 или другие керамические. При монтаже блока были использованы диоды 1N4001 от разобранного импортного устройства, их вполне можно заменить на любые малогабаритные импульсные или выпрямительные диоды, например, КД103А или КД522Б. Вместо VD1 подойдет любой выпрямительный мост на выходной ток не менее 1 А, например, КЦ402 или КЦ405 с любыми буквенными индексами, кроме Ж и И. Мост можно собрать и из любых диодов на рабочий ток 1 А, например, КД243А - Ж (отечественный аналог диодов 1N4001 - 1N4007).

Микросхема DA1 установлена на игольчатый теплоотвод размерами 20 × 80 × 55 мм, он закреплен на печатной плате двумя винтами M2,5 и выступает за ее габариты.

Плата, трансформатор и остальные элементы устройства установлены в пластмассовую коробку размерами 70 × 95 × 150 мм. При этом теплоотвод расположен у боковой стенки большего размера. В ней напротив теплоотвода просверлено 35 вентиляционных отверстий диаметром 6 мм с шагом 10 мм.

Выключатель SA1 и предохранитель FU1 установлены на боковой стенке, микроамперметр PA1 (M4248 на 100 мкА), переключатель SA2 (ПГ2-17-3П4Н), резистор R3 и выходные гнезда - на крышке.

Настройка блока сводится к подбору резисторов R2, R4, R5 для получения на выходе напряжений, указанных на схеме у переключателя SA1. Если резисторы установлены с допуском 5%, то подбор может потребоваться только для R2, его удобно установить указанной на схеме величины и подбирать параллельно подключаемый ему резистор. Резисторы R6, R7 необходимы для точной установки выходного напряжения 0 В для случая, когда выходное напряжение микросхемы DA2 меньше (по абсолютной величине), чем DA1. При указанном сопротивлении R7 увеличение сопротивления резистора R6 на 1 Ом уменьшает напряжение на выходе блока на 0,5 мВ. Если такая точность установки нулевого напряжения не нужна или выходное напряжение микросхемы DA2 больше, чем DA1, вместо резистора R6 следует поставить перемычку.

Если не требуется регулировка выходного напряжения от нуля или микросхемы KP142EH18A нет, часть элементов устройства, расположенных по схеме рис. 95 ниже общего провода, не устанавливают.

Самостоятельно трансформатор для рассматриваемого блока удобно изготовить, используя в качестве основы трансформатор питания от лампового радиоприемника, радиолы или телевизора. Все вторичные обмотки такого трансформатора следует аккуратно смотать (они обычно намотаны поверх первичной). При этом следует подсчитать число витков накальной обмотки, она намотана самым

толстым проводом. После этого следует намотать изолированным проводом диаметром 0,7...0,9 мм три обмотки - первую (выводы 9 - 13 на рис. 95) с вдвое большим числом витков, чем у накальной, и две с таким же, как накальная (выводы 7 - 8 и 14 - 16). Если у используемого трансформатора две различных накальных обмотки, следует ориентироваться на обмотку с большим числом витков. Обмотка с меньшим числом витков служила для питания нити накала кенотрона, напряжение на ней - 5 В.

При изготовлении трансформатора для источника отрицательного напряжения лучше намотать еще одну обмотку проводом диаметром 0,15...0,3 мм с тем же, что и остальные, или несколько меньшим числом витков. В этом случае выпрямитель для него можно сделать по однополупериодной схеме, а стабилизатор - на микросхеме КР142ЕН12А. Из двух однотипных микросхем можно выбрать одну с меньшим напряжением стабилизации и установить ее на место DA1, резисторы R6 и R7 при этом становятся излишними.

Схема второго варианта блока питания приведена на рис. 97. Основное отличие от описанного выше блока заключается во введении операционного усилителя DA2 и установке микросхемы стабилизатора отрицательного напряжения -6 В вместо -1,25 В. Пока выходной ток достаточно мал и падение напряжения на токоизмерительном резисторе R2 меньше, чем установлено резистором R3, на

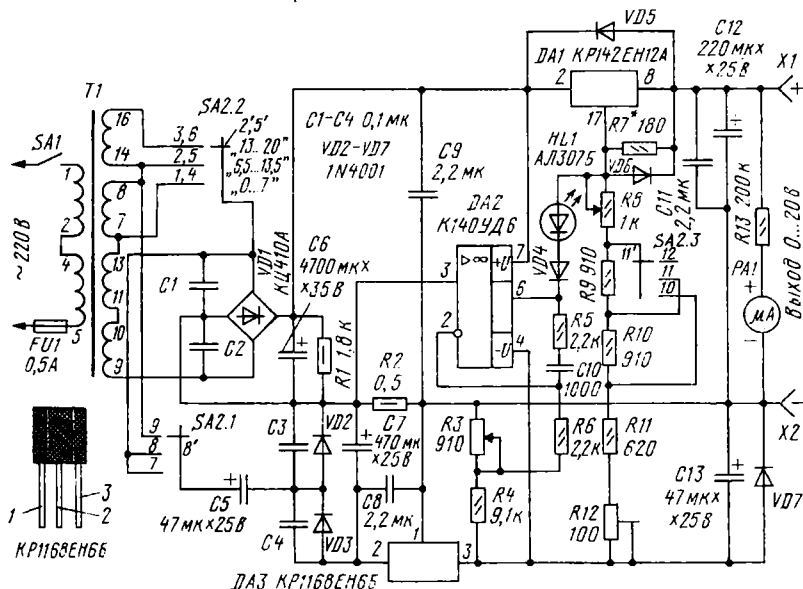


Рис. 97. Принципиальная схема второго варианта блока питания

выходе 6 ОУ напряжение близко к напряжению на входе микросхемы DA1 (вывод 2), диод VD4 закрыт и ОУ не участвует в работе устройства. Если падение напряжения на R2 станет больше, чем на R3, напряжение на выходе DA2 снизится, откроется диод VD4, напряжение на выходе блока уменьшится до ограничения тока до установленной величины. Переход блока в режим стабилизации тока индицируется включением светодиода HL1.

Так как в режиме короткого замыкания напряжение на выходе ОУ должно быть меньше, чем $-1,25$ В, на величину падения напряжения на диоде VD4 и светодиоде HL1 (около 2,4 В в сумме), то напряжение отрицательного источника питания ОУ выбрано равным -6 В. Это напряжение необходимо при всех положениях SA2, пришлось переключать и вход выпрямителя VD2, VD3.

Микросхему KP1168EH6B можно заменить на аналогичную с индексом А, на 79L06, а также на KP1162EH6A(Б), KP1179EH06, 7906, но у них габариты и расстояние между выводами больше (как у KP142EH12A), цоколевка совпадает. Микросхема K140УД6 заменима на KP140УД608, K140УД7, KP140УД708. Светодиод HL1 может быть любого типа красного свечения. В качестве R2 автор установил четыре параллельно соединенных резистора C2-29 2 Ом, 0,125 Вт. К точности этого резистора никаких требований нет, его можно изготовить и самостоятельно из отрезка высокоомного провода. Резистор R12 - СП3-19а. Остальные элементы - те же, что и в первом

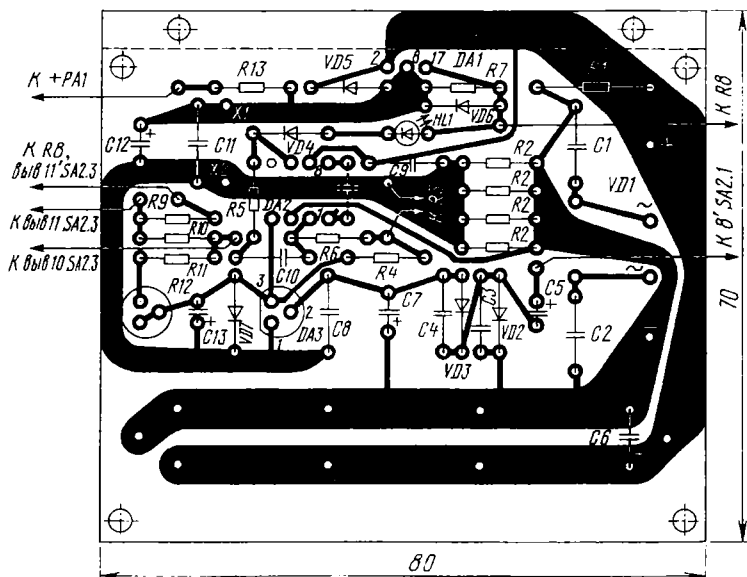


Рис. 98. Печатная плата второго варианта блока питания

варианте блока, аналогично и конструктивное оформление. Чертеж печатной платы приведен на рис. 98.

Сопротивления резисторов R3 и R4 могут отличаться от указанных на схеме в два раза, важно лишь, чтобы их соотношение было сохранено 1:10. Резистор R3 можно также заменить на два последовательно включенных, причем сопротивление второго должно составлять 5...10% от первого, это облегчит точную установку тока ограничения.

При настройке блока подбором резистора R7 устанавливают выходное напряжение 20 В и регулировкой R12 - 0 В. Поскольку эти регулировки взаимозависимы, их надо повторить несколько раз.

При пользовании источником в режиме стабилизатора тока переключатель SA2 следует устанавливать в положение, соответствующее минимальному напряжению, при котором в нагрузке обеспечивается необходимый ток. Блок будет стабилизировать ток и при положении SA2, обеспечивающем большее напряжение, но мощность, выделяемая на микросхеме DA1, может превысить предельно допустимую.

СЕТЕВЫЕ АДАПТЕРЫ

В магазинах, киосках подземных переходов, на радиорынках можно купить так называемые адаптеры, оформленные в виде большой сетевой вилки. Независимо от названия фирмы они, как правило, китайского производства. Адаптеры бывают двух видов - "универсальные" и специализированные. Универсальный адаптер

(рис. 99) содержит понижающий трансформатор T1 с большим числом отводов вторичной обмотки, переключатель SA1, выпрямительный мост, обычно из диодов 1N4001 (50 В, 1 А), сглаживающий конденсатор C1, индикатор включения в сеть - светодиод HL1 с ограничительным резистором R1, переключатель полярности выходного напряжения SA2 и набор выходных разъемов на конце кабеля (условно показан только один - X2). Число положений переключателя может быть меньшим, может отсутствовать индикатор включения в сеть. Специализированные адаптеры не имеют отводов вторичной обмотки, переключателя полярности, выходной разъем

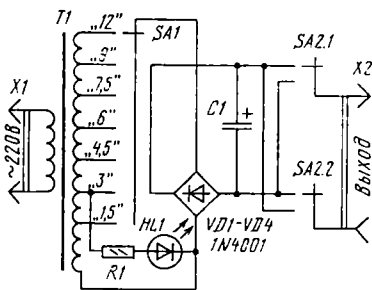


Рис. 99. Типовая схема универсального адаптера

Таблица 4

Тип адаптера	Выходное напряжение, В	Выходной ток, мА	Габаритные размеры, мм	Масса, г	Сердечник	Емкость конденсатора, мкФ	Число соединителей	Индикатор	Переключатель полярности
FIRST ITEM NO:57	1,5-3-4,5-6-7,5-9-12	1000	51 × 67 × 98	430	Ш16 × 22	1000	6	+	+
ELECA EAD-1000	1,5-3-4,5-6-7,5-9-12	1000	53 × 66 × 98	370	Ш16 × 18	2200	6	+	+
FIRST ITEM NO:22	3-4,5-6-7,5-9-12	500	49 × 59 × 79	250	Ш12 × 18	470	6	-	+
SLD MW108	3-4,5-6-7,5-9-12	500	50 × 56 × 73	180	Ш12 × 13	470	4	+	+
PPI-1280-TUV	12	800	49 × 59 × 88	450	-	1000	1	-	-
RW-900	10	850	46 × 59 × 83	340	Ш16 × 18	1000	1	-	-
*28	9	850	40 × 50 × 70	200	Ш12 × 15	1000	1	-	-

только один, как правило, нет индикатора включения.

Надписи на адаптерах обеспечивают очень хорошие характеристики, не подтверждающиеся, однако, на практике. На рис. 100 - 104 приведены зависимости выходного напряжения и напряжения пульсаций от выходного тока при напряжении сети 205 В для семи типов адаптеров, перечисленных в табл. 4. Выходные напряжения и токи в таблице указаны в соответствии с надписями на корпусе.

Какие выводы можно сделать из изучения этих характеристик? Во-первых, заявленные значения выходных напряжений обеспечиваются при выходных токах, значительно меньших, чем указано на корпусе - в два раза и более. Минимальное напряжение (1,5 и 3 В) адаптеры фирмы "FIRST" выдают при токах, составляющих 5% от приведенных на корпусе. Во-вторых, при токе, соответствующем максимальному, выходные напряжения падают в полтора-два раза (и более для малых выходных напряжений) относительно указанного.

Характеристику универсального адаптера SLD MW108 удалось снять только для положения переключателя выходного напряжения "12 В" (рис. 103). Во время измере-

ний трансформатор разогрелся до такой степени, что начала плавиться изолирующая пленка, намотанная поверх обмоток (и это при снятой верхней половине корпуса!). В то же время при подаче на первичную обмотку напряжения 150 В трансформатор без нагрузки практически не нагревался. Это говорит о том, что трансформатор рассчитан неправильно (если он вообще был рассчитан). Кроме того, уменьшение выходного напряжения при увеличении тока весьма велико, что говорит о большом сопротивлении обмоток трансформатора.

Лучшими параметрами, прежде всего наименьшим выходным сопротивлением, обладал адаптер PPI-1280-TUV. Им комплектовались активные громкоговорители для IBM PC. Адаптеры RW-900 и *28, по утверждению продавца, подходили только для приставок "Dendy". Их выходное сопротивление существенно больше. Из сравнения этих трех близких по заявленным характеристикам устройств можно сделать достаточно однозначный и очевидный вывод - чем больше масса адаптера, тем меньше его выходное сопротивление.

На рис. 103 приведена также характеристика для "адаптера", собранного из стандартного трансформатора ТПП211 [16] с включенными последовательно вторичными обмотками и диодного моста с конденсатором 1000 мкФ от одного из адаптеров. Выходное сопротивление его существенно меньше, чем у RW-900 или *28, но и масса намного больше.

При использовании адаптеров надо иметь в виду, что приведенные на рис. 100 - 104 графики иллюстрируют зависимости для среднего

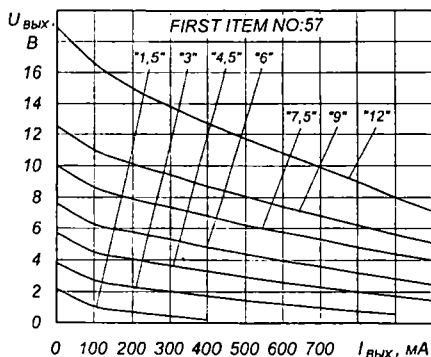


Рис. 100. Зависимости выходного напряжения от выходного тока для адаптера FIRST ITEM NO:57

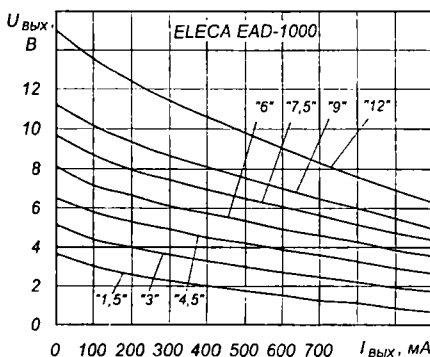


Рис. 101. Зависимости выходного напряжения от выходного тока для адаптера ELECA EAD-1000

При использовании адаптеров надо иметь в виду, что приведенные на рис. 100 - 104 графики иллюстрируют зависимости для среднего

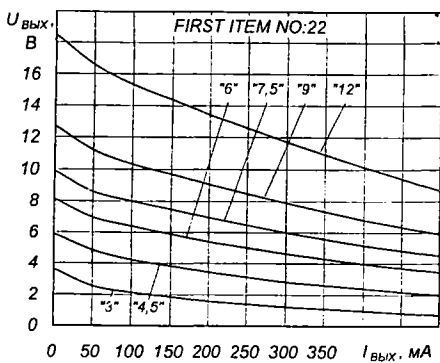


Рис. 102. Зависимости выходного напряжения от выходного тока для адаптера FIRST ITEM NO:22

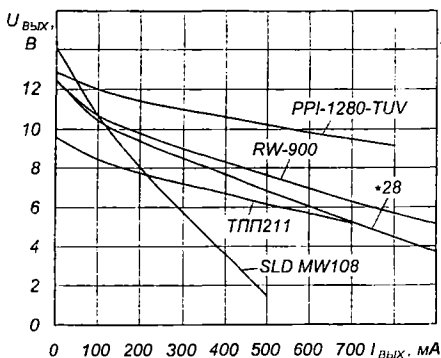


Рис. 103. Зависимости выходного напряжения от выходного тока для адаптеров SLD MW108, PPI-1280-TUV, RW-900, *28 и выпрямителя на основе трансформатора ТПП211

выходного напряжения. Реально на него наложено напряжение пульсаций, причем его форма при малых токах близка к пилообразной. На рис. 104 приведены зависимости двойной амплитуды пульсаций (от пика до пика) от выходного тока для части испытанных устройств. Для адаптеров фирмы "FIRST" приведены зависимости для двух положений переключателя SA1 - верхняя кривая соответствует положению "12", нижняя - "6". Как видно из этих графиков, зависимость амплитуды пульсаций от тока определяется в основном емкостью конденсатора фильтра.

Даже при токах, составляющих всего 10% от максимальной величины, напряжение пульсаций имеет величину порядка 0,5 В, что слишком много для питания какой-либо радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому использовать адаптеры без многократного увеличения емкости фильтрующего конденсатора или без стабилизаторов напряжения практически нельзя. Наиболее просто в качестве стабилизатора на фиксированное напряжение с "круглым" значением использовать микросхемы КР142ЕН5 и КР142ЕН8 с соответствующими буквенными индексами. Если требуемое выходное напряжение не является "круглым", можно использовать микросхему КР142ЕН12А(Б).

Определить пригодность того или иного адаптера для построения блока питания можно следующим образом. При необходимом выходном токе (лучше, если он не превышает половины предельного для данного адаптера) напряжение на выходе адаптера при минимальном напряжении сети должно превышать выходное на половину

напряжения пульсаций плюс минимально допустимое напряжение вход-выход используемой микросхемы (около 2...2,5 В).

В качестве примера на рис. 105 приведена схема зарядно-питающего устройства для портативного радиоприемника на микросхеме К174ХА10, в котором установлены четыре аккумулятора ЦНК-0,45. Выходное напряжение 5,6 В устанавливается подстроечным резистором R3, а максимальный ток зарядки (примерно 150 мА) - подборкой резистора R1 при подключении к выходу блока разряженной аккумуляторной батареи. Конденсатор C1 устраняет высокочастотные помехи, возникающие в момент закрывания диодов выпрямительного моста. Блок удобен тем, что зарядка аккумуляторов происходит быстро (4...6 ч), и перезарядить аккумуляторы невозможно.

Блок собран на основе адаптера RW-900. Чертеж печатной платы приведен на рис. 106. Используются резисторы МЛТ, они установлены на плате вертикально, R3 - типа СП3-19а. Конденсатор C2 и диоды VD1 - VD4 - от адаптера, остальные конденсаторы - КМ-6. В качестве C4 можно установить любой оксидный емкостью не менее 10 мкФ. На месте VD5 можно использовать практически любой выпрямительный или импульсный диод.

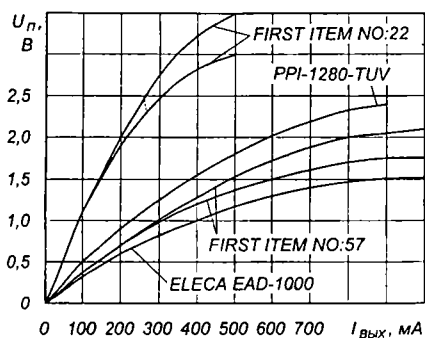


Рис. 104. Зависимости напряжения пульсаций от выходного тока

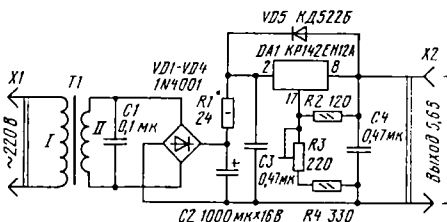


Рис. 105. Принципиальная схема зарядно-питающего устройства для портативного радиоприемника

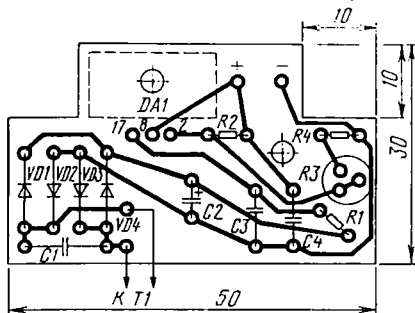


Рис. 106. Печатная плата зарядно-питающего устройства

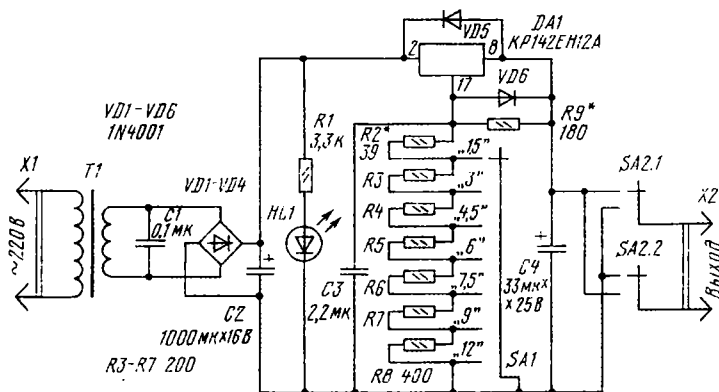


Рис. 107. Принципиальная схема доработанного адаптера FIRST ITEM NO:57

Микросхема DA1 установлена на ребристый теплоотвод размерами $10 \times 18 \times 38$ мм от промышленного устройства. Для хорошего охлаждения теплоотвода и трансформатора в нижней и верхней стенках корпуса адаптера (ориентация при включении его в настенную розетку) просверлены по шесть отверстий диаметром 6 мм.

Если ограничивать выходной ток не требуется, резистор R1 и конденсатор C3 можно исключить. В таком варианте максимальный выходной ток изготовленного блока питания составлял 0,5 А при напряжении пульсаций около 1 мВ. По приведенной схеме, подобрав сопротивления резисторов R3 и R4, можно изготовить блок на любое выходное напряжение в пределах, допустимых трансформатором адаптера.

Используя универсальный адаптер, можно изготовить стабилизированный блок питания с переключаемым выходным напряжением. Схема доработанного адаптера FIRST ITEM NO:57 приведена на рис. 107. Вторичная обмотка трансформатора T1 использована полностью, ее отводы заизолированы. Включение микросхемы DA1 стандартное, назначение диодов VD5 и VD6 такое же, как и в предыдущей конструкции.

Диоды VD1 - VD4, конденсатор C2, светодиод HL1 и переключатели SA1 и SA2 использованы от адаптера. Резисторы R3 - R8 не обязательно должны иметь указанные сопротивления, они могут отличаться в любую сторону в 1,5 раза. Важно, чтобы сопротивления R3 - R7 были равны между собой с точностью 1...2 %, а сопротивление R8 было вдвое большим, поскольку ими определяется погрешность установки выходных напряжений.

Все элементы устройства, кроме трансформатора T1, установлены на печатной плате (рис. 108). Для сверления крепежных отверстий

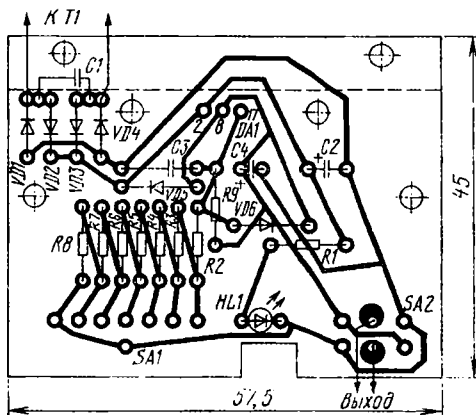


Рис. 108. Печатная плата доработанного адаптера FIRST ITEM NO:57

и отверстий для установки переключателей и светодиода удобно применить в качестве трафарета печатную плату от используемого адаптера. Для того, чтобы выпаять переключатель из платы и при этом не повредить ее, надо, прогревая паяльником одновременно несколько соседних контактов, изгибать плату. Переходя постепенно к другим контактам, можно выпаять переключатель целиком.

Микросхема DA1 установлена на медную пластину размерами 52 × 38 мм и толщиной 1 мм, выполняющую роль теплоотвода. Она имеет отогнутый край для крепления на плате, а по ее периметру просверлены отверстия диаметром 4 мм для обеспечения вентиляции корпуса. Для тех же целей в верхней и нижней стенках корпуса просверлено по восемь отверстий диаметром 6 мм.

Настройка адаптера заключается в установке выходных напряжений без нагрузки подборкой резисторов R2 и R9. Можно сразу поставить резистор R9 указанного на схеме сопротивления, а параллельно ему и вместо R2 впаять переменные резисторы сопротивлением 10 кОм и 56 Ом соответственно. Подстройкой резистора, подключенного параллельно R9, устанавливают выходное напряжение 12 В, резистором R2 - 1,5 В. Поскольку эти установки взаимосвязаны, их надо повторить несколько раз. После этого устанавливают постоянные резисторы с подобранными сопротивлениями, причем резистор параллельно R9 подпаивают со стороны печатных проводников.

Изготовленный экземпляр стабилизированного адаптера обеспечивал выходной ток до 200 мА. При напряжении 12 В ток ограничен появлением пульсаций, при меньших - нагревом микросхемы DA1. Увеличением поверхности теплоотвода можно суще-

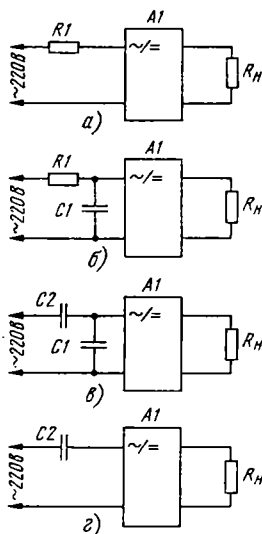


Рис. 109. Схемы включения адаптеров на 120 В к сети 220 В

ственно увеличить выходной ток при малых выходных напряжениях.

Нередко многие импортные радиоэлектронные устройства комплектуются адаптерами, рассчитанными на подключение к сети 120 В. Использовать такие адаптеры можно, включая их, по крайней мере, четырьмя способами (рис. 109). Самый простой, но обладающий наименьшим КПД, вариант - рис. 109,а. Сопротивление резистора R1 можно рассчитать, а можно и подобрать, что проще.

Для иллюстрации методики подбора рассмотрим различные варианты включения на примере адаптера Panasonic КХ-А09, которым комплектуются бесшнуровые телефоны КХ-ТС910-В. На корпусе адаптера указано, что его входное напряжение 120 В при частоте 60 Гц. Выходные параметры - 12 В 200 мА постоянного тока. Потребляемая от сети мощность составляет 6 Вт.

На частоте 50 Гц входное напряжение должно быть снижено примерно до 105 В (почти пропорционально снижению частоты). Поэтому от адаптера уже нельзя получить полное паспортное выходное напряжение, и скорее всего, его нельзя будет использовать для питания того устройства, в комплект которого он входил. Если же на адаптере указана рабочая частота сети 50...60 Гц, его, естественно, можно будет применить по назначению.

На рис. 110 приведена зависимость выходного напряжения рассматриваемого адаптера от выходного тока при входном напряжении 105 В (кривая 1). Оно изменяется от 15,2 В при нулевом токе нагрузки до 10,5 В при 200 мА. Поэтому для получения сопоставимых результатов все элементы схем рис. 109 в дальнейшем подбирались так, чтобы обеспечить выходное напряжение 11,8 В при выходном токе 120 мА (одна из точек графика рис. 110,а, сопротивление нагрузки 98 Ом).

Для подбора резистора в схеме рис. 109,а вначале следует оценить его необходимую величину по приближенной формуле $R1 = U^2/P$, где U - напряжение на этом резисторе (120 В), P - рассеиваемая им мощность, примерно равная потребляемой адаптером. Для данного случая $R1 = 120^2/6 = 2400$ Ом. На всякий случай следует взять вначале

резистор с полуторакратным запасом по сопротивлению. Далее, подключив необходимую нагрузку (98 Ом) и постепенно уменьшая сопротивление R1, добиться необходимого напряжения на выходе адаптера. Лучше, конечно, использовать проволочный переменный резистор на соответствующую мощность.

В данном примере для получения необходимого выходного напряжения потребовался резистор сопротивлением 2440 Ом. Хорошее совпадение с расчетной величиной - случайность, поскольку формула не учитывает индуктивной составляющей сопротивления первичной обмотки трансформатора адаптера, а значение потребляемой мощности задано также весьма приближенно.

Для такого сопротивления резистора R1 была снята зависимость выходного напряжения от тока нагрузки (рис. 110, кривая 2). Видно, что напряжение падает с увеличением тока более резко - с 22,5 до 9 В.

Для уменьшения потерь параллельно первичной обмотке трансформатора адаптера был подключен конденсатор, емкость которого подбиралась для обеспечения резонанса. На рис. 111 приведена зависимость напряжения на нагрузке от емкости конденсатора. Резонанс хотя и заметен, но его роль ничтожна - подъем напряжения составляет около 1,5%. Для сохранения выходного напряжения на заданном уровне при емкости $C1 = 0,44$ мкФ сопротивление резистора R1 было увеличено до 2570 Ом. Нагрузочная характеристика адаптера (рис. 110, кривая 3) мало отличалась от кривой 2.

Вполне естественно заменить резистор R1 на конденсатор. При сохранении $C1 = 0,44$ мкФ емкость конденсатора C2 потребовалась равной 0,54 мкФ. Нагрузочная кривая для этого случая менее крута (кривая 4 на рис.

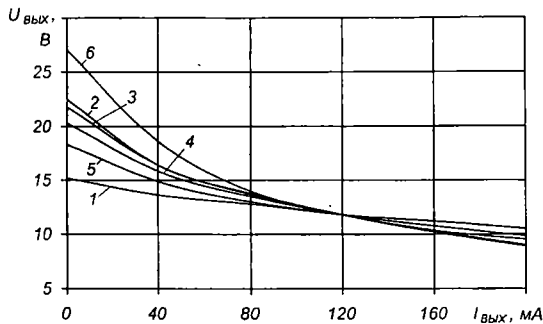


Рис. 110. Зависимости выходного напряжения адаптера от выходного тока при различных вариантах включения

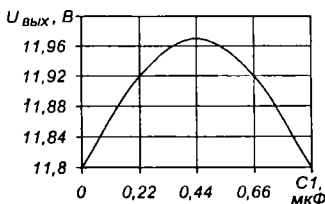


Рис. 111. Зависимость напряжения на нагрузке от емкости конденсатора

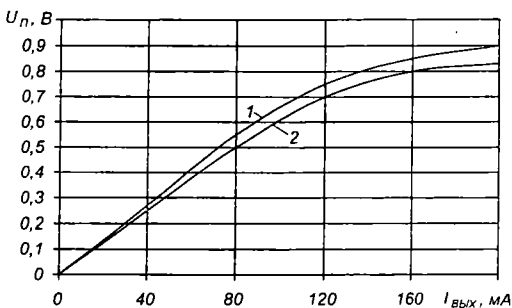


Рис. 112. Зависимости напряжения пульсаций от выходного тока

110), напряжение изменяется от 20,3 до 9,5 В.

В еще большей степени уменьшить зависимость выходного напряжения от тока можно, увеличив емкости конденсаторов C_1 и C_2 . Для примера при произвольно выбранной емкости $C_1 = 1$ мкФ подобранная для обеспечения заданно-

го напряжения емкость конденсатора C_2 составила 0,67 мкФ, при этом выходное напряжение в зависимости от тока изменяется от 18,3 до 9,8 В (кривая 5 на рис. 110).

С другой стороны, если стабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки не принципиальна или ток нагрузки практически не меняется, можно исключить конденсатор C_1 (рис. 109,г, кривая 6 на рис. 110). Подбор емкости можно начать с величины, определенной по полуэмпирической формуле $C_2 = P/12$, где P - мощность в ваттах, емкость - в микрофарадах. Формула учитывает запас, обеспечивающий исключение перегрузки адаптера. Для данного случая начальное значение емкости $C_2 = 6/12 = 0,5$ мкФ. При подобранной емкости $C_2 = 0,76$ мкФ и изменении выходного тока от 0 до 200 мА выходное напряжение меняется от 27 до 8,9 В.

Таким образом, если необходима стабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки, наиболее целесообразно использование емкостного делителя, причем емкости устанавливаемых конденсаторов сверху практически не ограничены - чем больше, тем лучше. Если стабильность не играет роли - используйте вариант с одним конденсатором C_2 (рис. 109,г).

Варианты с гасящим резистором (рис. 109,а и б) применять нецелесообразно из-за больших потерь мощности и сильного нагрева этого резистора.

Приведенные на рис. 110 графики иллюстрируют зависимости для среднего выходного напряжения. На него наложено напряжение пульсаций, его форма близка к пилообразной. На рис. 112 приведены зависимости двойной амплитуды пульсаций (от пика до пика) от выходного тока для первого (от напряжения 105 В, кривая 1) и последнего (через единственный конденсатор C_2 , кривая 2) из

рассмотренных вариантов подключения адаптера. Для других вариантов включения пульсации имеют промежуточную величину.

Для вариантов рис. 109,в и г параллельно конденсатору С2 следует включать резистор сопротивлением несколько сотен килоом для его разрядки после отключения от сети. В варианте 1,в весьма желателен резистор сопротивлением 22...47 Ом, включенный последовательно с конденсатором С2. Он уменьшит бросок тока в момент включения в сеть. Рабочее напряжение конденсаторов должно быть не менее 250 В, очень удобны К73-16 и К73-17.

При всех экспериментах с адаптерами следует помнить, что рабочее напряжение устанавливаемых в них оксидных конденсаторов обычно составляет, как правило, 16 В и поэтому нежелательна подача на них большего напряжения на сколько-нибудь длительное время.

ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И БАТАРЕЙ

В специализированной литературе обоснована целесообразность зарядки аккумуляторов от источника фиксированного напряжения с ограничением тока. Такой режим удобен тем, что подзарядка в течение, например, ночи гарантирует к утру их полную зарядку независимо от их исходного состояния без опасности перезарядки. В данном разделе описаны несколько вариантов подобных устройств для зарядки никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей.

Схема первого из предлагаемых зарядных устройств приведена на рис. 113. Стабилитрон VD6, операционный усилитель DA1.1, транзистор VT1 и связанные непосредственно с ними элементы образуют высокостабильный источник напряжения. Его особенность - питание параметрического стабилизатора R2VD6 выходным напряжением источника, что и обеспечивает ему высокие параметры.

Делитель R17 - R28 формирует 12 ступеней напряжения, соответствующих предельным при зарядке одиночных аккумуляторов и батарей, составленным из 2 - 12 никель-кадмиевых аккумуляторов. Необходимое зарядное напряжение выбирают переключателем SA2. Операционный усилитель (ОУ) DA1.2 совместно с транзистором VT2 образуют точный повторитель этого напряжения с большой нагрузочной способностью. Его выходное сопротивление весьма мало - изменение напряжения при увеличении выходного тока от 0 до 350 мА нельзя обнаружить по четырехзначному цифровому вольтметру, т. е. оно меньше 1 мВ, а выходное сопротивление соответственно менее 0,003 Ом.

Для ограничения тока в начале зарядки используется сравнение падения напряжения на резисторе R32 (и подключаемых к нему параллельно резисторах R6 - R16) и образцового напряжения, снимаемого с делителя R35 - R39. Ток коллектора транзистора VT2 с достаточной точностью равен току зарядки. Образцовое напряжение, снимаемое с резисторов R35 и R36, равно 1,2 В. Сравнение напряжений осуществляет компаратор, его функцию выполняет ОУ DA2.2. Когда ток зарядки создает на резисторе R32 падение напряжения более 1,2 В, ОУ DA2.2 открывает транзистор VT3, который своим коллекторным током увеличивает напряжение на инвертирующем входе ОУ DA1.2, что приводит к уменьшению выходного напряжения ОУ и переходу всего источника в режим стабилизации тока. Установку значения тока ограничения в пределах от 2,5 до 350 мА производят переключателем SA3.

Выходное сопротивление устройства в режиме стабилизации тока равно сопротивлению резистора R30.

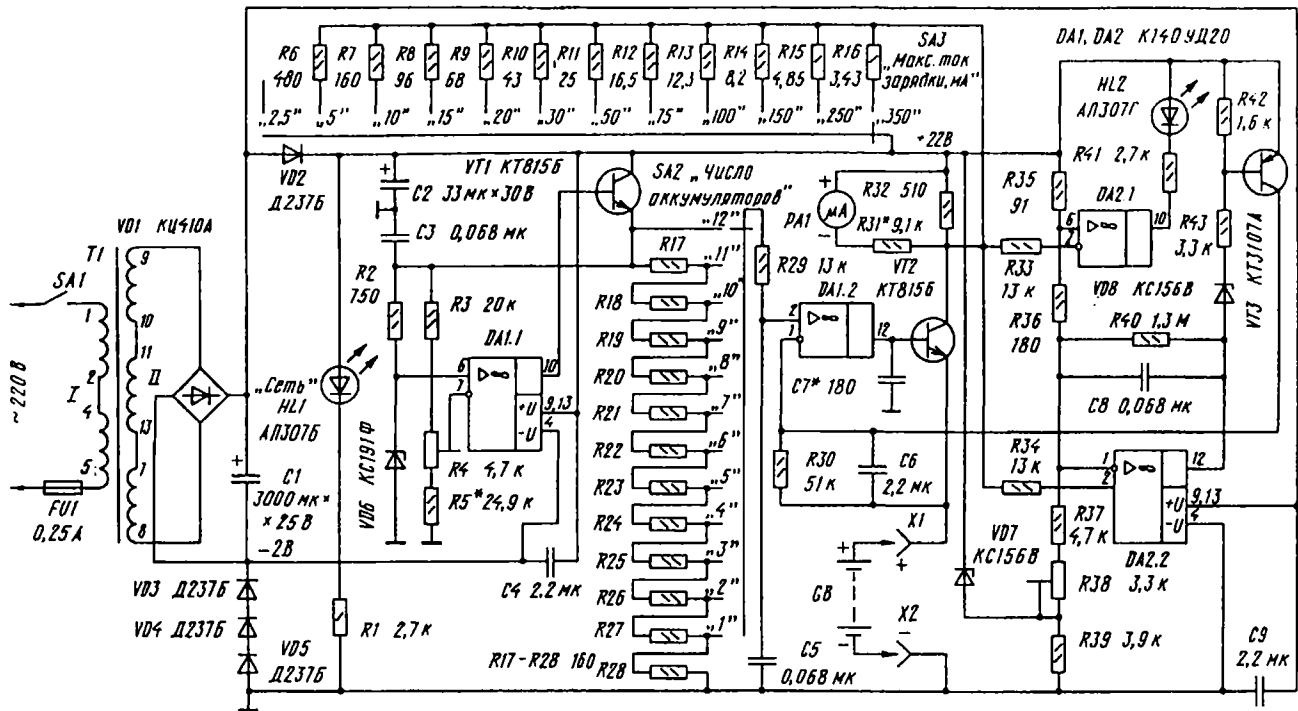


Рис. 113. Принципиальная схема универсального зарядного устройства

Микроамперметр PA1 с добавочным резистором R31 образует вольтметр на напряжение 1,2 В, поэтому при работе источника в режиме стабилизации тока его стрелка указывает на последнее деление шкалы. Для вольтметра использован микроамперметр на ток 100 мкА, поэтому такое его показание соответствует зарядному току, равному 100% от установленного переключателем SA3 значения.

Если к гнездам X1 и X2 зарядного устройства подключить разряженную батарею аккумуляторов, установив переключатель SA2 в положение, соответствующее их числу в ней, вначале ток зарядки будет определяться положением переключателя SA3. Через несколько часов напряжение на батарее достигнет значения, установленного переключателем SA2, и устройство перейдет в режим стабилизации напряжения. Ток зарядки начнет уменьшаться, что можно отслеживать по показанию прибора PA1.

Когда ток уменьшится до значения, составляющего примерно 5% от установленного переключателем SA3, компаратор на ОУ DA2.1 переключится и загорится светодиод HL2, сигнализируя об окончании зарядки.

Если батарею (или одиночный аккумулятор) продолжать заряжать даже в течение суток, с ней ничего не произойдет, поскольку ток в конце зарядки весьма мал.

Светодиод HL1 - индикатор подключения устройства к сети. Подбором конденсатора C7 устраняют высокочастотную генерацию ОУ DA1.2.

Какова роль диодов VD2 - VD5? При зарядке одиночного аккумулятора напряжение на инвертирующем входе ОУ DA1.2 составляет 1,4 В, а в режиме замыкания выхода зарядного устройства его выходное напряжение, обеспечивающее перевод устройства в режим стабилизации тока, должно быть около 0,6 В относительно общего провода. Чтобы ОУ DA1.2 нормально работал в таких режимах, напряжение его минусового источника питания должно быть по абсолютному значению не менее 2 В, что и обеспечивается падением напряжения на диодах VD3 - VD5.

Аналогично для нормальной работы ОУ DA2.1 при напряжении на входах, близком к напряжению плюсового источника питания, разность между ними должна быть не менее 0,6 В - обеспечивается падением напряжения на диоде VD2.

Чертеж печатной платы из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, на которой размещена большая часть деталей устройства, приведен на рис. 114. Транзистор VT2 снабжен игольчатым теплоотводом размерами 60 × 45 мм, высота игл - 20 мм. Переключатели SA2 и SA3 вместе с распаянными на них

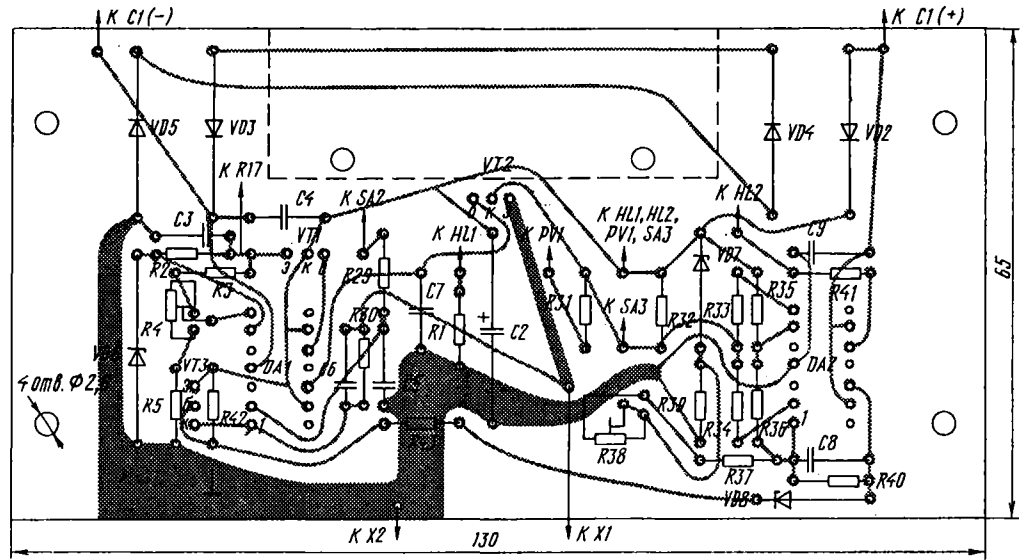


Рис. 114. Печатная плата универсального зарядного устройства

резисторами, микроамперметр PA1, светодиоды HL1 и HL2, выходные гнезда X1 и X2 установлены на передней панели прибора, изготовленной из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, а трансформатор T1, выключатель SA1, предохранитель FU1, диодный мост VD1 и конденсаторы C1 - на задней дюралюминиевой панели такой же толщины. Панели скреплены между собой дюралюминиевыми стяжками длиной 135 мм, к этим же стяжкам привинчена печатная плата. Законченная конструкция установлена в алюминиевый корпус в виде отрезка прямоугольной трубы.

Сетевой трансформатор T1 - унифицированный ТН-30 [17]. Но применим любой другой аналогичный трансформатор, вторичная обмотка которого обеспечивает напряжение 19...20 В при токе не менее 400 мА. Выпрямительный мост VD1, рассчитанный на такой же выходной ток, можно собрать из четырех диодов с рабочим током 300 мА, например, серии Д226. Такими могут быть и диоды VD2 - VD5. Конденсатор C1 составлен из трех соединенных параллельно оксидных конденсаторов К50-29 емкостью по 1000 мкФ на номинальное напряжение 25 В. Конденсатор C2 - К53-1, остальные - КМ-5 и КМ-6.

Термокомпенсированный стабилитрон КС191Ф (VD6) можно заменить на Д818 с буквенными индексами В - Е или на КС191 с любым буквенным индексом. Резисторы R3, R5 и R17 - R28 желательно использовать стабильные, например, С2-29. Сопrotivления резисторов R17 - R28 могут быть в пределах 160 Ом...10 кОм, но обязательно одинакового значения с точностью не хуже 0,3%.

Сопrotivления резисторов R6 - R16 не обязательно должны быть точными. Их желательно подобрать в соответствии с указанными на схеме значениями из резисторов близких номиналов, что упростит настройку прибора. Каждый из резисторов R15, R16 состоит из нескольких резисторов большего номинала и меньшей мощности рассеяния, которые соединены параллельно. Подстроечные резисторы R4 и R38 - СПЗ-19а.

Светодиоды HL1 и HL2 - любые, но желательно разного цвета свечения. Стабилитроны VD7 и VD8 на напряжение стабилизации 5,6...7,5 В. Переключатели SA2 и SA3 - ПГ2-5-12П1Н или аналогичные другие малогабаритные.

Микроамперметр PA1 типа М4247 на ток 100 мкА. Используя прибор на иной ток полного отклонения стрелки, придется подбирать не только ограничительный резистор R31, но и R32 - для обеспечения зарядного тока 2,5 мА при крайнем левом (по схеме) положении переключателя SA3.

Транзисторы VT1, VT2 могут быть любыми кремниевыми структуры п-р-п средней мощности, а VT3 - любым кремниевым

маломощным структуры р-п-р на допустимое напряжение не менее 30 В.

Операционные усилители К140УД20 (DA1, DA2) заменимы двойным числом ОУ К140УД7. Применение ОУ других типов определяется возможностью их работы в упомянутых выше режимах, но автором это не проверялось.

Коротко о настройке зарядного устройства. Вначале подстроечным резистором R4 установите на эмиттере транзистора VT1 напряжение, равное 16,8 В. Нагрузив устройство резистором сопротивлением 51...68 Ом (на мощность рассеяния 7,5 Вт) и временно отпаяв резистор R43, убедитесь в том, что при переводе переключателя SA2 в каждое следующее положение (вверх по схеме) выходное напряжение увеличивается на 1,4 В. Проверьте отсутствие высокочастотной генерации на выходе и при необходимости подберите конденсатор C7.

Далее восстановите соединение резистора R43, а переключатель SA2 установите в положение "12". Изменяя положение переключателя SA3, убедитесь, что при этом выходной ток, измеряемый миллиамперметром, включенным последовательно с нагрузочным резистором, ограничивается значением, соответствующим положению этого переключателя (кроме 350 мА). Замените нагрузочный резистор цепочкой из двух - трех диодов (однотипных с VD2 - VD5) и, установив переключатель SA3 в положение "100 мА", выставьте подстроечным резистором R38 такой же выходной ток. Стрелка микроамперметра должна указывать на последнее деление шкалы, если это не так - подберите резистор R31.

Теперь переключатель SA2 установите в положение "1", а переключатель SA3 в положение "10 мА". К выходу устройства подключите переменный резистор на 3,3 кОм и миллиамперметр, после чего увеличивайте от нуля сопротивление этого резистора. При выходном токе, равном примерно 0,5 мА, должен включиться светодиод HL2.

Настраивая устройство, помните, что его выходное сопротивление резко несимметрично - оно мало для вытекающего тока и велико для втекающего. Поэтому устройство без нагрузки чувствительно к сетевым наводкам и измерение выходного напряжения высокоомным вольтметром может дать неожиданно завышенный результат.

Зарядка батареи аккумуляторов несложна. Надо лишь установить переключатели в положения, соответствующие числу аккумуляторов в ней и максимальному току зарядки, подключить к выходу батарею с соблюдением полярности и включить питание устройства. Признаком окончания зарядки служит загорание светодиода HL2. Макси-

мальный ток зарядки должен быть в 3...4 раза меньше емкости заряжаемой батареи аккумуляторов.

Какие дополнения или изменения можно внести в этот вариант зарядного устройства? Прежде всего надо дополнить его электро-

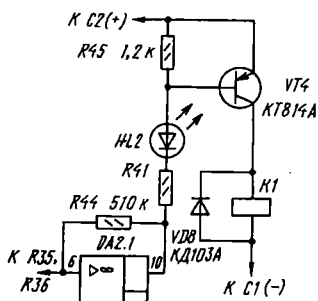


Рис. 115. Подключение электромагнитного реле

Но введя в устройство такое дополнение, следует учитывать, что после начала зарядки любые переключения его цепей приводят к срабатыванию реле, поэтому необходимые установки надо делать заранее.

Устройство можно применять для разрядки батарей из семи аккумуляторов, не опасаясь их переразрядки. Для этого переключатель SA2 надо установить в положение "5", переключатель SA3 - в ближайшее по току разрядки, но большее его, включить между выходными гнездами X1 и X2 резистор, обеспечивающий необходимый ток разрядки и подключить разряжаемую батарею. Поскольку напряжение батареи больше, чем подаваемое на неинвертирующий вход ОУ DA1.2, транзистор VT2 будет закрыт, а батарея разряжаться через резистор. Когда напряжение батареи снизится до 7 В, ОУ DA1.2 и транзистор VT1 перейдут в режим стабилизации напряжения, разрядка прекратится.

Индикатором завершения разрядки батареи служит светодиод HL2 - в процессе разрядки он светится, а по ее окончании - гаснет.

Если устройство часто предполагается использовать для разрядки батарей, к тому же с разным числом аккумуляторов, в него целесообразно ввести дополнительный резистор, сопротивление которого составляет 40% от суммарного сопротивления резисторов R17 - R28, и, конечно, выключатель. Резистор включают между выходом источника образцового напряжения (на схеме рис. 113 - точка соединения эмиттера транзистора VT1, резисторов R2, R3, конденсатора C3) и неподвижным контактом "12" переключателя

SA2, соединенным с резистором R17, а параллельно этому резистору - дополнительный выключатель. Батарею заряжают при замкнутых контактах выключателя, а при размыкании их, когда выходное напряжение уменьшается в 1,4 раза (до 1 В на аккумулятор), батарею можно разряжать.

Разрядка батареи через резистор происходит изменяющимся во времени током, который можно стабилизировать микросхемой K142EH12A, включив ее по схеме, приведенной на рис. 116. Сопротивление резистора R46 (Ом) определяют по формуле: $R46 = 1250/I_{раз}$, где $I_{раз}$ - ток разрядки (мА).

Номиналы резисторов, от которых зависит ток разрядки, соответствуют сопротивлениям резисторов R6 - R16 при тех же токах, что и ток зарядки.

Схема второго варианта зарядного устройства показана на рис. 117. Оно значительно проще, но в нем нет узла индикации момента окончания зарядки.

В устройстве применены две микросхемы KPI42EH12A. Первая из них (DA1) работает в режиме ограничения тока, а вторая выполняет функцию стабилизатора напряжения зарядки.

Диоды VD2-VD4 являются элементами защиты. Подстроечными резисторами R25 и R28 точно устанавливают выходные напряжения при различных положениях переключателя SA3. Конденсаторы C2-C4 предотвращают возможную генерацию микросхем DA1, DA2.

Трансформатор питания T1, диодный мост VD1, конденсатор C1, переключатели SA2 и SA3 могут быть такими же, как в первом варианте устройства. Диоды VD2-VD4 - любые маломощные кремниевые.

Резисторы R13-R24, R26 должны быть точными и стабильными, а их сопротивления - в пределах 120...180 Ом.

Перед установкой микросхем на плате желательно проверить их напряжение стабилизации. Сделать это можно, подключив цепь, выполненную по схеме рис. 116, к источнику напряжения 5...15 В, измеряя напряжение на резисторе R46 (160 Ом). Ту из микросхем, напряжение стабилизации которой ближе к 1,2 В, используйте в узле ограничения тока зарядки (DA1). А если оно сильно отличается от 1,2 В, сопротивления резисторов R2-R12 придется подобрать при настройке устройства.

Настраивайте это зарядное устройство следующим образом. Вначале переключатели SA2 и SA3 установите в положения "350" и

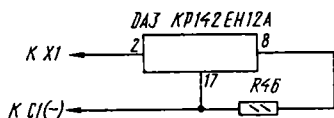


Рис. 116. Включение микросхемы K142EH12A как стабилизатора тока

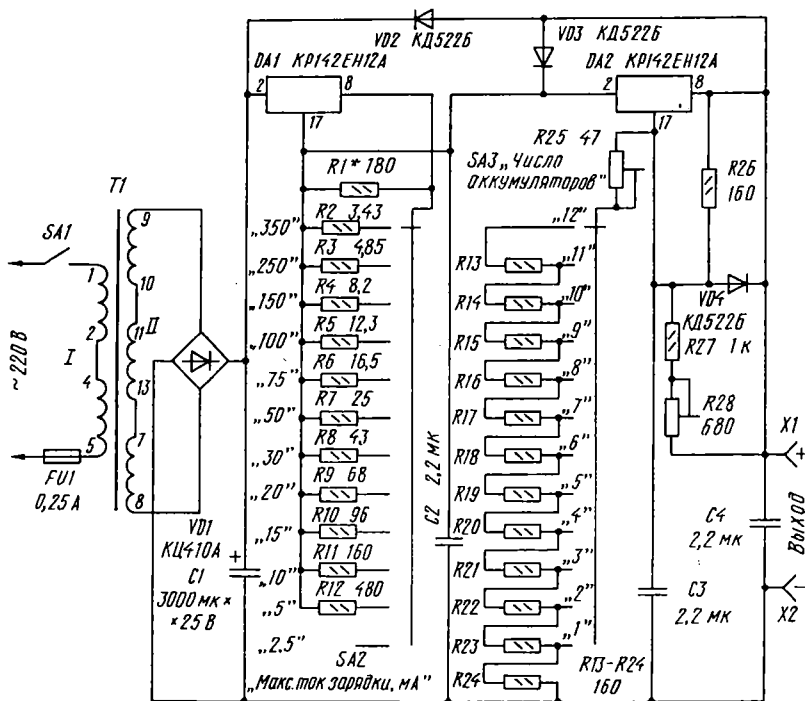


Рис. 117. Принципиальная схема зарядного устройства на микросхемах К142ЕН12А

"12" соответственно, движок подстроечного резистора R25 - в среднее положение, после чего резистором R27 выставите на выходе напряжение 16,8 В. Далее переключатель SA3 переведите в положение "1" и резистором R25 установите на выходе устройства напряжение 1,4 В. Эти операции взаимосвязаны, поэтому повторите их несколько раз.

Затем к выходу подключите три соединенных последовательно кремниевых диода на ток не менее 300 мА и миллиамперметр. Переключатели SA2 и SA3 установите в положения "2,5" и "2" и подбором резистора R1 добейтесь выходного тока, равного 2,5 мА. Если напряжения стабилизации микросхемы DA1 1,2 В и сопротивления резисторов R2-R12 соответствуют указанным на схеме, то и при других положениях переключателей токи зарядки должны соответствовать обозначенным на схеме. В противном случае придется дополнительно подбирать резисторы R2-R12.

Выходное сопротивление устройства в режиме стабилизации тока значительно меньше, чем у конструкции первого варианта, и равно

суммарному сопротивлению введенных резисторов R13-R24 и R25-R28.

Если зарядное устройство по схеме на рис. 117 предназначается лишь для батарей из аккумуляторов одного типа, переключатель SA2 и резисторы R2-R12 можно исключить, а индикатор окончания зарядки, собранный по схеме рис. 118, ввести. Пока суммарный ток зарядки и текущий через резисторы R13-R24 достаточно велик, он течет, в основном, через эмиттерный переход транзистора VT1. Транзистор при этом открывается и загорается светодиод HL1, индицируя процесс зарядки. Когда ток уменьшится до значения, определяемого сопротивлением резистора R29 и напряжением открывания транзистора VT1, этот транзистор закроется и светодиод погаснет.

Было собрано (с исключением переключателя SA2 и с добавлением индикатора окончания зарядки по схеме рис. 118) зарядное устройство для батарей из аккумуляторов ЦНК-0,45 (до шести штук). Чтобы ограничить выходной ток на уровне 150 мА, потребовался резистор (R1 на рис. 117) сопротивлением 8,2 Ом. В индикаторе окончания зарядки при сопротивлении резистора R29 30 Ом уменьшение яркости свечения светодиода начиналось при токе зарядки 10 мА, полностью он погасал при токе 7 мА.

В устройстве использован трансформатор ТПП-220 [16], все шесть вторичных обмоток которого соединены последовательно. Переключки удобно устанавливать так: 16-17, 18-11, 12-13, 14-19, 20-21, напряжение на диодный мост снимают с выводов 15 и 22. Напряжение сети подают на выводы 2 и 9 трансформатора, между выводами 3 и 7 необходимо также установить переключку. Но, конечно, пригоден любой другой трансформатор, обеспечивающий на вторичной обмотке напряжение 11...12 В при токе не менее 400 мА.

Все элементы устройства, кроме сетевого трансформатора с выключателем питания, предохранителя, переключателя SA3 и выходных гнезд, смонтированы на печатной плате размерами 90 × 50 мм (рис. 119). Плата рассчитана на установку диодного моста КЦ407А (VD1), оксидного конденсатора К50-29 (C1) емкостью 2200 мкФ на номинальное напряжение 16 В. Другие детали такие, как в конструкции первого варианта устройства. Микросхемы DA1 и DA2 установлены на игольчатые теплоотводы размерами 45 × 25 мм, высота игл - 20 мм.

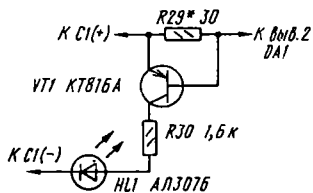


Рис. 118. Индикатор окончания зарядки для устройства по схеме рис. 117

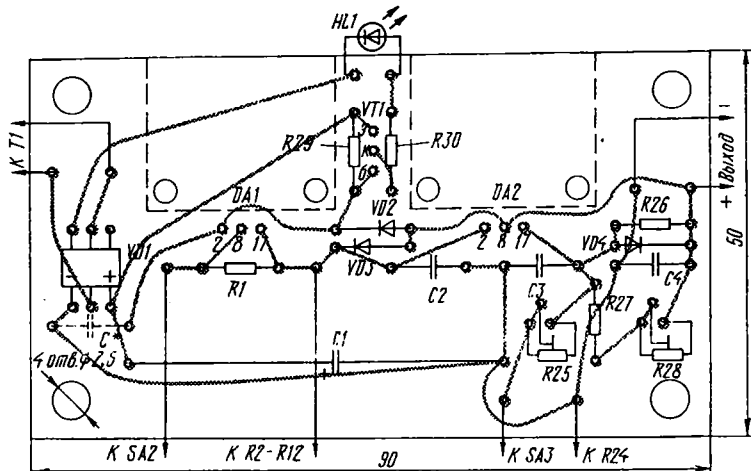


Рис. 119. Печатная плата зарядного устройства на микросхемах К142ЕН12А

Монтажная плата с помощью резьбовых втулок, вклепанных в ее углы, вместе с другими деталями установлена в пластмассовом корпусе размерами 133 × 100 × 56 мм. Светодиод на удлиненных выводах выведен на крышку корпуса.

Налаживают устройство в таком порядке. Подстроечными резисторами R25 и R27 устанавливают на выходе напряжения 8,4 и 1,4 В при положениях "6" и "1" переключателя SA3 соответственно, выходной ток, равный 150 мА, - подбором резистора R1 и порог погасания светодиода - подбором резистора R29. В случае возникновения генерации микросхемы DA1 между ее входным выводом 2 и минусовым проводом цепи питания включают конденсатор С* (несколько десятков или сотен нанофард), обозначенный на рис. 119 штриховыми линиями. Печатная плата такого варианта зарядного устройства может стать основой и для устройства по схеме рис. 117 - на ней предусмотрены контакты для подключения переключателя

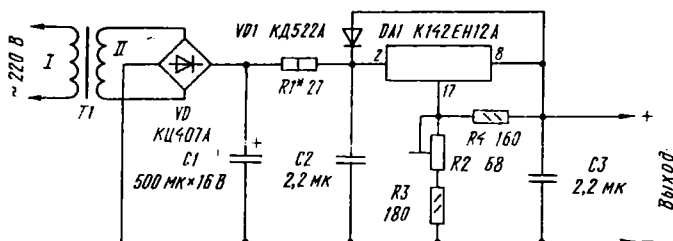


Рис. 120. Принципиальная схема зарядного устройства для плеера

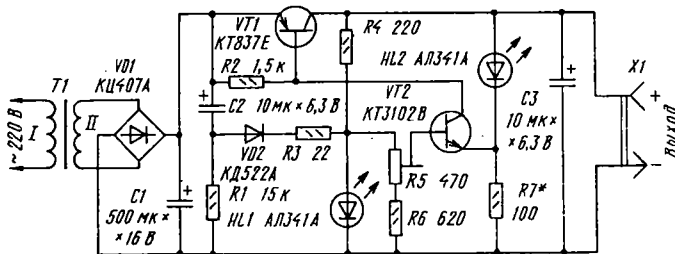


Рис. 121. Принципиальная схема зарядного устройства на транзисторах

SA2 с резисторами R2-R12. Каждая из микросхем должна быть установлена на свой радиатор таких же габаритов, что и в устройстве по схеме рис. 113.

Любителям слушать музыку, используя плейер, источником питания которого служит батарея из двух аккумуляторов ЦНК-0,45, предлагается зарядное устройство попроще (рис. 120, схема отличается от рис. 105 номиналами и отсутствием конденсатора, включенного параллельно вторичной обмотке трансформатора). Вторичная обмотка сетевого трансформатора Т1 должна быть рассчитана на напряжение 8...9 В и ток не менее 160 мА. Микросхеме следует снабдить небольшим пластинчатым теплоотводом. Выходное напряжение, равное 2,8 В, устанавливаются подстроечным резистором R2, а затем, нагрузив устройство на три последовательно включенных диода на ток 300 мА или два разряженных аккумулятора, подбором резистора R1 - выходной ток 150...180 мА.

А если микросхемы КР142ЕН12А нет? В таком случае зарядное устройство аналогичного назначения рекомендуется собрать по схеме рис. 121. Основой такого варианта зарядного устройства может быть блок питания ПМ-1, предназначенный для питания электродвигателей игрушек, любой другой трансформатор, понижающий напряжение сети до 6...6,3 В, или сетевой адаптер.

Все детали устройства, кроме сетевого трансформатора, монтируют на печатной плате, чертеж которой приведен на рис. 122, рассчитанной на установку на ней оксидных конденсаторов К50-6 (С1-С3), подстроечного резистора СПЗ-

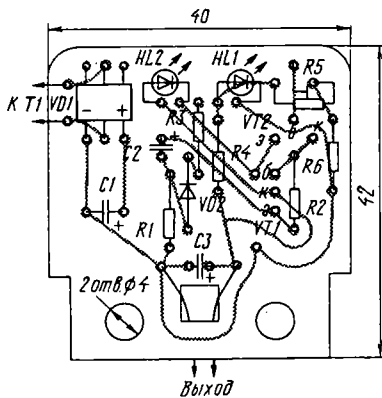


Рис. 122. Печатная плата зарядного устройства

196 (R5), светодиодов АЛ341А или АЛ307Б. Светодиоды выведены наружу через вентиляционные щели кожуха. Транзистор VT1 снабжен небольшим пластинчатым теплоотводом из латуни (или алюминия) толщиной 0,5 мм. Монтажная плата закреплена в корпусе на двух вклепанных в нее резьбовых втулках.

При настройке этого устройства, как и предыдущего, сначала устанавливают выходное напряжение 2,8 В (резистором R5), после чего его нагружают тремя соединенными последовательно диодами на рабочий ток 300 мА и подбором резистора R7 добиваются выходного тока 150...180 мА. Светодиод HL2 при этом гаснет.

Корпусы описанных зарядных устройств должны иметь вентиляционные отверстия для обеспечения охлаждения теплоотводов микросхем или транзисторов.

СЕТЕВОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С ГАСЯЩИМ КОНДЕНСАТОРОМ

Во многих из описанных выше устройств использовались бестрансформаторные источники питания с гасящим конденсатором. Они удобны своей простотой, малыми габаритами и массой, но не всегда применимы из-за гальванической связи выходной цепи с сетью 220 В. О том, как правильно рассчитать такой источник, рассказывается в данном разделе.

В бестрансформаторном источнике питания к сети переменного напряжения подключены последовательно соединенные конденсатор и нагрузка. Рассмотрим вначале работу источника с чисто резистивной нагрузкой (рис. 123,а).

Из курса электротехники известно, что полное сопротивление последовательно включенных конденсатора C1 и резистора R_н равно:

$Z = (R_n^2 + X_{C1}^2)^{1/2}$, где $X_{C1} = 1/2\pi f C1$ - емкостное сопротивление конденсатора на частоте f. Поэтому эффективный переменный ток в цепи $I_{эфф} = U_c / Z$ (U_c - напряжение питающей сети). Нагрузочный ток связан с емкостью конденсатора, выходным напряжением источника и напряжением сети следующим соотношением:

$I_{эфф} = 2\pi f C (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}$. Для малых значений выходного напряжения $I_{эфф} = 2\pi f C U_c$.

В качестве примера, полезного в практике, проведем расчет гасящего конденсатора для включения в сеть 220 В паяльника на 127 В мощностью 40 Вт. Необходимое эффективное значение тока нагрузки $I_{эфф} = 40/127 = 0,315$ А. Расчетная емкость гасящего конденсатора

$$C1 = I_{эфф} / [2\pi f (U_c^2 - U_{вых}^2)^{1/2}] = 0,315 / [314(220^2 - 127^2)^{1/2}] = 5,6 \text{ мкФ.}$$

Для работы нагревательных приборов важно значение именно эффективного тока. Однако, если нагрузкой является, например, аккумуляторная батарея, включенная в диагональ выпрямительного моста (рис. 123,б), заряжать ее будет уже средневыпрямленный (пульсирующий) ток, численное значение которого меньше $I_{эфф}$:
 $I_{ср} = (2 \cdot 2^{1/2} / \pi) I_{эфф} = 0,9 I_{эфф}$. Для малых значений выходного напряжения $I_{ср} = 4 \cdot 2^{1/2} f C_1 U_c (1)$.

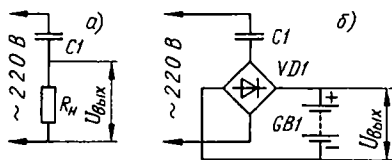


Рис. 123. Бестрансформаторный источник питания с резистивной нагрузкой (а) и с нагрузкой в виде аккумуляторной батареи (б)

В радиолюбительской практике часто используют источник, в котором гасящий конденсатор включен в сеть последовательно с диодным мостом, а нагрузка, зашунтированная другим конденсатором, питается от выходной диагонали моста (рис. 124). В этом случае цепь становится резко нелинейной и форма тока, протекающего через мост и гасящий конденсатор, будет отличаться от синусоидальной. Из-за этого представленный выше расчет оказывается неверным.

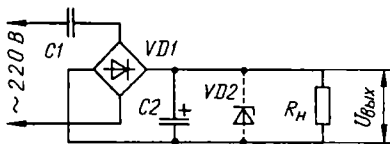


Рис. 124. Типовая схема источника питания с гасящим конденсатором

Каковы процессы, происходящие в источнике со сглаживающим конденсатором C_2 емкостью, достаточной для того, чтобы считать пульсации выходного напряжения пренебрежимо малыми? Для гасящего конденсатора C_1 диодный мост (вместе с C_2 и R_n) в установившемся режиме представляет собой некий эквивалент симметричного стабилитрона. При напряжении на этом эквиваленте, меньшем некоторого значения (оно практически равно напряжению $U_{вых}$ на конденсаторе C_2), мост закрыт и ток через него не проходит, при большем - через открытый мост течет ток, не давая увеличиваться напряжению на входе моста.

Рассмотрение начнем с момента t_1 , когда напряжение сети максимально (рис. 125). Конденсатор C_1 заряжен до амплитудного напряжения сети $U_{с.амп}$ за вычетом напряжения на диодном мосте U_m , примерно равного $U_{вых}$. Ток через конденсатор C_1 и закрытый мост равен нулю. Напряжение в сети уменьшается по косинусоидальному закону (график 1), на мосте также уменьшается (график 2), а напряжение на конденсаторе C_1 не меняется.

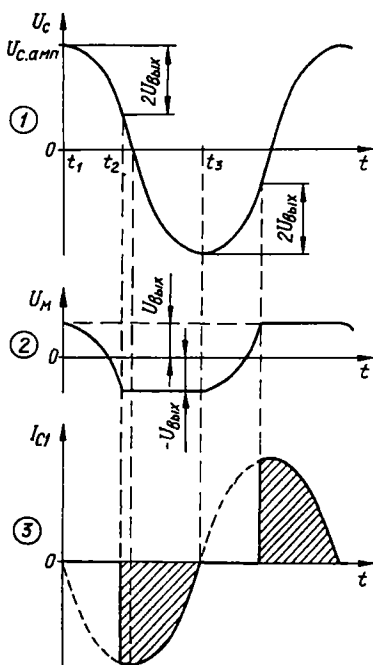


Рис. 125. Временные диаграммы работы источника

синусоиды на графике 3. Несложные расчеты, требующие, однако, знания дифференциального и интегрального исчисления, дают такую формулу для среднего тока $I_{\text{ср}}$ через нагрузку R_H :

$$I_{\text{ср}} = 4fCI(U_{\text{с.амп}} - U_{\text{вых}}) = 4fCI(1,41U_{\text{с}} - U_{\text{вых}}) \quad (2).$$

При малых значениях выходного напряжения эта формула и ранее полученная (1) дают одинаковый результат. Если в (2) выходной ток приравнять к нулю, получим $U_{\text{вых}} = 1,41U_{\text{с}}$, т. е. при токе нагрузки, равном нулю (при случайном отключении нагрузки, скажем, из-за ненадежного контакта), выходное напряжение источника становится равным амплитудному напряжению сети. Это означает, что все элементы источника должны выдерживать такое напряжение. При уменьшении тока нагрузки, например, на 10 %, выходное напряжение увеличится так, чтобы выражение в скобках также уменьшилось на 10 %, т. е. примерно на 30 В (при $U_{\text{вых}} = 10$ В). Вывод - включение стабилитрона параллельно нагрузке R_H (как показано штриховыми линиями на рис. 124) практически обязательно.

Ток конденсатора останется нулевым до тех пор, пока напряжение на диодном мосте, сменив знак на противоположный, не достигнет значения $-U_{\text{вых}}$ (момент t_2). В этот момент появится скачком ток I_{C1} через конденсатор $C1$ и мост. Начиная с момента t_2 , напряжение на мосте не меняется, а ток определяется скоростью изменения напряжения сети и, следовательно, будет точно таким же, как если бы к сети был подключен только конденсатор $C1$ (график 3).

Когда напряжение сети достигнет отрицательного амплитудного значения (момент t_3), ток через конденсатор $C1$ снова станет равным нулю. Далее процесс повторяется каждый полупериод.

Ток через мост протекает лишь в интервале времени t_2-t_3 , его среднее значение может быть рассчитано как площадь заштрихованной части

Для однополупериодного выпрямителя (рис. 126) ток рассчитывают по формуле: $I_{cp} = 2fC1(U_{c.amp} - U_{вых}/2) = 2fC1(1,41U_c - U_{вых}/2)$.

Естественно, при малых значениях выходного напряжения ток нагрузки будет вдвое меньше, чем для двуполупериодного выпрямителя, а выходное напряжение при нулевом токе нагрузки - вдвое больше - ведь это выпрямитель с удвоением напряжения!

Порядок расчета источников по схеме на рис. 124 следующий.

Вначале задаются выходным напряжением $U_{вых}$, максимальным $I_{н max}$ и минимальным $I_{н min}$ значениями тока нагрузки, максимальным $U_{c max}$ и минимальным $U_{c min}$ значениями напряжения сети. Выше уже было указано, что при меняющемся токе нагрузки обязателен стабилитрон, включенный параллельно нагрузке R_H . Как его выбирать? При минимальном напряжении сети и максимальном токе нагрузки через стабилитрон должен протекать ток не менее допустимого минимального тока стабилизации $I_{ст min}$. Можно задаться значением в пределах 3...5 мА. Теперь определяют емкость гасящего конденсатора $C1$ для двуполупериодного выпрямителя:

$$C1 = 3,5(I_{ст min} + I_{н max}) / (U_{c min} - 0,7U_{вых}) \quad (3)$$

Формула получена из (2) подстановкой соответствующих значений. Ток в ней - в миллиамперах, напряжение - в вольтах; емкость получится в микрофарадах. Результат расчета округляют до ближайшего большего номинала; можно использовать батарею из нескольких конденсаторов, включенных параллельно.

Далее рассчитывают максимальный ток через стабилитрон при максимальном напряжении сети и минимальном потребляемом от источника токе:

$$I_{ст max} = (U_{c max} - 0,7U_{вых})C1/3,5 - I_{н min} \quad (4)$$

При отсутствии стабилитрона на необходимое напряжение $U_{вых}$, допускающего рассчитанный максимальный ток стабилизации, можно соединить несколько стабилитронов на меньшее напряжение последовательно.

Подставлять в формулу (4) минимальный ток нагрузки $I_{н min}$ следует лишь тогда, когда этот ток длителен - единицы секунд и более. При кратковременном минимальном токе нагрузки (доли секунды) его надо заменить средним (по времени) током нагрузки. Если стабилитрон допускает ток, больший рассчитанного по формуле (4), целесообразно использовать гасящий конденсатор несколько

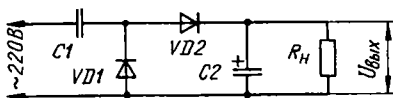


Рис. 126. Однополупериодный источник питания

большей емкости для уменьшения требований к точности его подбора.

При однополупериодной схеме выпрямления (рис. 126) емкость гасящего конденсатора и максимальный ток через стабилитрон рассчитывают по формулам:

$$C1 = 7(I_{CT \min} + I_{H \max}) / (U_{C \min} - 0,35U_{\text{вых}});$$

$$I_{CT \max} = (U_{C \max} - 0,35U_{\text{вых}})C1 / 7 - I_{H \min}.$$

Рассчитаем в качестве практического примера источник питания по схеме рис. 124 (со стабилитроном, разумеется), обеспечивающий выходное напряжение 9 В при токе нагрузки, изменяющемся от $I_{H \max} = 15$ мА до $I_{H \min} = 5$ мА; напряжение сети может изменяться от $U_{C \max} = 240$ В до $U_{C \min} = 200$ В.

Принимаем $I_{CT \min} = 5$ мА. По формуле (3) находим емкость гасящего конденсатора: $C1 = 3,5(5 + 15) / (200 - 0,7 * 9) = 0,361$ мкФ. Выбираем номинальное значение емкости 0,39 мкФ и по формуле (4) проверяем максимальный ток через стабилитрон: $I_{CT \max} = (240 - 0,7 * 9)0,39 / 3,5 - 5 = 21$ мА. По справочнику выберем стабилитрон Д814Б, имеющий необходимое напряжение стабилизации.

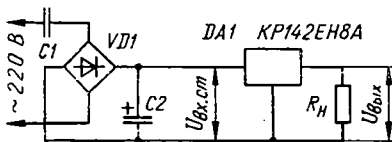


Рис. 127. Типичная ошибка с подключением последовательного стабилизатора напряжения

Рассмотрим здесь типичную ошибку, когда вместо стабилизатора используют последовательный стабилизатор напряжения (рис. 127). Рассчитаем источник при тех же исходных параметрах, но будем считать, что для обеспечения выходного напряжения 9 В напряжение на входе стабилизатора $U_{\text{вх.ст}}$ должно быть не менее 12 В. Ток, потребляемый собственно стабилизатором DA1, будем считать равным:

$I_{\text{пот}} = 10$ мА.

$$C1 = 3,5(I_{\text{пот}} + I_{H \max}) / (U_{C \min} - 0,7U_{\text{вх.ст}}) \quad (5)$$

$C1 = 3,5(10 + 15) / (200 - 0,7 * 12) = 0,457$ мкФ. Выбираем $C1 = 0,47$ мкФ.

При увеличении напряжения сети и уменьшении тока нагрузки входное напряжение стабилизатора $U_{\text{вх.ст}}$ будет, разумеется, увеличиваться. Для его расчета преобразуем формулу (5) к необходимому виду: $U_{\text{вх.ст max}} = U_{C \max} / 0,7 - 5(I_{\text{пот}} + I_{H \min}) / C1$. Вычислим $U_{\text{вх.ст max}} = 240 / 0,7 - 5(10 + 5) / 0,47 = 183$ В. Такое напряжение, конечно же, не выдержит ни один микросхемный стабилизатор. Итак, стабилитрон необходим и в этом случае.

Для оценки емкости конденсатора C2, обеспечивающей заданную амплитуду пульсаций выходного напряжения, будем считать, что для

источника по схеме рис. 124 зарядка этого конденсатора длится четверть периода напряжения сети, и столько же - разрядка. При таком приближении двойное напряжение пульсаций $2U_{\Pi}$ (размах) равно: $2U_{\Pi} = 0,25I_{\text{н max}}/fC$.

Аналогично можно считать, что для источника по схеме рис. 126 зарядка длится то же время, а разрядка - три четверти периода: $2U_{\Pi} = 0,75I_{\text{н max}}/fC$.

Для выходного напряжения менее 100 В реально зарядка длится большее время, разрядка - меньшее, и эти выражения дают заметно завышенный результат, поэтому расчет емкости сглаживающего конденсатора по полученным из них формулам обеспечивает некоторый запас: $C = 5I_{\text{н max}}/2U_{\Pi}$ (для рис. 124); $C = 15I_{\text{н max}}/2U_{\Pi}$ (для рис. 126), где ток - в миллиамперах, емкость - в микрофарадах, напряжение - в вольтах.

Хотя стабилитрон и уменьшает напряжение пульсаций, использовать сглаживающий конденсатор емкостью, менее рассчитанной, не рекомендуется. В ранее рассмотренном примере при размахе пульсаций 0,2 В емкость сглаживающего конденсатора равна: $C2 = 5 \cdot 15 / 0,2 = 375$ мкФ.

Для ограничения броска тока через диоды выпрямительного моста в момент включения источника в сеть последовательно с гасящим конденсатором необходимо включать токоограничивающий резистор. Чем меньше сопротивление этого резистора, тем меньше потери в нем. Для диодного моста КЦ407А или моста из диодов КД103А достаточно резистора сопротивлением 36 Ом.

Рассеиваемую на нем среднюю мощность P можно определить по формуле: $P = 5,6C1^2R$, где емкость - в микрофарадах, сопротивление - в омах, мощность - в милливаттах. Для рассмотренного выше примера $P = 5,6 \cdot 0,39^2 \cdot 36 = 30$ мВт. Для надежности (ведь в момент включения к резистору может быть приложено амплитудное напряжение сети) рекомендуется использовать резистор мощностью не менее 0,5 Вт.

Для того, чтобы исключить возможность поражения электротокком при налаживании устройств с рассматриваемыми источниками, питать их следует не от сети, а от сетевого лабораторного низковольтного блока питания через токоограничительный резистор. Выходное напряжение лабораторного блока устанавливается больше напряжения питания налаживаемого устройства настолько, чтобы ток через токоограничительный резистор был близок к $I_{\text{ст min}} + I_{\text{н max}}$.

Иногда удобно использовать в роли токоограничительного резистора источника, ограничивающий бросок тока через диоды выпрямительного моста. В этом случае достаточно замкнуть выводы

гасящего конденсатора проволочной перемычкой. Не забудьте удалить эту перемычку или дополнительный резистор перед включением устройства в сеть!

Интерес представляют также источники питания, в которых гасящий конденсатор включен в цепь первичной обмотки трансформатора. Основное назначение трансформатора - гальванически развязать нагрузку от сети. Стремиться уменьшать коэффициент трансформации не следует, это приведет к необходимости увеличивать емкость гасящего конденсатора. Нет особого смысла и во включении двух стабилитронов до моста вместо одного за мостом, как обычно.

В устройствах для зарядки аккумуляторных батарей такой источник обеспечивает весьма стабильный выходной (зарядный) ток при минимальной габаритной мощности трансформатора и предельной схемной простоте [18]. Формулы для расчета источника отличаются от ранее полученных лишь учетом коэффициента трансформации n трансформатора (C_1 - емкость гасящего конденсатора):

$$I_{cp} = 4fC_1 \ln(U_{c \text{ ампл}} - nU_{\text{вых}}) = 4fC_1 \ln(1,41U_c - nU_{\text{вых}}).$$

Для зарядного устройства не нужен стабилитрон и сглаживающий конденсатор. Формулу для расчета емкости гасящего конденсатора нетрудно получить из предыдущей: $C_1 = I_{cp} / 4fn(1,41U_c - nU_{\text{вых}})$.

Каждому значению выходного напряжения соответствует оптимальное значение коэффициента трансформации $n_{\text{опт}}$, при котором емкость гасящего конденсатора минимальна: $n_{\text{опт}} = 0,7U_c / U_{\text{вых}}$. При этом амплитудное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора (оно имеет форму, показанную на графике 2, рис. 125) $U_{I \text{ ампл}} = 0,7U_c = 155 \text{ В}$.

На рис. 128 представлена зависимость емкости гасящего конденсатора C_1 от амплитудного значения напряжения на первичной обмотке трансформатора $U_{I \text{ ампл}}$ для получения на вторичной обмотке

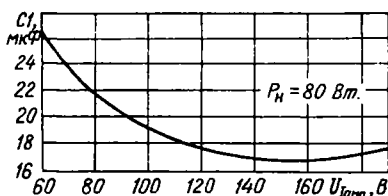


Рис. 128. Зависимость емкости гасящего конденсатора от напряжения на первичной обмотке трансформатора

мощности $I_{cp}U_{\text{вых}} = 80 \text{ Вт}$ без учета потерь в трансформаторе:

$$C_1 = I_{cp}U_{\text{вых}} / 4fU_{I \text{ ампл}}(1,41U_c - U_{I \text{ ампл}}) = 80 / 200U_{I \text{ ампл}}(310 - U_{I \text{ ампл}}).$$

Характер кривой показывает, что расчетное напряжение первичной обмотки трансформатора не критично. Увеличение требуемой емкости гасящего конденсатора при уменьшении этого напряжения от оптимального значения 155 В до, например, стандартного для одного из вариантов включения первичной обмотки серийных

трансформаторов ТПП, ТН значения 127 В, не превышает нескольких процентов.

Напомним здесь, что не все конденсаторы могут работать в качестве гасящих. Из опыта автора следует, что конденсаторы К73-16 и К73-17 на рабочее напряжение 250 В и более работают в таких устройствах вполне надежно. Если нужны конденсаторы большой емкости, следует использовать МБГЧ или К42-19 на то же рабочее напряжение или другие конденсаторы на напряжение не менее 500 В.

Если нагрузочный ток рассмотренного выше бестрансформаторного источника меняется, то, как показано выше, параллельно нагрузке необходимо включать стабилитрон, что существенно снижает КПД устройства.

Повысить его можно, если ограничительный конденсатор заменить на конденсаторный делитель [19].

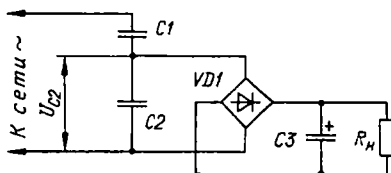


Рис. 129. Источник с емкостным делителем

Расчет источника с емкостным делителем несложен. Формула (2) пригодна и здесь, в ней просто надо заменить $C1$ на суммарную емкость параллельно соединенных конденсаторов $C1$ и $C2$, показанных на рис. 129, а U_c - на U_{c2x} (напряжение на конденсаторе $C2$ в режиме холостого хода, т. е. $U_{c2x} = U_c C1 / (C1 + C2)$). Тогда $I_{вых} = 4f(C1 + C2)[1,41U_c C1 / (C1 + C2) - U_{вых}]$ или после очевидных преобразований $I_{вых} = 4fC1[1,41U_c - U_{вых}(1 + C2/C1)]$.

Поскольку падение напряжения на диодах моста U_d при малых значениях $U_{вых}$ становится заметным, получим окончательно $I_{вых} = 4fC1[1,41U_c - (U_{вых} + 2U_d)(1 + C2/C1)]$.

Из формулы видно, что при $R_n = 0$ (т. е. при $U_{вых} = 0$) ток $I_{вых}$, если пренебречь падением напряжения на диодах, остается таким же, как у источника питания, собранного по схеме 124. Напряжение же на выходе без нагрузки уменьшается: $U_{вых.х} = 1,41U_c C1 / (C1 + C2) - 2U_d$.

Емкость и рабочее напряжение конденсатора $C2$ выбирают исходя из необходимого выходного напряжения - соотношение значений емкости $C1/C2$ обратно пропорционально значениям падающего на $C1$ и $C2$ напряжения. Например, если $C1 = 1$ мкФ, а $C2 = 4$ мкФ, то напряжение U_{C1} будет равно $4/5$ напряжения сети, а $U_{C2} = U_c/5$, что при напряжении сети $U_c = 220$ В соответствует 186 и 44 В. Необходимо учесть, что амплитудное значение напряжения в 1,4 раза превышает действующую, и выбрать конденсаторы на соответствующее номинальное напряжение.

Ниже представлены две практические схемы источников питания с конденсаторным делителем [19]: пятивольтовый общего назначения

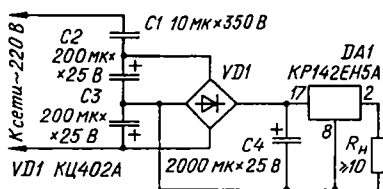


Рис. 130. Бестрансформаторный источник на 5 В

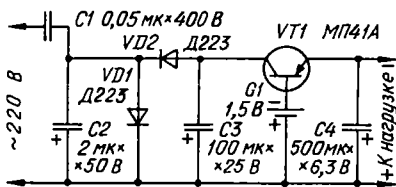


Рис. 131. Источник бесперебойного питания для электронно-механических часов

(рис. 130) на ток нагрузки до 0,3 А и источник бесперебойного питания для электронно-механических часов (рис. 131).

Делитель напряжения пятивольтового источника состоит из бумажного конденсатора С1 и двух оксидных С2 и С3, образующих ниже по схеме неполярное плечо емкостью 100 мкФ. Поляризуемыми диодами для оксидной пары служат левые по схеме диоды моста. При номиналах элементов, указанных на схеме, ток замыкания (при $R_n=0$) равен 600 мА, напряжение на конденсаторе С4 в отсутствие нагрузки - 27 В.

Электронно-механические часы обычно питают от одного гальванического элемента напряжением 1,5 В. Предлагаемый источник вырабатывает напряжение 1,4 В при среднем токе нагрузки 1 мА. Напряжение, снятое с делителя С1С2, выпрямляет узел на элементах VD1, VD2, С3. Без нагрузки напряжение на конденсаторе С3 не превышает 12 В.

Транзистор VT1, включенный эмиттерным повторителем, и гальванический элемент G1 составляют стабилизатор напряжения. На выходе источника будет напряжение элемента минус падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора.

Ток, потребляемый от элемента G1 при наличии сетевого напряжения, меньше тока нагрузки в $h_{21Э}$ раз, что существенно продлевает срок службы элемента. Практически это означает, что элемент приходится заменять не из-за его разрядки током нагрузки, а вследствие других причин - саморазрядки, высыхания электролита и т. п.

В случае пропадания напряжения в сети транзистор выходит из режима эмиттерного повторителя и нагрузку питает гальванический элемент G1 через открытый эмиттерный переход. После появления сетевого напряжения транзистор возвращается в режим эмиттерного повторителя и нагрузка переходит на питание от сети. Конденсатор С4 обеспечивает нормальную работу часов при глубокой разрядке элемента G1.

Диоды Д223 можно заменить на любые другие, транзистор МП41А - на любой германиевый структуры р-п-р. Элемент G1

лучше использовать щелочные, например, Duracell, Energizer. Реальный срок эксплуатации такого элемента в блоке питания может достигать 10 лет.

И последнее. Конструкция бестрансформаторных источников и устройств, питающихся от них, должна исключать возможность прикосновения к любым проводникам в процессе эксплуатации. Особое внимание нужно уделить изоляции органов управления.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ФЭУ

В этом разделе описан преобразователь напряжения, предназначенный для питания фотоэлектронного умножителя, входящего в состав чувствительного радиометрического комплекса. Схемотехнические решения, заложенные в преобразователе, могут быть использованы при разработке стабилизированных источников питания многих других электронных устройств.

Преобразователь, схема которого приведена на рис. 132, обеспечивает на выходе напряжение 1000 В. Стабильность выходного напряжения такова, что при колебании тока нагрузки от 0 до 200 мкА изменение выходного напряжения не обнаружимо по четырехзначному цифровому вольтметру, т. е. не превышает 0,1 %.

Устройство собрано по традиционной схеме с использованием обратного выброса напряжения самоиндукции. Транзистор VT1, работающий в ключевом режиме, подает на первичную обмотку трансформатора T1 напряжение источника питания на время, равное 10...16 мкс. В момент закрывания транзистора энергия, накопленная в магнитопроводе трансформатора, преобразуется в импульс напряжения около 250 В на вторичной обмотке (около 40 В - на первичной). Умножитель напряжения, образованный диодами VD3 - VD10 и конденсаторами C8 - C15, повышает его до 1000 В.

Импульсы управления транзистором VT1 вырабатывает генератор с регулируемой скважностью, собранный на элементах DD1.1 - DD1.3. Управление скважностью импульсов осуществляется выходным напряжением операционного усилителя DA1.

Выходное напряжение преобразователя через резистивный делитель R1 - R3 поступает на неинвертирующий вход операционного усилителя и сравнивается им с образцовым напряжением, стабилизированным термокомпенсированным стабилизатором VD1. В момент включения выходное напряжение преобразователя равно нулю, близко к нулю и напряжение на выходе ОУ DA1. Генератор формирует импульсы максимальной длительности. При соотношении сопротивлений резисторов R9, R11, R12, указанных на схеме,

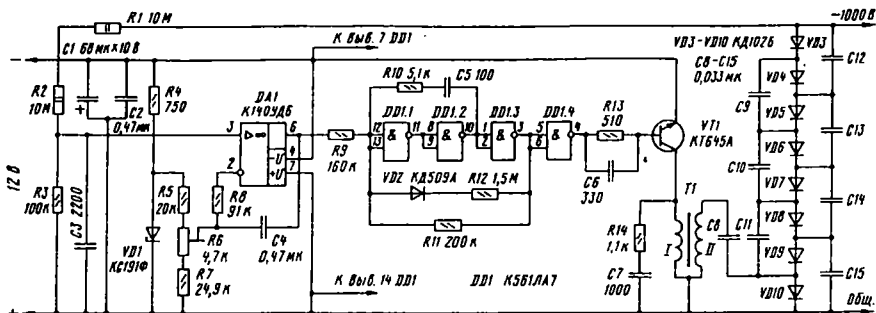


Рис. 132. Принципиальная схема преобразователя напряжения

отношение длительности импульсов положительной полярности на выходе элемента DD1.4 к периоду их повторения (коэффициент заполнения) близко к 0,65. При достижении выходным напряжением заданного значения отрицательное напряжение на выходе ОУ DA1 возрастает, коэффициент заполнения уменьшается, а выходное напряжение стабилизируется.

Во время испытания описываемого здесь преобразователя длительность импульсов при нагрузке в указанных выше пределах изменялась от 10 до 12 мкс, а их частота повторения - от 18 до 30 кГц, что соответствует коэффициенту заполнения от 0,18 до 0,4. Потребляемый ток увеличивался с 22 до 47 мА. При максимальной нагрузке и уменьшении питающего напряжения до 10,5 В длительность импульсов увеличивалась до 16 мкс при частоте 36 кГц, что соответствует коэффициенту заполнения 0,57. Дальнейшее снижение напряжения питания приводило к срыву стабилизации. При токе нагрузки 100 мкА стабилизация сохраняется до напряжения источника питания 9,5 В.

Конденсатор C3 образует нижнее плечо емкостной части делителя выходного напряжения. Без него напряжение пульсаций с выхода преобразователя, равное примерно 1 В, проходило бы на вход ОУ DA1 через емкость резисторов R1 и R2 практически без ослабления. Конденсатор C4 обеспечивает преобразователю устойчивость работы в целом. Диод VD2 и резистор R12 ограничивают максимально возможный коэффициент заполнения. Минимальные длительность импульсов и коэффициент заполнения определяются соотношением сопротивлений резисторов R9 и R11. С уменьшением сопротивления резистора R9 минимальный коэффициент заполнения уменьшается и может стать равным нулю.

Стабильность выходного напряжения при различных нагрузках обеспечивается за счет большого коэффициента усиления в петле

обратной связи преобразователя. Для устойчивости работы преобразователя при таком коэффициенте усиления необходим конденсатор С4 относительно большой емкости. Но это приводит к увеличению длительности установления выходного напряжения при скачкообразных изменениях нагрузки. Сократить время установления можно уменьшением емкости конденсатора С4, включением последовательно с ним резистора сопротивлением в несколько десятков килоом, подключением параллельно этому конденсатору резистора сопротивлением в несколько мегаом.

Все детали преобразователя можно смонтировать на печатной плате, выполненной из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Показанная на рис. 133 плата рассчитана в основном на установку резисторов МЛТ. Резисторы R1 - R3, R5 и R7, от которых зависит долговременная стабильность преобразователя, - стабильные С2-29. Подстроечный резистор R6 - СПЗ-19а. Конденсатор С1 - К53-1, С8 - С15 - К73-17 на номинальное напряжение 400 В, другие конденсаторы - КМ-5, КМ-6. Выбор стабилитрона VD1 определяется предъявляемыми требованиями по стабильности. Диод VD2 - любой

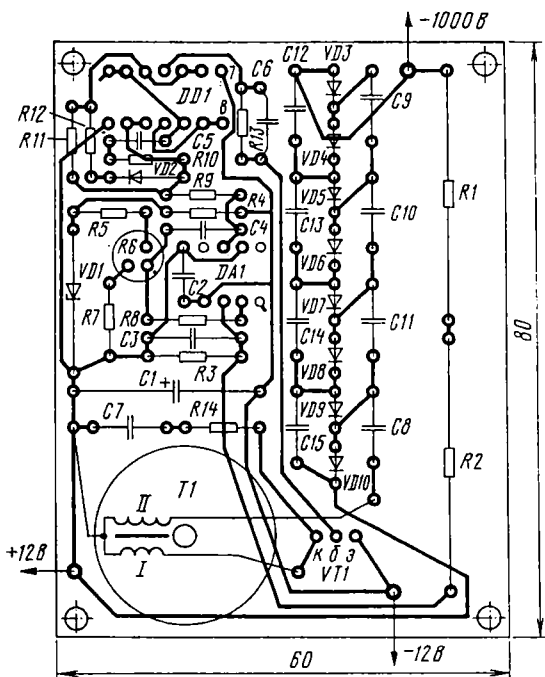


Рис. 133. Печатная плата преобразователя напряжения

кремниевый маломощный, а диоды умножителя напряжения (VD3 - VD10) могут быть КД104А. Микросхема К561ЛА7 заменима на К561ЛЕ5, КР1561ЛА7, КР1561ЛЕ5 или на аналогичные из серии 564.

Транзистор VT1 должен быть высокочастотным или среднечастотным, с допустимым напряжением коллектор - эмиттер не менее 50 В и напряжением насыщения не более 0,5 В при токе коллектора 100 мА. Для ускорения выхода среднечастотного транзистора из насыщения при выключении емкость конденсатора С6 следует увеличить.

Операционный усилитель К140УД6 (DA1) можно заменить на КР140УД6 без изменения рисунка печатных проводников платы или на любой другой с полевыми транзисторами на входе.

Трансформатор Т1 намотан на кольцевом магнитопроводе типоразмера К20 × 12 × 6 из феррита М1500НМ3. Первичная обмотка содержит 35 витков, а вторичная - 220 витков провода ПЭЛШО 0,2. С целью уменьшения межобмоточной емкости провод вторичной обмотки следует укладывать одним толстым слоем, постепенно смещаясь по магнитопроводу, при этом первый и последний витки должны оказаться рядом. Первичная обмотка однослойная, ее наматывают поверх вторичной. Полярность подключения выводов обмоток роли не играет.

Настраивать преобразователь следует в таком порядке. Отключить первичную обмотку трансформатора от транзистора, а верхний (по схеме) вывод резистора R3 соединить с минусовым выводом источника питания через два резистора с общим сопротивлением 140 кОм. При вращении движка подстроечного резистора R6 коэффициент заполнения импульсов на выходе элемента DD1.4 (контролировать осциллографом или вольтметром постоянного напряжения, включенным между выходом этого элемента и общим проводом) должен скачком изменяться от минимального (примерно 0,1 или импульсы могут исчезать полностью) до максимального (0,65). Движок подстроечного резистора зафиксировать в положении возникновения этого скачка.

Затем полностью смонтировать преобразователь, подключить к его выходу вольтметр с входным сопротивлением не менее 10 МОм и включить питание. Выходное напряжение можно контролировать таким же вольтметром и по напряжению на резисторе R3 (5 В) или микроамперметром, включенным последовательно с этим резистором (50 мкА). Далее подстроить резистором R6 выходное напряжение преобразователя и проверить стабильность его работы при изменении нагрузки и напряжения источника питания.

Для уменьшения помех, излучаемых преобразователем, он по-

мещен в латунный корпус. При необходимости большего подавления помех во вторичную цепь преобразователя можно включить простейший RC-фильтр, а в первичную - дроссель ДМ-0,1 индуктивностью 400 мкГн и проходной конденсатор.

Описанный преобразователь рассчитан на работу от стабилизированного источника питания 12 В, у которого с общим проводом соединен плюсовой вывод. Но без каких-либо изменений в монтаже с общим проводом можно соединить минусовый вывод источника питания.

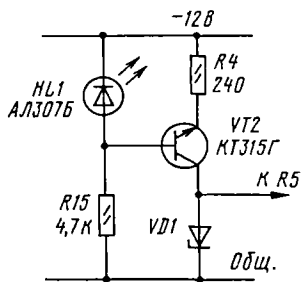


Рис. 134. Цепь питания стабилизатора

В порядке эксперимента испытан вариант этого преобразователя с питанием от двуполярного источника ± 12 В. Основная его часть собрана по такой же схеме, конденсатор С1 (на номинальное напряжение 30 В), вдвое меньшей емкости, включен между цепями +12 и -12 В, нижние (по схеме) вывод резистора R14 и вывод первичной обмотки трансформатора Т1 подключены к цепи +12 В. Номиналы замененных элементов: R13 - 1,1 кОм, С6 - 1600 пФ, С7 - 430 пФ, R14 - 2 кОм. Транзистор VT1 - КТ815Г. Число витков первичной обмотки трансформатора Т1 увеличено в два раза.

Если использовать нестабилизированный источник питания, то коэффициент стабилизации цепи R4VD1 может оказаться недостаточным. В этом случае цепь питания стабилизатора следует выполнить по схеме, приведенной на рис. 134. Светодиод HL1 будет выполнять функцию индикатора включения питания.

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

При разработке различных устройств радиолюбители пользуются обычно двумя способами изготовления печатных плат - прорезанием канавок и травлением рисунка, используя стойкую краску. Первый способ прост, но непригоден для выполнения сложных устройств. Второй - более универсален, но порой пугает радиолюбителей сложностью из-за незнания некоторых правил при проектировании и изготовлении травленных плат. Об этих правилах и рассказывается в разделе.

Проектировать печатные платы наиболее удобно в масштабе 2:1 на миллиметровке или другом материале, на котором нанесена сетка с шагом 5 мм. При проектировании в масштабе 1:1 рисунок получается мелким, плохо читаемым и поэтому при дальнейшей работе над печатной платой неизбежны ошибки. Масштаб 4:1 приводит к большим размерам чертежа и неудобству в работе.

Все отверстия под выводы деталей в печатной плате целесообразно размещать в узлах сетки, что соответствует шагу 2,5 мм на реальной плате (далее по тексту указаны реальные размеры). С таким шагом расположены выводы у большинства микросхем в пластмассовом корпусе, у многих транзисторов и других радиокомпонентов. Меньшее расстояние между отверстиями следует выбирать лишь в тех случаях, когда это крайне необходимо.

В отверстия с шагом 2,5 мм, лежащие на сторонах квадрата 7,5 × 7,5 мм, удобно монтировать микросхему в круглом металло-стеклянном корпусе. Для установки на плату микросхемы в пластмассовом корпусе с двумя рядами жестких выводов в плате необходимо просверлить два ряда отверстий. Шаг отверстий - 2,5 мм, расстояние между рядами кратно 2,5 мм. Заметим, что микросхемы с жесткими выводами требуют большей точности разметки и сверления отверстий.

Если размеры печатной платы заданы, вначале необходимо начертить ее контур и крепежные отверстия. Вокруг отверстий выделяют запретную для проводников зону с радиусом, несколько

превышающим половину диаметра металлических крепежных элементов.

Далее следует примерно расставить наиболее крупные детали - реле, переключатели (если их впаивают в печатную плату), разъемы, большие детали и т.д. Их размещение обычно связано с общей конструкцией устройства, определяемой размерами имеющегося корпуса или свободного места в нем. Часто, особенно при разработке портативных приборов, размеры корпуса определяют по результатам разводки печатной платы.

Цифровые микросхемы предварительно расставляют на плате рядами с межрядными промежутками 7,5 мм. Если микросхем не более пяти, все печатные проводники обычно удается разместить на одной стороне платы и обойтись небольшим числом проволочных перемычек, впаиваемых со стороны деталей. Попытки изготовить одностороннюю печатную плату для большего числа цифровых микросхем приводят к резкому увеличению трудоемкости разводки и чрезмерно большому числу перемычек. В этих случаях разумнее перейти к двусторонней печатной плате.

Условимся называть ту сторону платы, где размещены печатные проводники, стороной проводников, а обратную - стороной деталей, даже если на ней вместе с деталями проложена часть проводников. Особый случай представляют платы, у которых и проводники, и детали размещены на одной стороне, причем детали припаяны к проводникам без отверстий. Платы такой конструкции применяют редко.

Микросхемы размещают так, чтобы все соединения на плате были возможно короче, а число перемычек было минимальным. В процессе разводки проводников взаимное размещение микросхем приходится менять не раз.

Рисунок печатных проводников аналоговых устройств любой сложности обычно удается развести на одной стороне платы. Аналоговые устройства, работающие со слабыми сигналами, и цифровые на быстродействующих микросхемах (например, серий КР531, КР1531, К500, КР1554) независимо от частоты их работы целесообразно собирать на платах с двусторонним фольгированием, причем фольга той стороны платы, где располагают детали, будет играть роль общего провода и экрана. Фольгу общего провода не следует использовать в качестве проводника для большого тока, например, от выпрямителя блока питания, от выходных ступеней, от динамической головки.

Далее можно начинать собственно разводку. Полезно заранее измерить и записать размеры мест, занимаемых используемыми элементами. Резисторы МЛТ-0,125 устанавливают рядом, соблюдая

расстояние между их осями 2,5 мм, а между отверстиями под выводы одного резистора - 10 мм. Так же размечают места для чередующихся резисторов МЛТ-0,125 и МЛТ-0,25, либо двух резисторов МЛТ-0,25, если при монтаже слегка отогнуть один от другого (три таких резистора поставить вплотную к плате уже не удастся).

С такими же расстояниями между выводами и осями элементов устанавливают большинство малогабаритных диодов и конденсаторов КМ-5 и КМ-6, вплоть до КМ-6б емкостью 2,2 мкФ; не надо размещать бок о бок две "толстые" (более 2,5 мм) детали, их следует чередовать с "тонкими". Если необходимо, расстояние между контактными площадками той или иной детали увеличивают относительно необходимого.

В этой работе удобно использовать небольшую пластину-шаблон из стеклотекстолита или другого материала, в которой с шагом 2,5 мм насверлены рядами отверстия диаметром 1...1,1 мм, и на ней примерять возможное взаимное расположение элементов.

Если резисторы, диоды и другие детали с осевыми выводами располагать перпендикулярно печатной плате, можно существенно уменьшить ее площадь, однако рисунок печатных проводников усложнится.

При разводке следует учитывать ограничения в числе проводников, уместяющихся между контактными площадками, предназначенными для подпайки выводов радиоэлементов. Для большинства используемых в радиолюбительских конструкциях деталей диаметр отверстий под выводы может быть равен 0,8 мм. Ограничения на число проводников для типичных вариантов расположения контактных площадок с отверстиями такого диаметра приведены на рис. 135 (сетка соответствует шагу 2,5 мм на плате).

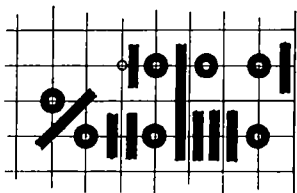


Рис. 135. Типичные варианты расположения контактных площадок и отверстий на печатных платах

Между контактными площадками отверстий с межцентровым расстоянием 2,5 мм провести проводник практически нельзя. Однако это можно сделать, если у одного или обоих отверстий такая площадка отсутствует (например, у неиспользуемых выводов микросхемы или у выводов любых деталей, припаяваемых на другой стороне платы). Такой вариант показан на рис. 135 посредине сверху.

Вполне возможна прокладка проводника между контактной площадкой, центр которой лежит в 2,5 мм от края платы, и этим краем (рис. 135 справа).

При использовании микросхем, у которых выводы расположены в плоскости корпуса (серии 133, К134 и др.), их можно смонтировать, предусмотрев для этого соответствующие фольговые контактные площадки с шагом 1,25 мм, однако это заметно затрудняет и разводку, и изготовление платы. Гораздо целесообразнее чередовать подпайку выводов микросхемы к прямоугольным площадкам со стороны деталей и к круглым площадкам через отверстия - на противоположной стороне (рис. 136; ширина выводов микросхемы показана не в масштабе). Плата здесь - двусторонняя.

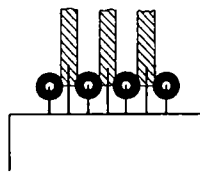


Рис. 136. Контактные площадки для микросхем в планарных корпусах

Подобные микросхемы, имеющие длинные выводы (например, серии 100), можно монтировать так же, как пластмассовые, изгибая выводы и пропуская их в отверстия платы. Контактные площадки в этом случае располагают в шахматном порядке (рис. 137).

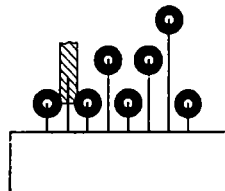


Рис. 137. Контактные площадки для микросхем с длинными выводами

При разработке двусторонней платы надо постараться, чтобы на стороне деталей осталось возможно меньшее число соединений. Это облегчит исправление возможных ошибок, налаживание устройства и, если необходимо, его модернизацию. Под корпусами микросхем проводят лишь общий провод и провод питания, но подключать их нужно только к выводам питания микросхем. Проводники к входам микросхем, подключаемым к цепи питания или общему проводу, прокладывают на стороне проводников, причем так, чтобы их можно было легко перерезать при налаживании или усовершенствовании устройства.

Если же устройство настолько сложно, что на стороне деталей приходится прокладывать и проводники сигнальных цепей, позаботьтесь о том, чтобы любой из них был доступен для подключения к нему и перерезания.

При разработке радиолюбительских двусторонних печатных плат нужно стремиться обойтись без специальных перемычек между сторонами платы, используя для этого контактные площадки соответствующих выводов монтируемых деталей; выводы в этих случаях пропаивают с обеих сторон платы. На сложных платах иногда удобно некоторые детали подпаивать непосредственно к печатным проводникам.

При использовании сплошного слоя фольги платы в роли общего провода отверстия под выводы, не подключаемые к этому проводу, следует раззенковать со стороны деталей.

Обычно узел, собранный на печатной плате, подключают к другим узлам устройства гибкими проводниками. Чтобы не испортить печатные проводники при многократных перепайках, желательно предусмотреть на плате в точках соединений контактные стойки (удобно использовать штыревые контакты диаметром 1 и 1,5 мм от разъемов 2РМ). Стойки вставляют в отверстия просверленные точно по диаметру и пропаивают. На двусторонней печатной плате контактные площадки для распайки каждой стойки должны быть на обеих сторонах.

Предварительную разводку проводников удобно выполнять мягким карандашом на листе гладкой бумаги. Сторону печатных проводников рисуют сплошными линиями, обратную сторону - штриховыми.

По окончании разводки и корректировки чертежа под него кладут копировальную бумагу красящим слоем вверх и красной или зеленой шариковой ручкой обводят контуры платы, а также проводники и отверстия, относящиеся к стороне деталей. В результате на обратной стороне листа получится рисунок проводников для стороны деталей.

Далее следует вырезать из фольгированного материала заготовку соответствующих размеров и разметить ее с помощью штангенциркуля сеткой с шагом 2,5 мм. Кстати, размеры платы удобно выбрать кратными 2,5 мм - в этом случае размечать ее можно с четырех сторон. Если плата должна иметь какие-либо вырезы, их делают после разметки. Двустороннюю плату размечают со стороны, где проводников больше.

После этого фломастером размечают "по клеточкам" центры всех отверстий, накалывают их шилом и сверлят все отверстия сверлом диаметром 0,8 мм.

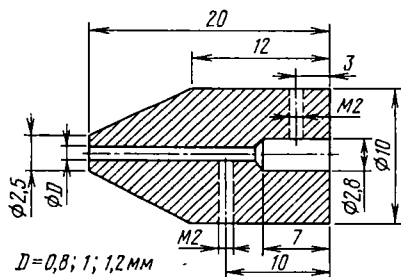


Рис. 138. Патроны-втулки для миниатюрной электродрели

Для сверления плат удобно пользоваться самодельной миниатюрной электродрелью. Ее изготавливают на основе небольшого электродвигателя, лучше низковольтного. На его валу укрепляют сменные латунные патроны-втулки (рис. 138) на разные диаметры D сверла (например, 0,8, 1, 1,2 мм).

Обычные стальные сверла при обработке стеклотекстолита до-

вольно быстро тупятся; затачивают их небольшим мелкозернистым бруском, не вынимая сверла из патрона.

После сверления платы заусенцы с краев отверстий снимают сверлом большего диаметра или мелкозернистым бруском. Плату обезжиривают, протерев салфеткой, смоченной спиртом или ацетоном, после чего, ориентируясь на положение отверстий, переносят на нее нитрокраской рисунок печатных проводников в соответствии с чертежом.

Для этого обычно используют стеклянный рейсфедер, но лучше изготовить простой самодельный чертежный инструмент. К концу обломанного ученического пера припаять укороченную до 10...15 мм инъекционную иглу диаметром 0,8 мм. Рабочую часть иглы надо зашлифовать на мелкозернистой наждачной бумаге.

В воронку инструмента каплями заливают нитрокраску и, осторожно взяв ее в губы, слегка дуют для того, чтобы краска прошла через канал иглы. После этого надо лишь следить за тем, чтобы воронка была наполнена краской не менее чем наполовину.

Необходимую густоту краски определяют опытным путем по качеству проводимых линий. При необходимости ее разбавляют ацетоном или растворителем 647. Если же надо сделать краску более густой, ее оставляют на некоторое время в открытой посуде.

В первую очередь рисуют контактные площадки, а затем проводят соединения между ними, начиная с тех участков, где проводники расположены тесно. После того, как рисунок в основном готов, следует по возможности расширить проводники общего провода и питания, что уменьшит их сопротивление и индуктивность, а значит, повысит стабильность работы устройства. Целесообразно также увеличить контактные площадки, особенно те, к которым будут припаяны стойки и крупногабаритные детали. Для защиты больших поверхностей фольги от травильного раствора их заклеивают любой липкой пленкой.

В случае ошибки при нанесении рисунка не торопитесь сразу же исправлять ее - лучше поверх неверно нанесенного проводника проложить правильный, а лишнюю краску удалить при окончательном исправлении рисунка (его проводят, пока краска не засохла). Острым скальпелем или бритвой прорезают удаляемый участок по границам, после чего его выскребают.

Специально сушить нитрокраску после нанесения рисунка не нужно. Пока вы исправляете плату, отмываете инструмент, краска просохнет. Для очистки канала иглы от краски удобно использовать отрезок тонкой стальной проволоки, который можно хранить в той же игле.

Травят плату обычно в растворе хлорного железа. Нормальной концентрацией раствора можно считать 20...50%. Автор разводит 500 г порошка хлорного железа в горячей кипяченой воде до получения общего объема раствора, равного 1 л. Раствор хранят в обычной литровой стеклянной банке, а перед травлением подогревают до 45...60°C, поставив банку в горячую воду.

Платы размерами до 130 × 65 мм удобно травить в этой же банке, подвесив их на медном обмоточном проводе диаметром 0,5...0,6 мм. Платы больших размеров травят в литровом полиэтиленовом пакете из под сока или фотографической кюветы, для чего в угловые крепежные отверстия платы вставляют обломки спичек, обеспечивающие зазор 5...10 мм между платой и дном кюветы. Продолжительность травления - 10...60 мин, она зависит от температуры, концентрации раствора, толщины медной фольги. Для интенсификации процесса раствор перемешивают, покачивая банку или кювету. Поскольку раствор быстро остывает, банку или кювету лучше поставить в другой сосуд больших габаритов с горячей водой, ее периодически подогревают или заменяют воду. Травление проводят под вытяжкой или в хорошо проветриваемом помещении.

Раствор можно использовать многократно в течение нескольких лет. Существуют способы регенерации отработавшего раствора.

Протравленную плату тщательно отмывают от следов хлорного железа под струей горячей воды, одновременно очищая каким-либо скребком от рисунка, сделанного нитрокраской.

Промытую плату просушивают, рассверливают и при необходимости раззенковывают отверстия, в том числе и не имеющие контактной площадки, зачищают мелкозернистой наждачной бумагой, протирают салфеткой, смоченной спиртом или ацетоном, а затем покрывают канифольным лаком (раствор канифоли в спирте).

Некоторые радиолюбители рекомендуют лудить все проводники платы. По мнению автора, такие платы выглядят весьма кустарно, кроме того, при лужении возможно замыкание соседних проводников перемычками из припоя.

Перед монтажом радиоэлементов на плату потемневшие выводы следует зачищать до блеска, лудить их не обязательно. В качестве флюса лучше пользоваться канифольным лаком, а не твердой канифолью. Микросхемы следует подпаивать за кончики выводов, вставляя их в монтажные отверстия не до упора, а лишь до выхода выводов со стороны пайки на 0,5...0,8 мм, - это облегчит их демонтаж в случае ремонта и уменьшит вероятность замыканий в двусторонних платах. Под радиоэлементы в металлических корпусах при монтаже на двустороннюю плату следует подложить бумажные прокладки и приклеить их к плате тем же канифольным лаком.

При монтаже полевых транзисторов с изолированным затвором и микросхем структуры МОП и КМОП для исключения случайного пробоя их статическим электричеством нужно уравнивать потенциалы монтируемой платы, паяльника и тела монтажника. Для этого на ручку паяльника достаточно намотать бандаж из нескольких витков неизолированного провода (или укрепить металлическое кольцо) и соединить его через резистор сопротивлением 100...200 кОм с металлическими частями паяльника. Конечно, обмотка паяльника не должна иметь контакта с его жалом. Во время монтажа следует касаться свободной рукой проводников питания на монтируемой плате. Если микросхема хранится в металлической коробке или ее выводы защищены фольгой, прежде чем взять микросхему, нужно дотронуться до коробки или фольги и "снять" статическое электричество.

Смонтированную плату желательно отмыть спиртом, пользуясь небольшой жесткой кистью, а затем покрыть канифольным лаком - такое покрытие, как ни странно, весьма влагостойко и сохранит "паяемость" платы долгие годы, что удобно при ремонте и доработке устройства.

В заключение остается напомнить, что в журнале "Радио", 1996 г., 5, с. 59, 60 приведен указатель статей по радиолюбительской технологии и, в частности, по разработке и изготовлению печатных плат, различных приспособлений для монтажа, облегчающих труд радиолюбителя.

ПОИСК ЗАМЫКАНИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Редко после завершения монтажа печатной платы обнаруживается замыкание между проводниками, которое трудно найти из-за разветвленности проводников. В разделе описывается эффективный способ поиска замыканий в платах, не требующий специального оборудования и пригодный для работы как с чистыми, так и со смонтированными платами.

Рассмотрим предлагаемый способ на примере поиска замыкания между проводниками питания и общего провода в сложном устройстве, содержащем много микросхем. Этот случай весьма распространен, поскольку указанные проводники распределены по всей плате и подходят к каждой микросхеме.

Фрагмент варианта расположения проводников на условной плате приведен на рис. 139. К ним в соответствии с полярностью при нормальной работе устройства (это важно лишь в случае смонтированной платы) следует подключить источник питания G1 с напряжением, на превышающим номинальное, через резистор R1. Этот резистор установлен для ограничения тока через проводники на

уровне 2...3 А и его мощность должна быть соответствующей величины.

Далее к одному из проводников платы (например, к общему проводу) следует подключить первый вывод милливольтметра РА1 с чувствительностью 100...200 мВ на всю шкалу. Второй вывод должен быть снабжен острой иглой. Подключая поочередно второй вывод милливольтметра к различным точкам другого проводника платы, следует найти такую, после которой перенос щупа в любую другую точку проводника, кроме одной из соседних, не приводит к изменению показаний милливольтметра, а переход к одной точке - увеличивает.

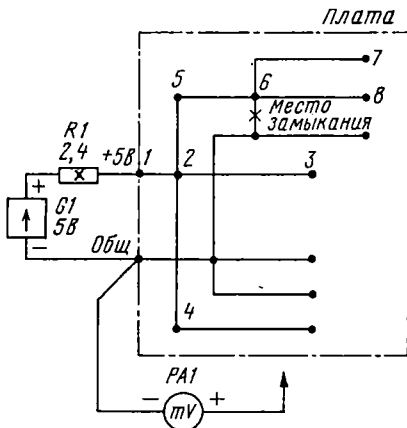


Рис. 139. Схема поиска замыканий на плате

Как это выглядит для конкретного случая, показанного на рис. 139? Напряжение в точке 1 максимально, в точке 2 оно меньше. При переходе к точкам 3 или 4 напряжение не изменится, но при установке щупа на точку 5 оно уменьшится, значит, поиск надо продолжить в сторону точки 5. В точке 6 напряжение еще меньше, но в точках 7 и 8 оно такое же как в точке 6, поэтому именно точка 6 отвечает указанным выше требованиям и является в данном случае местом замыкания проводников питания и общего провода.

В качестве милливольтметра удобнее использовать цифровой прибор, поскольку в процессе поиска необходимо запоминать достаточно точно предыдущее показание и сравнивать его с очередным. Можно применить и любой микроамперметр с возможно большей шкалой.

При работе со смонтированными платами следует очень внимательно подходить к выбору напряжения источника питания, его полярности и ограничительного резистора. Если в процессе поиска замыкание исчезнет, поданное напряжение не должно приводить к порче устройства. Достаточно безопасным можно считать вариант подачи напряжения 0,5 В (при таком напряжении р-п переходы полупроводниковых приборов не открываются) с ограничением тока в самом источнике на уровне 1...2 А (многие лабораторные источники питания имеют такую возможность). Если имеющийся источник позволяет регулировать напряжение от нуля, можно подобрать такое напряжение, при котором роль токоограничительного резистора будут выполнять соединительные провода.

МИКРОСХЕМЫ-ТЕРМОДАТЧИКИ К1019ЕМ1, К1019ЕМ1А

Эти микросхемы представляют собой термодатчики с линейной зависимостью выходного напряжения от температуры. Они предназначены для работы в устройствах контроля, измерения и регулирования температуры. Микросхемы оформлены в металлоглазном корпусе КТ-1-9 с гибкими проволочными лужеными выводами (рис. П1.1); масса прибора - не более 1,5 г.

Датчик по свойствам подобен стабилитрону с малым дифференциальным сопротивлением и со стабильным и нормированным плюсовым температурным коэффициентом напряжения (ТКН). Принципиальная схема прибора показана на рис. П1.2. Цоколевка: выв. 1 - подключение цепи калибровки; выв. 2 - плюсовой вывод датчика; выв. 3 - минусовой вывод датчика, корпус микросхемы.

Часто для построения датчика температуры используют свойство р-п-перехода, заключающееся в том, что падение напряжения на нем линейно зависит от его температуры. ТКН р-п-перехода отрицателен и имеет типовое значение $2 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$.

Недостатком р-п-перехода как датчика температуры является довольно большое дифференциальное сопротивление ($25 \dots 30 \text{ Ом}$ при токе 1 мА). По этой причине для достижения мало-мальски приемлемых характеристик датчика р-п-переход необходимо питать от стабилизатора тока. Кроме того, ни у одного диода не нормированы ни сам ТКН, ни его стабильность,

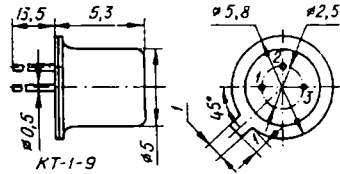


Рис. П1.1. Корпус микросхем К1019ЕМ1, К1019ЕМ1А

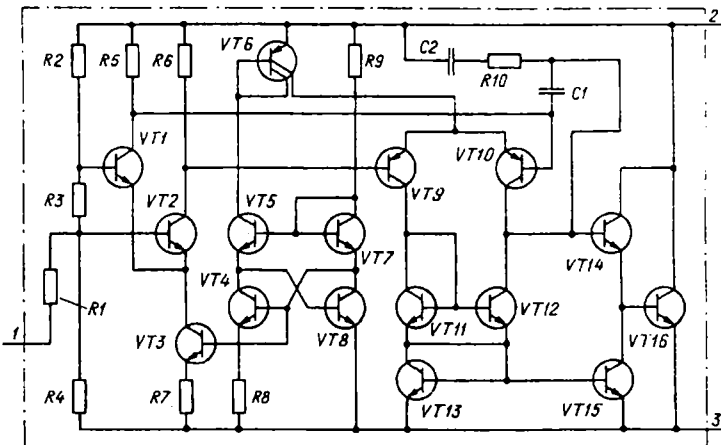


Рис. П1.2. Принципиальная схема микросхем К1019ЕМ1, К1019ЕМ1А

что серьезно затрудняет их применение в качестве термодатчиков, особенно в промышленной аппаратуре.

Работа термодатчика K1019EM1 основана на зависимости от температуры разности значений напряжения на эмиттерном переходе $U_{БЭ}$ двух транзисторов с разной плотностью эмиттерного тока. Эта разность $U_{БЭ}$ при заданном соотношении значений площади эмиттера транзисторов и равном токе через них (это и обеспечивает разную плотность тока) оказывается пропорциональной абсолютной температуре кристалла: $U_{БЭ} = kT_K \ln M/q$. Здесь $M = S_2/S_1$ - отношение значений площади эмиттера транзисторов VT1 и VT2 (см. схему на рис. П1.2); k - постоянная Больцмана; T_K - абсолютная температура; q - заряд электрона.

На транзисторах VT1, VT2 собран первый дифференциальный усилитель, а на VT9, VT10 - второй, управляемый сигналами первого. Транзисторы VT3 - VT8 образуют два генератора тока, один питает первый дифференциальный усилитель, а другой - второй. На транзисторах VT11 и VT12 собрано "токовое зеркало", служащее динамической нагрузкой второго дифференциального усилителя.

Выходной сигнал с нагрузки второго усилителя через эмиттерный повторитель (VT14) поступает на базу выходного транзистора VT16. Конденсаторы C1, C2 и резистор R10 обеспечивают устойчивость работы узла.

Условием баланса первого дифференциального усилителя является равенство значений коллекторного тока транзисторов VT1, VT2. Поскольку площади эмиттерного перехода этих транзисторов различаются в 10 раз, для балансирования усилителя на его вход с резистора R3 должно быть подано напряжение $U_{БЭ} = kT_K \ln 10/q$.

При питании микросхемы током 1...5 мА возникает отрицательная ОС по напряжению с выхода усилителя через делитель R2R3R4 на его вход. Эта связь устанавливает на выводах 2 и 3 микросхемы напряжение, пропорциональное разности падений напряжения на эмиттерном переходе транзисторов VT1 и VT2, с коэффициентом пропорциональности $(R_2 + R_3 + R_4)/R_3$.

Поскольку разность $U_{БЭ}$ пропорциональна абсолютной температуре, ей же пропорционально и напряжение на выводах 2 и 3 микросхемы. Таким образом ТКН датчика равен 10 мВ/К; он является здесь и коэффициентом пропорциональности между выходным напряжением датчика и абсолютной температурой.

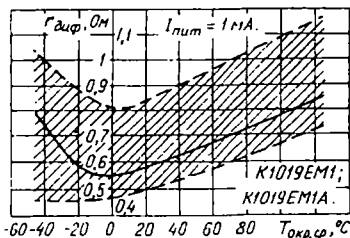


Рис. П1.3. Зависимость дифференциального сопротивления от температуры

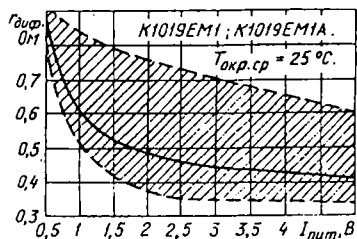


Рис. П1.4. Зависимость дифференциального сопротивления от тока питания

Для обеспечения высокой линейности преобразования и малого выходного сопротивления микросхемы (менее 1 Ом) усилитель имеет высокий коэффициент усиления - более 40 000.

Основные электрические характеристики датчика:

Ток питания, мА.....	1
Выходное напряжение, мВ, при токе питания 1 мА и температуре	
298К (25°C).....	2952...3012
398К (125°C).....	3932...4032
263К (-10°C) для К1019ЕМ1А.....	2582...2682
228К (-45°C) для К1019ЕМ1.....	2232...2332
Предельно допустимый эксплуатационный режим:	
Ток питания, мА.....	0,5...1,5
Рабочий температурный интервал, °С, для	
К1019ЕМ1.....	-45... +125
К1019ЕМ1А.....	-10... +125

На рис. П1.3 и 4 показаны типовые зависимости дифференциального сопротивления микросхем от температуры окружающей среды (при токе питания 1 мА) и тока питания (при температуре окружающей среды 25°C) соответственно. На обоих графиках заштрихованы области технологического разброса для 95 % микросхем. На рис. П1.5 представлена типовая зависимость выходного напряжения (между выв. 2 и 3) от температуры окружающей среды.

Благодаря малому дифференциальному сопротивлению датчика его можно питать от источника напряжения (не менее 10 В) через последовательный резистор, сопротивление которого в килоомах должно быть на 3 кОм меньше значения напряжения $U_{пит}$ в вольтах.

Но, чтобы в наибольшей степени реализовать возможности микросхемы, ее обычно питают от стабилизатора тока. Типовая схема включения датчика изображена на рис. П1.6. Генератор тока, собранный на транзисторах VT1, VT2, должен обеспечить ток через микросхему $I_{пит} = 1$ мА. Ток устанавливают подборкой резистора R3. Отправное значение сопротивления этого резистора

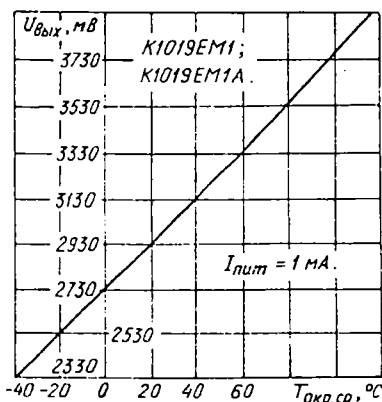


Рис. П1.5. Зависимость выходного напряжения датчика от температуры окружающей среды

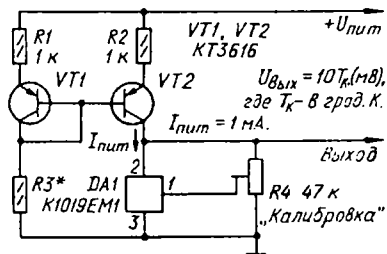


Рис. П1.6. Типовая схема включения датчика

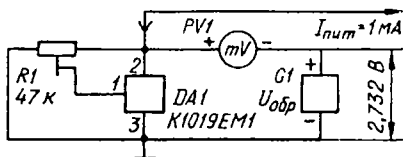


Рис. П1.7. Схема термометра с микросхемой K1019EM1

метру выходное напряжение (в милливольтгах) $U_{\text{вых}} = 10T_K$, где T_K - температура в градусах Кельвина. Температуру также необходимо измерять точным термометром.

На рис. П1.7 показана схема термометра, показывающего температуру в градусах Цельсия. Вольтметр PV1 (стрелочный или цифровой) включен в цепь источника образцового напряжения G1. Стрелочный вольтметр для измерения и плюсовой, и минусовой температуры должен иметь шкалу с нулем посредине (в цифровом знак температуры, как правило, устанавливается автоматически). Точность измерения температуры здесь сильно зависит от стабильности образцового напряжения - изменение его на 0,1 % (на 2,7 мВ) вызовет изменение показания на 0,27°C.

сторы (в килоомах) можно рассчитать по формуле: $R3 = U_{\text{пит}} - 1,7$ (где $U_{\text{пит}}$ - в вольтах).

С целью повышения точности измерения температуры в микросхеме предусмотрена цепь калибровки. При калибровке датчика подстроечным резистором R4 устанавливают по цифровому вольт-

Приложение 2

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО - ЭПОКСИДНЫЙ БРИКЕТ

При окончательном оформлении различных конструкций радиолюбители нередко испытывают затруднения в изготовлении корпусов, особенно если изготавливаемой конструкции предстоит работать в тяжелых условиях, например, под капотом автомобиля. В тех случаях, когда изготавливаемое устройство имеет сравнительно небольшие размеры, можно рекомендовать полную заливку конструкции эпоксидным клеем ЭКФ с наполнителем, в качестве которого проще всего использовать тальк. Готовое изделие в этом случае представляет собой прямоугольный брикет серо-коричневого цвета из эпоксидной смолы с гладкими гранями.

Для заливки плату с деталями помещают в специально изготавливаемую сборно-разборную форму. Наилучший материал для формы - листовое органическое стекло. Оно удобно тем, что практически не имеет адгезии (прилипания) к эпоксидному клею и обеспечивает изготовленной отливке чистые глянцевые поверхности.

На рис. П2.1 показан пример проверенной на практике конструкции формы для заливки небольшого устройства, собранного на печатной плате 1. Детали 2 и 3 формы следует изготовить из листа органического стекла толщиной 6 мм, а деталь 4 - 4 мм. Основание 8 может быть дюралюминиевым (толщиной 5...6 мм) или стальным.

Детали 2 и 3 лучше всего отфрезеровать на станке. В этом случае легко обеспечить точность, необходимую для того, чтобы можно было обойтись

одним винтом для скрепления каждого угла формы. Если детали формы изготавливать вручную, практически невозможно вырезать пазы, обеспечивающие жесткость формы при скреплении деталей угла одним винтом. В этом случае придется использовать по два винта на каждый угол. Для односторонней заливки боковые стенки формы можно склеить.

Чертеж на рис. П2.1 показывает, что плату под заливку следует изготавливать так, чтобы она удовлетворяла двум требованиям. Во-первых, она должна иметь припуски по длине с обеих сторон; после затвердевания смолы и разборки формы припуски могут быть обрезаны.

Во-вторых, монтаж на плате должен быть "поверхностным", т. е. детали монтируют со стороны печатных дорожек, припаявая выводы прямо к фольге. Никаких отверстий под выводы деталей сверлить не предусматривается.

Таким образом, у готового брикета пять граней - эпоксидные, а шестая представляет собой наружную сторону платы.

Выводы от платы, выполненные гибким проводом в ПВХ изоляции (или лучше - в полиэтиленовой), перед заливкой пропускают через отверстия в стенке формы. Можно оформить выводы в виде контактных площадок на припусковых частях платы для дальнейшего крепления проводов винтами или пайкой.

На печатной плате среди прочих радиоэлементов могут быть регулировочные и подстроечные резисторы, малогабаритные переключатели (тумблеры), светодиодные индикаторы, контактные штыри, винты и другие детали, требующие обеспечения доступа к ним в процессе эксплуатации. В этом случае на соответствующую часть такой детали перед заливкой следует надеть отрезок трубки из поливинилхлорида так, чтобы часть трубки оказалась внутри заливки, а в стенке формы с лицевой стороны будущего изделия просверлить отверстие точно по наружному диаметру трубки. Несколько подобных примеров показано на рис. П2.2. Если деталь имеет отверстия, через которые смола может попасть внутрь механизма (как, например, у тумблера МТ-1), их необходимо закрыть полоской липкой ленты, трубкой из ПВХ или пластилином.

После затвердевания смолы трубку с радиоэлементом снимают, при этом на ее месте остается кольцевое углубление. Если диаметр имеющейся трубки меньше необходимого, ее перед надеванием

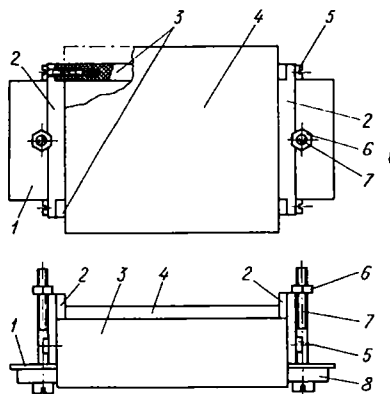


Рис. П2.1. Конструкция формы для заливки

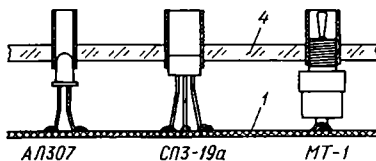


Рис. П2.2. Примеры установки элементов

на деталь следует в течение некоторого времени выдержать в ацетоне или растворителе 746 (либо 747).

Светодиодные цифровые индикаторы можно установить вплотную к одной из стенок формы, перед заливкой их лицевую поверхность целесообразно покрыть тонким слоем эпоксидного клея без наполнителя.

В припусковых частях платы сверлят по отверстию диаметром 3...4 мм под винты 7 (рис. П2.1) для сборки формы. Эти отверстия можно потом использовать как крепежные для готового изделия. Пластина - основание 8 - служит для того, чтобы при затяжке гаек 6 не происходило изгибания платы (особенно, если она тонкая).

При отверждении эпоксидная смола дает некоторую усадку, в результате чего на поверхности изделия, как правило, в середине той грани, которая была обращена вверх, могут образоваться небольшие углубления - раковины. Уменьшению усадки способствует введение в смолу наполнителя. Лучшим наполнителем считают порошкообразную окись алюминия. Удовлетворительные результаты дает применение хорошо высушенных порошков гипса, мела и других.

Для того чтобы раковина не появилась на гранях брикета, в центральной части платы, в относительно свободном от деталей месте, сверлят дренажное отверстие диаметром 1,5...2 мм. Оно даст возможность в дальнейшем заполнить образовавшуюся под платой раковину.

Заливку начинают со сборки формы. Винтами 5 (рис. П2.1) соединяют ее боковые стенки. Тщательно обезжиренное и просушенное устройство устанавливают в форму, подложив под него основание 8, и закрепляют винтами 7 с гайками 6. Если есть радиоэлементы, выходящие за лицевую поверхность, проверяют соосность отверстий в лицевой пластине формы.

В отверстия, через которые из формы пропущены выводы, следует ввести с внешней стороны небольшое количество жидкого масла. Дренажное отверстие заглушить отрезком спички.

В чистой посуде приготавливают необходимое количество эпоксидного клея, добавляют в него наполнитель и тщательно перемешивают. Желательно, чтобы при этом в смесь не попало слишком много пузырьков воздуха (эта пена потом может доставить много хлопот). Готовый компаунд должен иметь вязкость очень густой сметаны. Клей ЭКФ с тальком дает после затвердевания непрозрачную заливку приятного серо-коричневого цвета, а из клея ЭДП получается полупрозрачная заливка красно-коричневого цвета. Для заливки годится также эпоксидная шпатлевка без дополнительного наполнителя.

Заливают полость в форме с небольшим избытком, следя за тем, чтобы компаунд заполнил все ее углы. Если сверху оказалось много пены, ее следует осторожно снять и в форму добавить компаунд без пены.

Закрывают форму пластиной 4 и фиксируют ее нитками или резиновыми кольцами. После этого форму переворачивают лицевой поверхностью вниз, вынимают заглушку из дренажного отверстия и прочищают его. Оставляют форму для затвердевания смолы в теплом месте не менее чем на 10 часов. Остатки компаунда необходимо убрать в морозильную камеру холодильника.

После затвердевания смолы форму разбирают, зачищают облой, снимают с выступающих радиоэлементов трубки. Хранившемуся в холодильнике остатку компаунда дают принять комнатную температуру и через дренажное отверстие в плате заполняют образовавшуюся раковину, после чего изделие оставляют еще на несколько часов для отверждения.

Описанным способом было изготовлено несколько десятков экземпляров различных электронных устройств для автомобиля. За 2...3 года эксплуатации ни одно не вышло из строя.

В зависимости от требований к изготавливаемому устройству, от желания и возможностей радиолюбителя можно широко варьировать размеры и конструкцию как платы, так и самой заливочной формы. Так, например, плату можно изготовить по традиционной технологии (печать на одной стороне, детали - на другой) и залить ее со всех сторон. Причем заливать можно в два приема - сначала с одной стороны, а затем - с другой, а можно и в один.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 320 с.
2. Бирюков С. Портативный цифровой мультиметр. - В помощь радиолюбителю, 1988, ДОСААФ, вып. 100, с. 71-90.
3. Бирюков С. А. Цифровые устройства на МОП интегральных микросхемах. Радио и связь, М., 1990, 1996 (второе издание).
4. Дж. Уитсон. 500 практических схем на ИС. - М.: Мир, 1992, 376 с.
5. Интегральные микросхемы. Операционные усилители. Том 1. - М.: Физматлит, 1993, 240 с.
6. Бирюков С. Микросхемы K1019EM1, K1019EM1A. - Радио, 1996, № 7, с. 59, 60.
7. Цибин В. Цифровой термометр (наша консультация). - Радио, 1998, № 1, с. 50.
8. Бирюков С. Простой термокомпенсированный регулятор напряжения. - Радио, 1994, 1, с. 34-35, 1994, № 10, с. 43.
9. Бирюков С. Электронный блок зажигания. - Радио, 1996, № 2, с. 48-51.
10. Щербина А., Благий С. Микросхемные стабилизаторы серий 142, K142, KP142. - Радио, 1990, 8, с. 89, 90, № 9, с. 73.
11. Нефедов А., Головина В. Микросхемы KP142EN12. - Радио, 1993, № 8, с. 41.
12. Нефедов А., Головина В. Микросхемы KP142EN18A, KP142EN18B. - Радио, 1994, № 3, с. 41, 42.
13. Нефедов А. Микросхемные стабилизаторы серии 1157. - Радио, 1995, № 3, с. 59, 60.
14. Нефедов А., Вальянский А. Микросхемные стабилизаторы серии 1162. - Радио, 1995, № 4, с. 59, 60.
15. Интегральные микросхемы. Микросхемы для линейных источников питания и их применение. ДОДЭКА, 1996, 288 с.
16. Унифицированные трансформаторы. Серия ТПП. - Радио, 1982, № 1, с. 59, 60.
17. Шульгин Г. Унифицированные трансформаторы. Серия ТН. - Радио, 1981, № 7-8, с. 73, 74.
18. Бирюков С. Простое зарядное устройство. - Радио, 1997, № 3, с. 50.
19. Ховайко О. Источники питания с конденсаторным делителем напряжения. - Радио, 1997, № 11, с. 56, 57.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	2
Предисловие	3
Цифровые измерительные устройства	5
Микросхема КР572ПВ5	5
Цифровой мультиметр	14
Цифровой измеритель емкости	28
Цифровой измеритель RCL	35
Широкодиапазонные цифровые омметры	44
Цифровой измеритель параметров транзисторов	50
Простой цифровой термометр	57
Об объединении измерительных приборов	63
Радиоэлектронные устройства в быту	65
Симисторные регуляторы мощности	65
Термостабилизаторы	79
Автомат плавного пуска коллекторных электродвигателей	90
Автомат управления размораживанием холодильника	97
Доработка импортных электронных часов	102
Контроль исправности сигнальных ламп	107
Автоматическая водоканка	111
Автомат управления освещением	116
Многоканальная система тревожной сигнализации	119
Источники питания	129
Микросхемы - стабилизаторы напряжения	129
Лабораторные блоки питания	133
Сетевые адаптеры	139
Зарядные устройства для никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей	150
Сетевой источник питания с гасящим конденсатором	162
Преобразователь напряжения для питания ФЭУ	171
Печатные платы в радиолобительской практике	176
Разработка и изготовление печатных плат	176
Поиск замыканий в печатных платах	183
Приложение 1. Микросхемы-термодатчики К1019ЕМ1, К1019ЕМ2	185
Приложение 2. Электронное устройство – эпоксидный брикет	188
Список литературы	191