

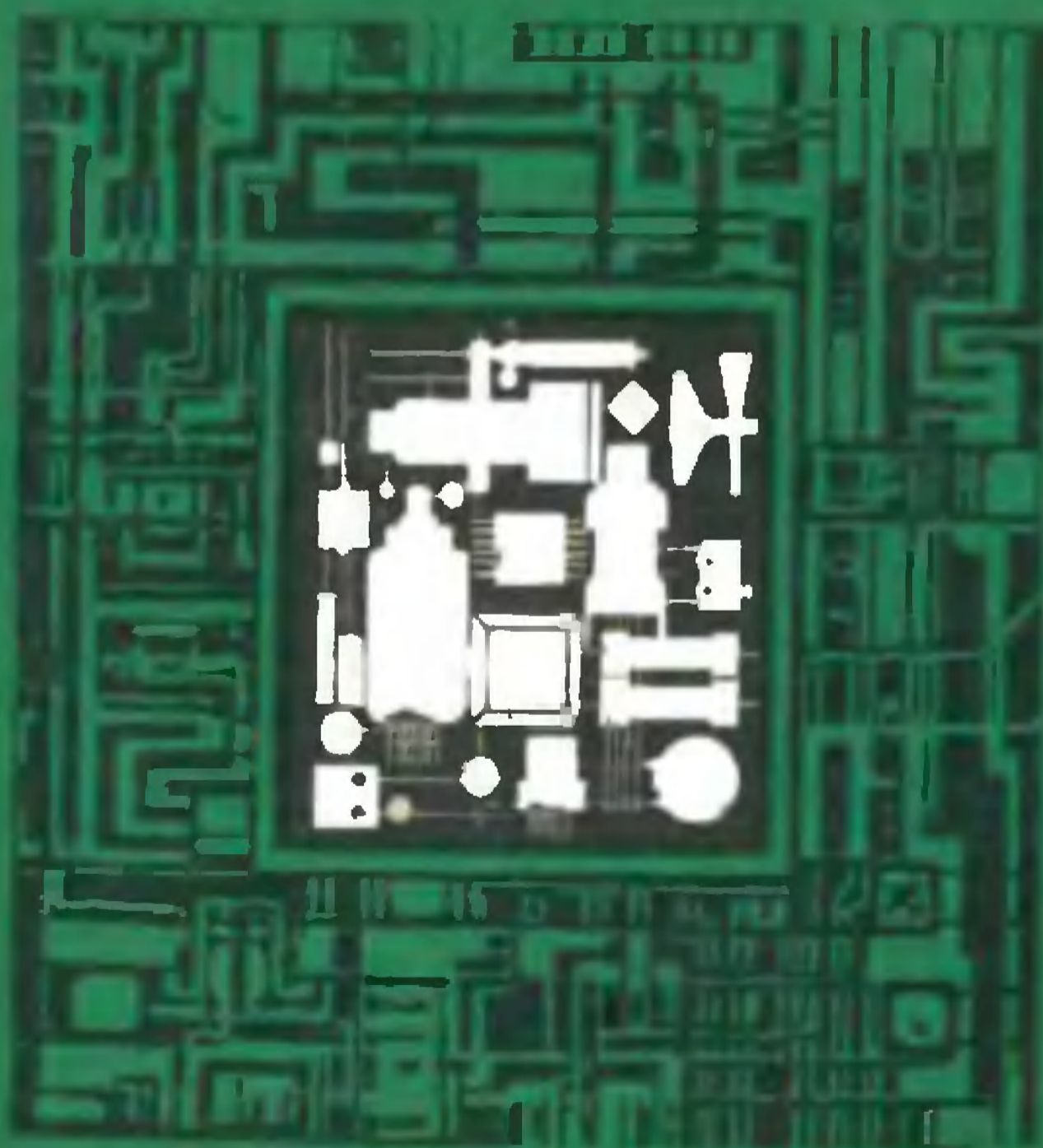
МАССОВАЯ БИБЛИОТЕКА ИНЖЕНЕРА

ЭЛЕКТРОНИКА

39

Е. А. КОЛОМБЕТ

# ТАЙМЕРЫ



**МАССОВАЯ БИБЛИОТЕКА ИНЖЕНЕРА**

---

**ЭЛЕКТРОНИКА**

**Выпуск 39**

**Е. А. Коломбет**

**ТАЙМЕРЫ**



**МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1983**

ББК 32.852

К60

УДК 621.382.8.037.33.004.14

**Коломбет Е. А.**

К60 Таймеры.— М.: Радио и связь, 1983. — 128 с., ил. — (Массовая б-ка инженера «Электроника», вып. 39).

35 к.

Описаны основные функциональные схемы и рассмотрены особенности работы современных полупроводниковых таймеров. Приведены построенные на них схемы генераторов, контрольно-измерительных устройств, источников вторичного электропитания, преобразователей сигналов. Значительное внимание уделено автомобильным и бытовым устройствам. Даны схемы электронного зажигания, электронного сторожа, часов для фотолюбителей, переключателей скорости, работы стеклоочистителей и т. д.

Для инженеров, занимающихся разработкой и применением аналоговых интегральных микросхем.

К  $\frac{2403000000-131}{046(01)-83}$  81-83

ББК 32.852

6Ф0.3

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

*В. М. Пролейко (отв. редактор), В. М. Вальков, Б. Ф. Высоцкий, Г. Г. Горбунова, В. И. Иванов, В. И. Котиков, И. В. Лебедев, Э. А. Лукин, Ю. Р. Носов, В. И. Стафеев, В. Н. Сретенский (зам. отв. редактора), Ю. Б. Степанов, В. А. Шахнов*

**Рецензенты:** канд. техн. наук *Е. И. Гальперин, В. Л. Шило*

**Редакция литературы по электронной технике**

## Предисловие

Полупроводниковые таймеры, или, как их часто называют в литературе, «интегральные машины времени», — новый вид функционального элемента в семействе аналоговых интегральных микросхем (АИС) общего применения, создаваемом отечественной промышленностью. Обладая, как и операционные усилители, компараторы и перемножители напряжений, высокой надежностью, простотой использования и низкой стоимостью, полупроводниковые таймеры расширили возможности построения микроэлектронных формирователей точных интервалов времени длительностью от микросекунд до месяцев. Выпускаемые в настоящее время таймеры делят на два класса — одноктактные и программируемые, или таймеры со встроенными двоичными счетчиками. В современной микроэлектронной аппаратуре наибольшее распространение получили одноктактный таймер NE 555 и его отечественный аналог КР1006ВИ1. Среди программируемых таймеров самым удачным по структуре, универсальности и массовости использования стал XR 2240. Несмотря на то, что в современном семействе таймеров насчитывается более десяти наименований ИС, наиболее широко используются NE 555 и XR 2240, а также NE 556 и LM 322, первый из которых является сдвоенным таймером NE 555, а второй — представляет собой модификацию NE 555. Поэтому в основу книги положено схемотехническое обеспечение, развитое для двух базовых типов таймеров общего применения: одноктактного КР1006ВИ1 и программируемого XR 2240. Знание общих принципов построения и особенностей работы базовых ИС одноктактного и программируемого таймеров, а также знакомство с конкретными схемами их использования существенно упростят процесс внедрения таймеров в микроэлектронную аппаратуру.

В гл. I приведены полная номенклатура и классификация полупроводниковых таймеров, рассмотрены принципы построения и работа одноктактного и про-

граммируемого таймеров. Даются необходимые сведения о параметрах и особенностях применения двух базовых ИС таймеров — одноконтурного КР1006ВИ1 и программируемого XR 2240. Знакомство с материалом этой главы необходимо читателю не только для понимания работы устройств, приведенных в последующих главах, но позволит избежать ошибок при проектировании других функциональных узлов на таймерах.

Основные включения таймера по схемам одновибратора и мультивибратора подробно рассматриваются в гл. 2 и 3. В гл. 2 описана работа таймера в режиме одновибратора, приведены необходимые для практического использования расчетные соотношения, позволяющие правильно выбрать параметры внешних времязадающих элементов, а также наиболее интересные схемы специализированных одновибраторов. Глава 3 посвящена описанию работы таймеров в режиме мультивибраторов. В ней продемонстрированы возможности таймеров при формировании периодических сигналов разнообразных не только по временным параметрам, но и по форме. Даны необходимые соотношения для расчета скважности и частоты генерируемых различными мультивибраторами сигналов. В гл. 4 описаны схемы на таймерах, используемые в контрольно-измерительных устройствах. Хотя рассматриваемые в книге таймеры общего применения не относятся к прецизионным, погрешность проводимых с их помощью измерений не превышает 1%. В большинстве случаев такой точности измерения вполне достаточно, а компактность описываемых устройств сделала таймеры незаменимым инструментом при наладке микроэлектронной аппаратуры.

В гл. 5 рассмотрены основные типы преобразователей напряжения и стабилизаторов на одноконтурном таймере. Эти схемы можно применить при построении миниатюрных источников вторичного электропитания, если не требуется значительная выходная мощность и необходим максимальный КПД.

Глава 6, посвященная автомобильной и бытовой электронике, подтверждает мнение многих специалистов в области применения АИС о том, что таймеры получили признание радиолюбителей и автомобилистов.

В гл. 7 включены схемы, наиболее интересные, по мнению автора, для широких кругов разработчиков микроэлектронной аппаратуры. Это — преобразователи аналоговых величин во временные интервалы, логиче-

ские схемы и ряд других, которые не рассматриваются в предыдущих главах.

Автор приносит благодарность рецензентам книги канд. техн. наук Е. И. Гальперину и В. Л. Шило за ряд ценных замечаний, которые были учтены при подготовке рукописи и способствовали значительному улучшению качества книги.

Отзывы и замечания по содержанию книги следует направлять по адресу: 101000, Москва, Чистопрудный бульвар, 2, изд-во «Радио и связь».

# 1. Общие сведения о полупроводниковых таймерах

---

Создание таймеров вызвано тенденцией повышения степени интеграции реализуемых функций на кристалле кремния, которая превалирует в современных аналоговых и аналого-цифровых интегральных микросхемах (ИС) [1]. По функциональному составу внутренних узлов и способу выполнения заданной функции таймеры не являются полностью аналоговыми или цифровыми ИС. Современные таймеры наряду с компараторами напряжения, которые относят к аналоговым ИС, содержат узлы, выполняющие цифровые функции — логические вентили, триггеры, счетчики и др. Компараторы в таймерах обеспечивают повышение чувствительности цифровых структур от единиц вольт до долей милливольт к изменениям входных напряжений. Таким образом, основные функции в таймерах выполняют цифровые узлы, точность же формирования интервала времени определяется в первую очередь компараторами напряжения. Поэтому полупроводниковые таймеры чаще относят не к цифровым, а к аналоговым ИС [2—4].

## 1.1. Классификация и принципы построения полупроводниковых таймеров

Массовое применение таймеров в аппаратуре, разнообразие решаемых ими задач и, следовательно, многообразие требований, предъявляемых к их параметрам, в зависимости от типа аппаратуры и качества выполняемых функций, обусловило создание большого семейства полупроводниковых таймеров (табл. 1.1). Все современные таймеры делятся на два класса: одноктактные и многотактные со встроенным счетчиком [5].

Одноктактные таймеры применяются, если длительность формируемых временных интервалов лежит в пределах от 1 мкс до 1 ч. Семейство таких таймеров можно разделить на две группы (рис. 1.1). К первой группе относятся таймеры общего применения, упаков-

ванные по одной, две и четыре ИС в одном корпусе. Вторую группу составляют специализированные таймеры: микромощные и помехоустойчивые ИС. Длительность формируемого таймером (рис. 1.2,а) интервала времени определяется током заряда внешнего времязадающего конденсатора  $C_t$ , а ток заряда  $C_t$  — сопротивлением внешнего времязадающего резистора  $R_t$ . Формируемый таймером временной интервал  $T_{\text{в}}$  пропорционален постоянной времени  $R_t C_t$ -цепи и определяется длительностью изменения напряжения на  $C_t$  в пре-

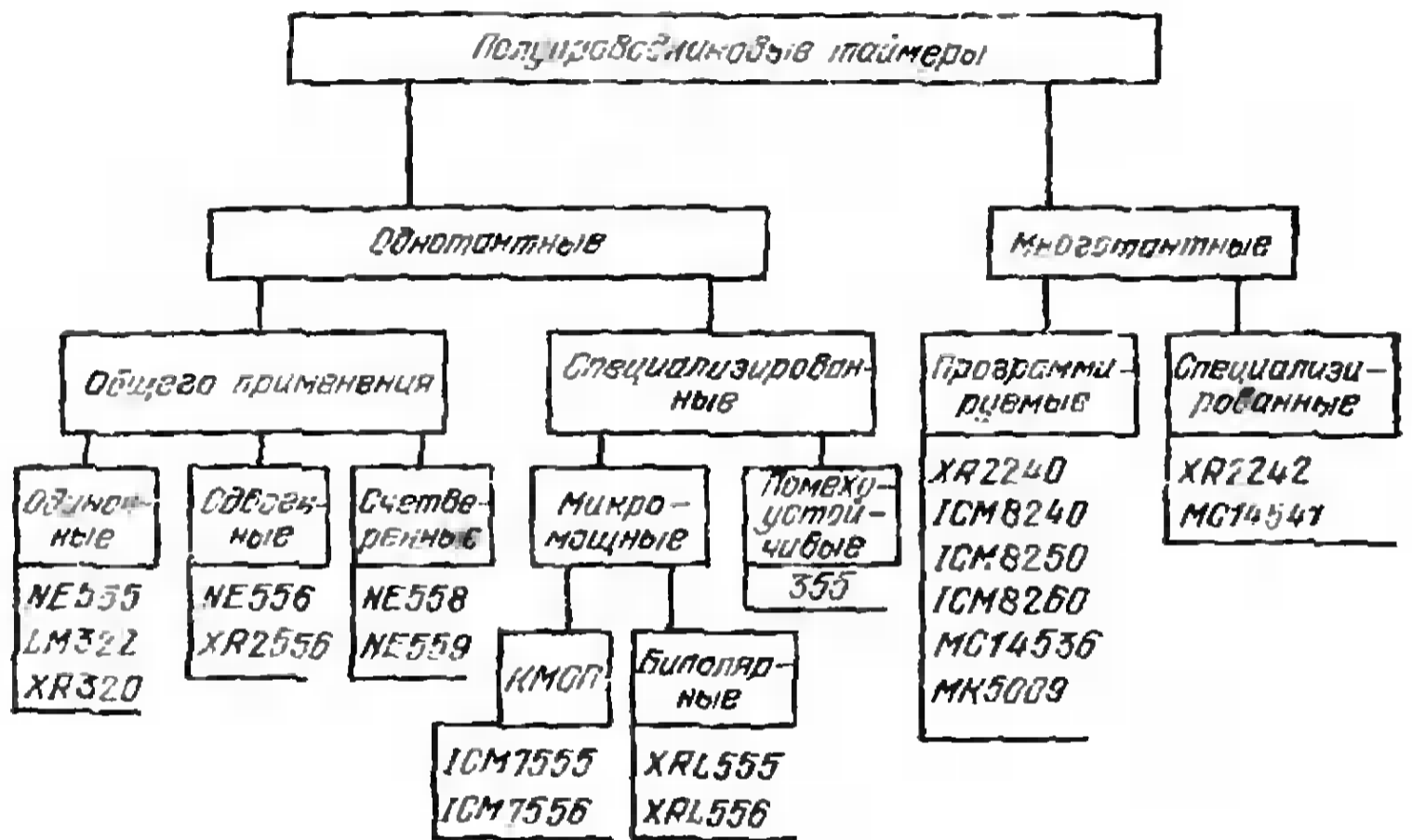


Рис. 1.1. Классификация полупроводниковых таймеров

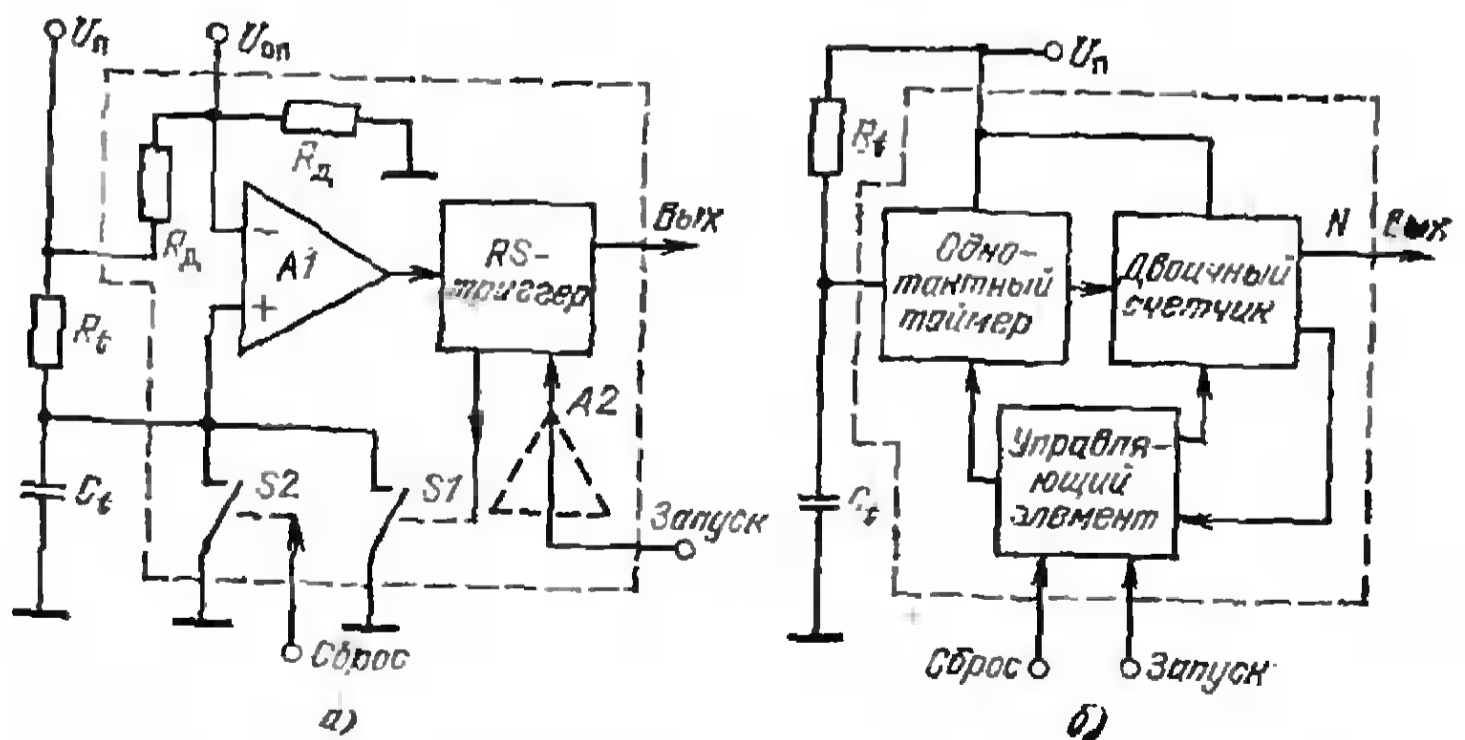


Рис. 1.2. Обобщенные структуры однотактного (а) и многотактного (б) таймеров



## Полупроводниковые таймеры, выпускаемые зарубежными фирмами

Параметр	Одноконтные									
	ICM 7555	ICM 7556	LM 322	NE 656	NE 656	NE 658	NE 659	XR 320		
Диапазон напряжения, питания $\Delta U_{п}$ , В	2—18	4,5—16							11—16	4,5— 20
Потребляемый ток $I_{п}$ (при $U_{п} = 5$ В), мА	0,08	0,16	2,5	3	6	27 <sup>1</sup>	12 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>	2	
Погрешность в формировании временного интервала $\Delta t$ , %	2	1								
Температурный дрейф установленного интервала времени $dt/dT$ , %/°C	0,005	0,003		0,005		0,015		0,03	0,01	
Относительное влияние напряжения питания $dt/dU_{п}$ , %/В	1	—		0,05		0,1		0,4	0,1	
Выходной ток вытекающий/втекающий $I'_{вых}/I'_{вх}$ , мА	—	50/50	200/200	150/150		—/100		100/—	100/100	
Технология изготовления	КМОП								Биполярная	

1 Измерены при напряжении питания 15 В.

Парамстр	Однотактные			Многотактные								
	XR 2556	XR L555	XR L556	ICL 8240	ICL 8250	ICL 8260	MC 14536	MC 14541	МК 5009	XR 2240	XR 2242	
Диапазон напряжения, питания $\Delta U_{п}$ , В	4,5—10	2,7—15		4,5—18			3—18		5—12	4—15		
Потребляемый ток $I_{п}$ (при $U_{п} = 5 В$ ), мА	6	0,19	0,38	4			—		6	4		
Погрешность в формировании временного интервала $\Delta t$ , %		1		0,5			2		—	0,5		
Температурный дрейф установленного интервала времени $dt/dT$ , %/°C		0,005		0,02			—		0,2	0,02		
Относительное влияние напряжения питания $dt/dU_{п}$ , %/В	0,01	0,5		0,08			2		0,3	0,08		
Выходной ток вытекающий/втекающий $I'_{вых}/I'_{вых}$ , мА	200/200	50/2		—/5			—			—/5		
Технология изготовления	Биполярная			КМОП							Биполярная	
Диапазон программирования счетчиков				1—255	1—99	1—60	1—255	2 <sup>8</sup> , 2 <sup>16</sup>	1—15	1—255	27	

делах некоторого диапазона, установленного внутренним резисторным делителем таймера.

Однотактный таймер, представленный на рис. 1.2.а, работает следующим образом. В исходном состоянии, когда переключатель замкнут, напряжение на конденсаторе уменьшается до нуля и на выходе таймера устанавливается низкое напряжение, равное 0,1 В. При подаче импульса на вход триггера в нем формируется сигнал, размыкающий переключатель  $S1$ , и на выходе таймера устанавливается высокое напряжение. Если входное сопротивление компаратора  $A1$  значительно больше сопротивления  $R_t$ , конденсатор  $C_t$  будет заряжаться только через  $R_t$ , а напряжение на  $C_t$  будет экспоненциально нарастать с постоянной времени  $R_t C_t$ , стремясь к своему максимальному значению  $U_{п}$ . Как только напряжение на конденсаторе достигнет некоторой величины  $U_{оп1}$ , компаратор начнет выработать сигнал, устанавливающий триггер (а следовательно, и весь таймер) в исходное состояние ( $U_{вых} \approx 0$ ). Временной интервал  $T_{п}$  должен быть значительно больше, чем длительность запускающего импульса. опорное напряжение  $U_{оп1}$  формируется в таймере внутренним резисторным делителем.

Описанный цикл работы таймера имеет место при включении его по схеме одновибратора, когда формируется один выходной импульс после подачи внешнего сигнала запуска на вход триггера. Для того чтобы таймер мог работать в режиме асинхронного мультивибратора, управляющий входной сигнал от времязадающей  $R_t C_t$ -цепи подается на  $RS$ -триггер через компаратор  $A2$  с опорным напряжением  $U_{оп2}$ .

Чтобы иметь возможность прервать выполнение таймером заданной функции, независимо от завершенности временного цикла, введен переключатель  $S2$ . При подаче сброса  $S2$  замыкается, конденсатор полностью разряжается и напряжение на нем остается близким к нулю до тех пор, пока сигнал сброса не будет снят. Обычно при подаче сигнала сброса на выходе таймера устанавливается низкое напряжение.

Многотактные таймеры разработаны для аппаратуры, требующей использования генераторов сигналов сверхнизкой частоты с продолжительностью импульсов до нескольких суток. Семейство этих таймеров (табл. 1.1) делится на две основные группы (рис. 1.1). К первой группе относятся программируемые таймеры,

в которых формируемый временной интервал задается программно, установкой соответствующих переключателей на выходах счетчика. В зависимости от вида соединения выходов счетчика многотактный таймер умножает постоянную времени  $R_t C_t$ -цепи в  $n$  раз ( $n$  — определяет диапазон программирования или коэффициент умножения счетчиков). Программируемые таймеры содержат таймеры общего применения, выполненные по биполярной технологии, и микромощные. Ко второй группе относятся специализированные таймеры со встроенными счетчиками, у которых однозначно задан коэффициент умножения  $n$ .

Программируемые таймеры работают следующим образом (рис. 1.2,б). При подаче на вход запуска импульса включается внутренний мультивибратор на однотоктном таймере, генерирующий импульсы длительностью  $T_n = R_t C_t$ . Подключенный к выходу таймера  $N$ -разрядный двоичный счетчик подсчитывает входные импульсы и формирует на  $N$  выходах счетчика временные интервалы, длительность которых может устанавливаться от  $T_n$  до  $(2^N - 1)T_n$ . На первом выходе формируется импульс длительностью  $T_n$ , на втором — длительностью  $2T_n$ , а на  $N$ -м — длительностью  $(2^N - 1)T_n$ . Счетчик допускает объединение выходов, причем длительность формируемого в этом случае временного интервала определяется суммой длительностей импульсов на объединенных выходах. Например, объединены выходы, формирующие отдельно импульсы длительностью  $T_n$ ,  $8T_n$  и  $128T_n$ , тогда длительность формируемого временного интервала равна  $T_n + 8T_n + 128T_n = 137T_n$ . Таким образом, объединяя соответствующие выходы, можно получить любую длительность импульса или задержку его фронта в диапазоне  $T_n \div (2^N - 1)T_n$ . Выполнение таким таймером предварительно заданной программы можно прервать, подав на специальный вход импульс сброса. Для синхронной работы внутреннего однотоктного таймера и счетчика используется управляющая цифровая ИС.

## 1.2. Особенности структур таймеров общего применения

В полупроводниковых таймерах наибольшее распространение получили структуры, использованные в однотоктных таймерах NE 555, LM 322 и программируемом

XR 2240. Структура таймера КР1006ВН1, аналогичного NE 555, показана на рис. 1.3,а. Эти таймеры состоят из четырех функциональных узлов: двух компараторов напряжения на входе, *RS*-триггера и инвертирующего усилителя мощности на выходе [6]. Внутренний резисторный делитель задает пороговые напряжения, равные  $2U_{п}/3$  для компаратора *A1* и  $U_{п}/3$  для компаратора *A2*. Длительность генерируемых выходных импульсов устанавливается внешней времязадающей цепью  $R_1C_1$ . Аналогичен NE 555 по структуре и параметрам таймер XR 320, разработанный фирмой Eхат. Этот тай-

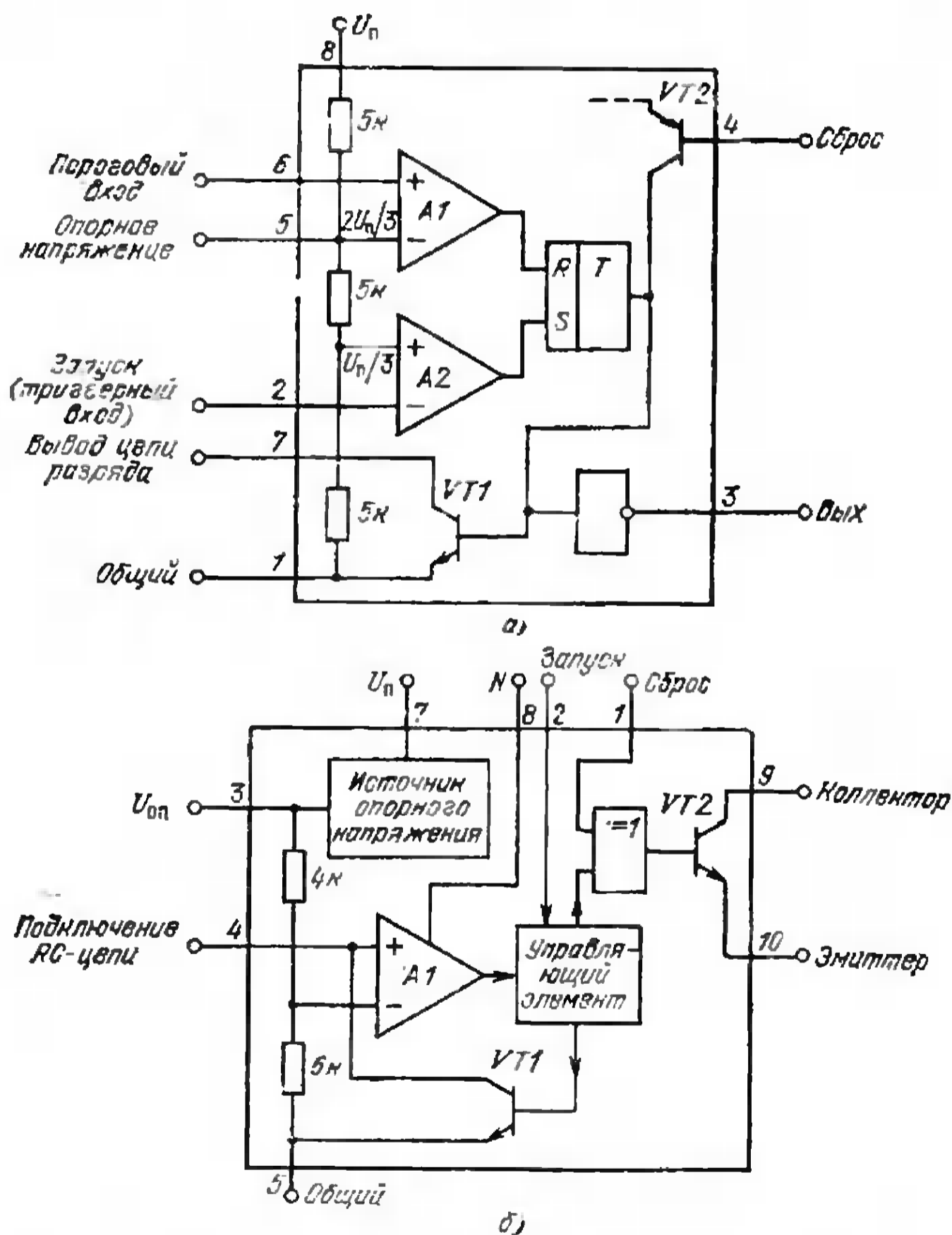


Рис. 1.3. Функциональные схемы одноконтных таймеров общего применения КР1006ВН1 (а) и прецизионного — LM322 (б)

мер, в отличие от NE 555, может управляться не только спадом, но и фронтом импульса. Кроме того, XR 320 в дополнение к низкоомному выходу имеет инверсный выход с открытым коллектором. Существенным преимуществом XR 320 является то, что времязадающий конденсатор  $C_1$  заряжается внутренним генератором постоянного тока, величину которого определяет внешний резистор  $R_1$  [7]. Благодаря этому напряжение на  $C_1$  увеличивается линейно, что важно для некоторых применений одноктактных таймеров. Тем не менее этот таймер используется сравнительно редко, не имеет такого схемотехнического обеспечения как NE 555 и обладает незначительными преимуществами по сравнению с последним.

Наиболее удачной структурой таймера является использованная в LM 322 (рис. 1.3,б). Этот таймер, второй по массовости применения среди одноктактных, существенно превосходит NE 555 по сочетанию параметров точности, быстродействия и потребления. Таймер LM 322 часто относят к прецизионным, подразумевая под этим не столько его высокие точностные характеристики, сколько специфичность применения в аппаратуре. Таймер содержит источник опорного напряжения 3,15 В, к которому подключается внешний времязадающий резистор. Применен только один компаратор, быстродействие которого можно увеличить, подключив дополнительный вывод  $N$  к источнику питания  $U_{п.}$ . Запускается таймер положительным фронтом импульса. Таймер LM 322 существенно отличается от NE 555 конструкцией выходного каскада. Хотя использованное в схеме включение транзистора  $VT2$  и делает более универсальным выход таймера, для большинства применений предпочтительнее мощный выходной каскад, как в NE 555.

Наиболее распространенным в современной микроэлектронной аппаратуре среди многотактных программируемых таймеров является XR 2240, полная функциональная схема которого приведена на рис. 1.4 [5]. Таймер состоит из трех основных узлов, выделенных штрихпунктирными линиями: одноктактного таймера, подобного NE 555; 8-разрядного двоичного счетчика и управляющего триггера. Двоичный счетчик и управляющий триггер питаются от внутреннего источника стабилизированного напряжения 6,3 В, образованного цепью  $V_{Д1}, R1, VT3$ . Внутренний резисторный делитель

устанавливает на входах компараторов  $A1$  и  $A2$  пороговые напряжения переключения, равные  $3U_{п}/4$  и  $U_{п}/4$  соответственно. Выходами двоичного счетчика являются открытые коллекторы транзисторов  $VT4—VT12$ . Триггер  $D10$  управляет работой счетчика  $D2—D9$  и триггера  $D1$  в однотоктном таймере, который в свою

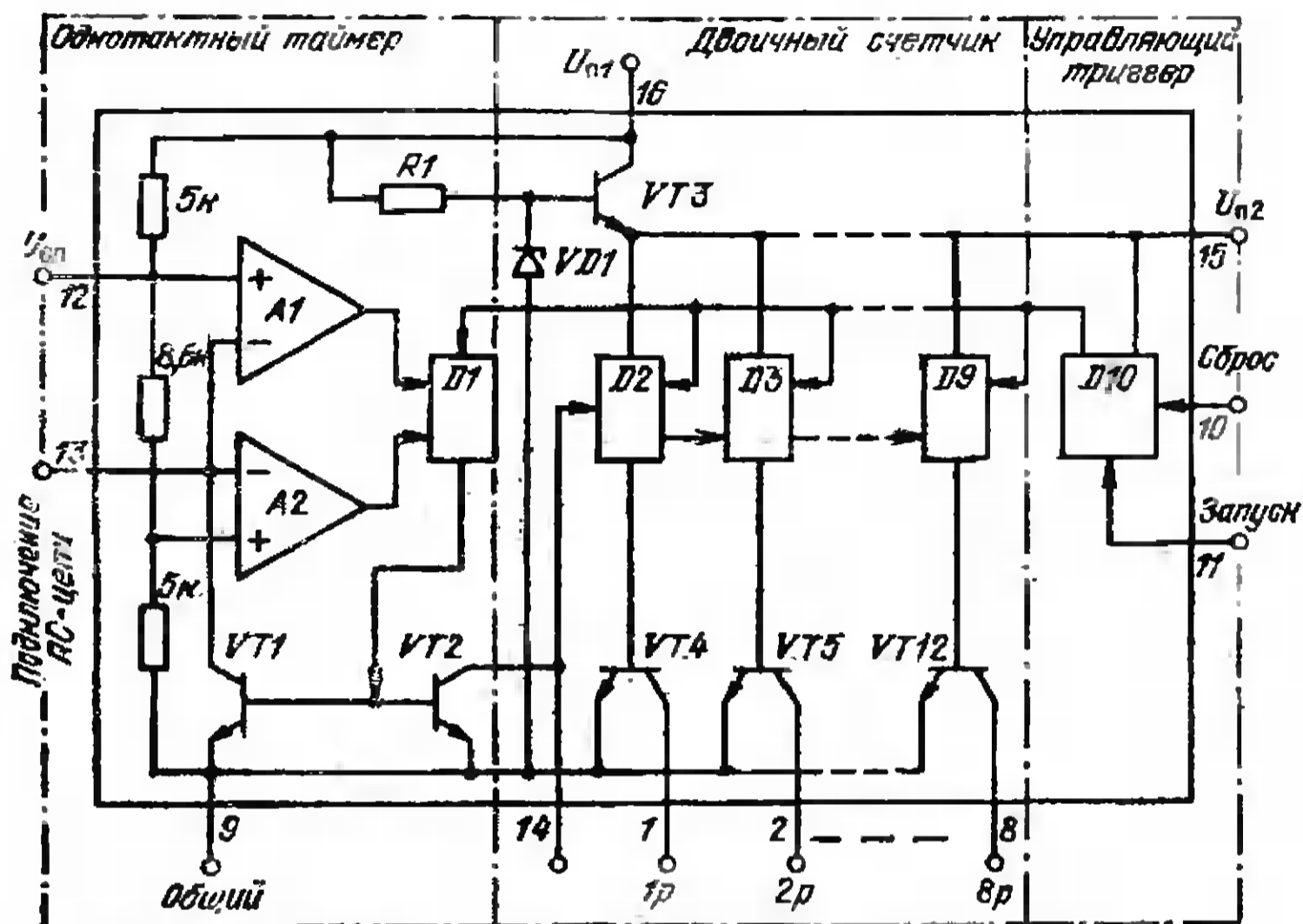


Рис. 1.4. Функциональная схема многотактного программируемого таймера XR2240

очередь управляет работой первого каскада  $D2$  счетчика. Особенности применения таймера этого типа подробно рассмотрены в § 1.5, а его работа в основных режимах — одновибратора и мультивибратора — в гл. 2 и 3.

### 1.3. Особенности применения и основные параметры однотоктного таймера

Для полного и правильного использования различных возможностей таймера КР1006ВИ1 необходимо знать назначение его выводов, характеристики и требования к выбору параметров времязадающих элементов.

Назначение выводов таймера КР1006ВИ1 (рис. 1.3,а) незначительно отличается от рассмотрен-

ного ранее для обобщенной структуры на рис. 1.2,а. Напряжение питания  $U_{\text{п}}$ , подаваемое на вывод 8 и измеряемое относительно вывода 1, равно 5—16,5 В. Приращение потребляемого таймером тока на 1 В изменения  $U_{\text{п}}$  равно 0,7 мА (рис. 1.5,а). Таймер способен отдать в нагрузку или принять из нее ток не более

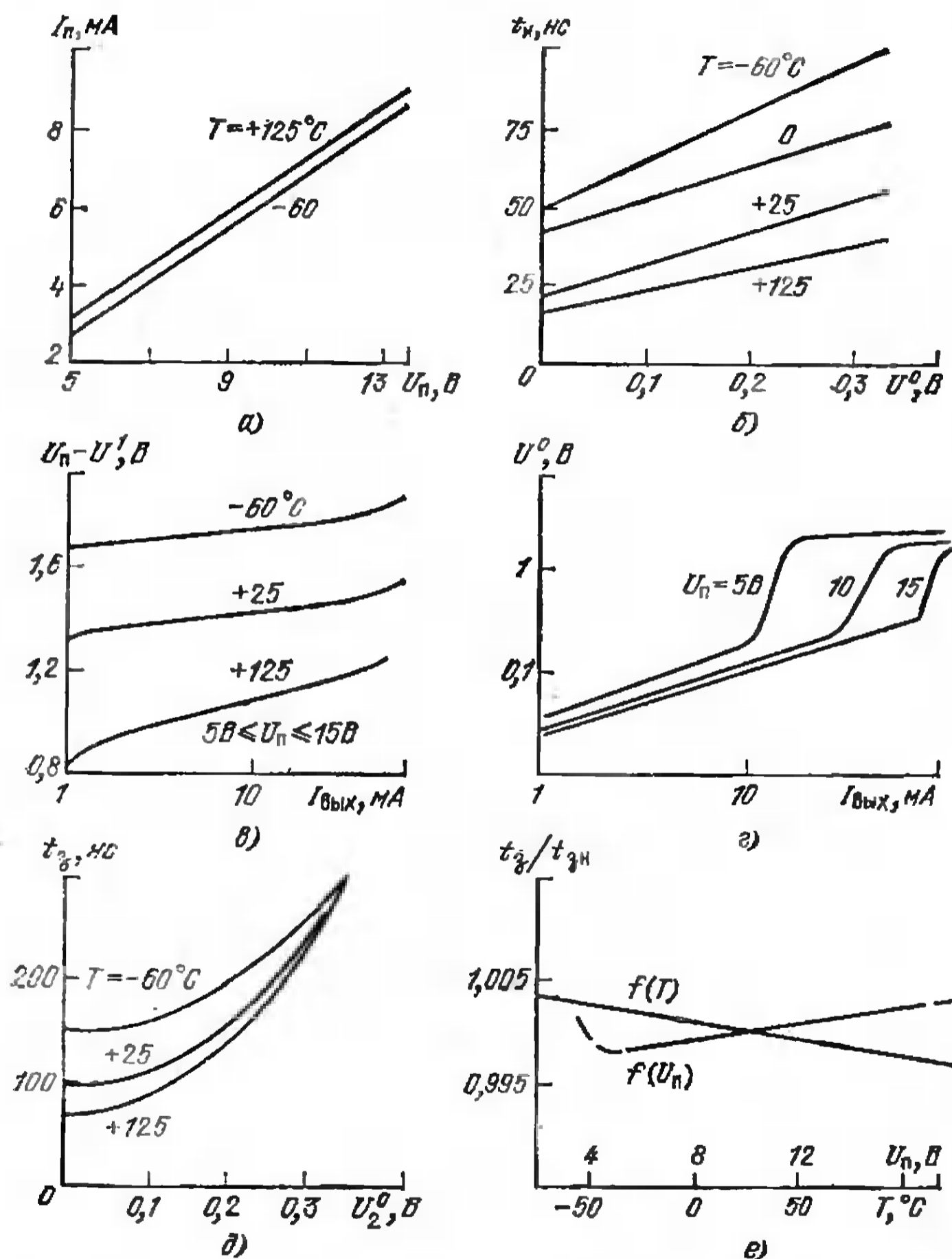


Рис. 1.5. Зависимости тока потребления  $I_{\text{п}}$  от  $U_{\text{п}}$  (а), длительности импульса запуска от его напряжения лог. 0 (б), максимального выходного напряжения от выходного тока (в), напряжения лог. 0 от выходного тока (г), задержки распространения от напряжения лог. 0 импульса запуска (д) и точности формирования времени от температуры и  $U_{\text{п}}$  (е) для таймера KV1006ВИ1



200 мА, что позволяет управлять непосредственно лампочками и даже электромагнитными реле. Выходное сопротивление около 10 Ом как для низкого ( $U^0 \approx \approx 0,1$  В), так и для высокого ( $U^1 \approx U_{\text{п}} - 0,5$  В) уровней выходного напряжения (рис. 1.5, в, г). Запуск таймера осуществляется подачей на вывод 2 напряжения менее  $U_{\text{п}}/3$  (эту цепь обычно называют триггерным входом). По отношению к выходу этот вход является инвертирующим. Зависимость минимальной длительности  $t_{\text{н}}$  запускающего импульса от низкого уровня его напряжения  $U^0$  показана на рис. 1.5, б. При высоком напряжении на выводе 2 состоянием выхода таймера можно управлять с помощью компаратора А1 по выводу 6, называемому обычно пороговым входом (рис. 1.3, а). Относительно изменений выходного напряжения этот вывод является неинвертирующим входом таймера. Входной ток, втекающий для компаратора А1 (вывод 6) и вытекающий для компаратора А2 (вывод 2), не превышает 0,5 мкА. Для сброса таймера, т. е. установления на его выходе низкого напряжения, независимо от напряжения на выводах 2 и 6, используется вывод 4. Если напряжение на этом выводе  $U_4 \leq 0,4$  В, напряжение на выходе равно 0,1—0,2 В. При напряжении  $U_4 \geq 1$  В цепь сброса выключена и не влияет на работу таймера. Кроме низкоомного выхода (вывод 3) таймер имеет и вспомогательный высокоомный выход (вывод 7), представляющий собой открытый коллектор транзистора VT1 (рис. 1.3, а). Этот вывод обычно используется для организации обратной связи с выхода на входы (выводы 2 и 6) таймера. Допустимое изменение напряжения на выводах 2, 4, 6 и 7 лежит в пределах 0—16,5 В. В таймере имеется доступ через вывод 5 к входам внутренних компараторов, на которые поданы пороговые напряжения. Этот вывод от резисторного делителя позволяет дополнительно управлять работой таймера, изменяя пороговые напряжения компараторов при постоянном напряжении питания. Чтобы избежать влияния внешних помех и пульсаций напряжения питания на точность работы таймера (см. гл. 2), рекомендуется шунтировать вывод 5 конденсатором емкостью около 0,01 мкФ.

В режиме прямой трансляции сигнала со входа на выход таймер может работать в диапазоне частоты до 10 МГц (рис. 1.5, д). Однако приводимое в справочных данных значение погрешности формирования времен-

ного интервала (табл. 1.1), равное 0,5%, измеряется обычно при формировании импульсов длительностью более 10 мкс. Время нарастания выходного напряжения таймера не превышает 100 нс [6].

Временные параметры этого одноканального таймера слабо зависят от изменений  $U_{\text{п}}$  и температуры (рис. 1.5,е) и полностью определяются схемотехникой внутренних компараторов и качеством биполярной технологии их изготовления. В таймерах, изготовленных по КМОП-технологии (табл. 1.1), отличающейся худшим согласованием параметров парных транзисторов, зависимость характеристик от  $U_{\text{п}}$  и температуры значительно выше, чем у таймеров, изготовленных по биполярной технологии.

Особенности применения таймера КР1006ВИ1 связаны с неидеальностью его параметров и схемотехникой узлов. Чтобы параметры времязадающей цепи  $R_t C_t$  не влияли на точность формирования временных интервалов, необходимо ограничить диапазон изменения сопротивления  $R_t$  и емкости  $C_t$ . Максимальное сопротивление  $R_t$  определяется входным током  $I_{\text{вх}}$  компараторов, протекающим по выводам 2 и 6. Для формирования устойчивых временных интервалов достаточно выбрать максимальное сопротивление  $R_t$  из условия  $R_{t \text{ max}} < < U_{\text{п}} / I_{\text{вх}}$ .  $R_{t \text{ max}} \approx 20 \text{ МОм}$  при  $U_{\text{п}} = 10 \text{ В}$  и  $I_{\text{вх}} \approx 0,5 \text{ мкА}$ . При включении таймера по схеме мультивибратора (см. гл. 3), когда выводы 2 и 6 объединены, входные токи, втекающий по выводу 6 и вытекающий по выводу 2, частично взаимокompенсируются и таймер может сохранить работоспособность при  $R_t > R_{t \text{ max}}$ . При включении таймера по схеме одновибратора для  $R_t \approx 20 \text{ МОм}$  отдельные типы таймеров не будут выполнять требуемую функцию. Поэтому не рекомендуется использовать времязадающие резисторы с сопротивлением  $R_t > 10 \text{ МОм}$ .

Минимальное сопротивление  $R_t$  определяется максимально допустимым током, протекающим через внутренний транзистор  $VT1$  таймера, при его насыщении. Хотя допустимый выходной ток по выводу 7 устанавливают обычно на уровне 100 мА, не рекомендуется использовать малые сопротивления  $R_t$  в сочетании с большими емкостями  $C_t$ . Объясняется это тем что при разряде конденсаторов  $C_t$  большой емкости транзистор  $VT1$  не мгновенно переходит в режим насыщения, а через время  $t_{\text{н}}$ . В течение этого времени транзистор

работает в активном режиме при напряжении коллектор — эмиттер  $U_{кэ} \approx U_{ц}/2$ , и, если  $R_{t \min} \leq U_{ц}/100$  мА, транзистор  $VТ1$  может выйти из строя из-за чрезмерной величины рассеиваемой на нем мощности. Поэтому при формировании малых временных интервалов рекомендуется ограничиться значением  $R_{t \min} = 1$  кОм и выбрать исходя из этого емкость  $C_t$ . Если же таймер применяется в схеме, где  $C_t \leq 100$  пФ, то сопротивление  $R_t$  может быть уменьшено до 150 Ом, что для аппаратуры специального назначения должно подтверждаться соответствующими техническими условиями.

Минимальная емкость времязадающего конденсатора  $C_t$  должна быть значительно больше изменений собственной входной емкости таймера на выходах 2, 6 и 7, в зависимости от напряжения на них. Поскольку изменение входной емкости при перезаряде  $C_t$  не превышает нескольких пикофард, не рекомендуется при формировании точных временных интервалов использовать  $C_t < 100$  пФ. Можно применять конденсаторы  $C_t$  сколь угодно большой емкости, если их ток утечки пренебрежимо мал. Фактически же, чем больше емкость конденсатора, тем больше его ток утечки. Для нормальной работы таймера необходимо, чтобы ток утечки  $C_t$  не превышал зарядный ток через  $R_t$ . Для формирования точных ( $\Delta \approx 1\%$ ) временных интервалов ток утечки через  $C_t$  должен быть более, чем на два порядка меньше зарядного тока.

Выходной инвертирующий усилитель таймера (рис. 1.3,а) работает в режиме АБ, вследствие чего на переходной характеристике возникает «полка» длительностью 10—20 нс при напряжении 1,5 В. Если таймер нагружен на быстродействующие ТТЛ-схемы (например, серий 130 или 533), то наличие такой «полки» недопустимо, так как она находится в их пороговой области и может вызвать ложное срабатывание логического элемента. Чтобы выровнять линию переходного процесса, необходимо выход таймера зашунтировать конденсатором емкостью около 100 пФ.

#### **1.4. Особенности применения и основные параметры программируемого таймера**

Программируемые таймеры со встроенными счетчиками обеспечивают такую же точность формирования временных интервалов, как и одноктактные. Однако ди-

апазон, в котором обеспечивается эта точность (табл. 1.1), расширен от единиц микросекунд до нескольких суток.

Назначение выводов программируемого таймера следует из его функциональной схемы (рис. 1.4). Основное напряжение питания, подаваемое на вывод 16 и измеряемое относительно вывода 9 равно 4—15 В. Приращение потребляемого таймером тока на 1 В увеличения напряжения  $U_{П1}$  равно 1 мА. При напряжении питания 4,5 В внутренний источник стабилизированного напряжения  $U_{П2}$  перестает работать, поэтому выво-

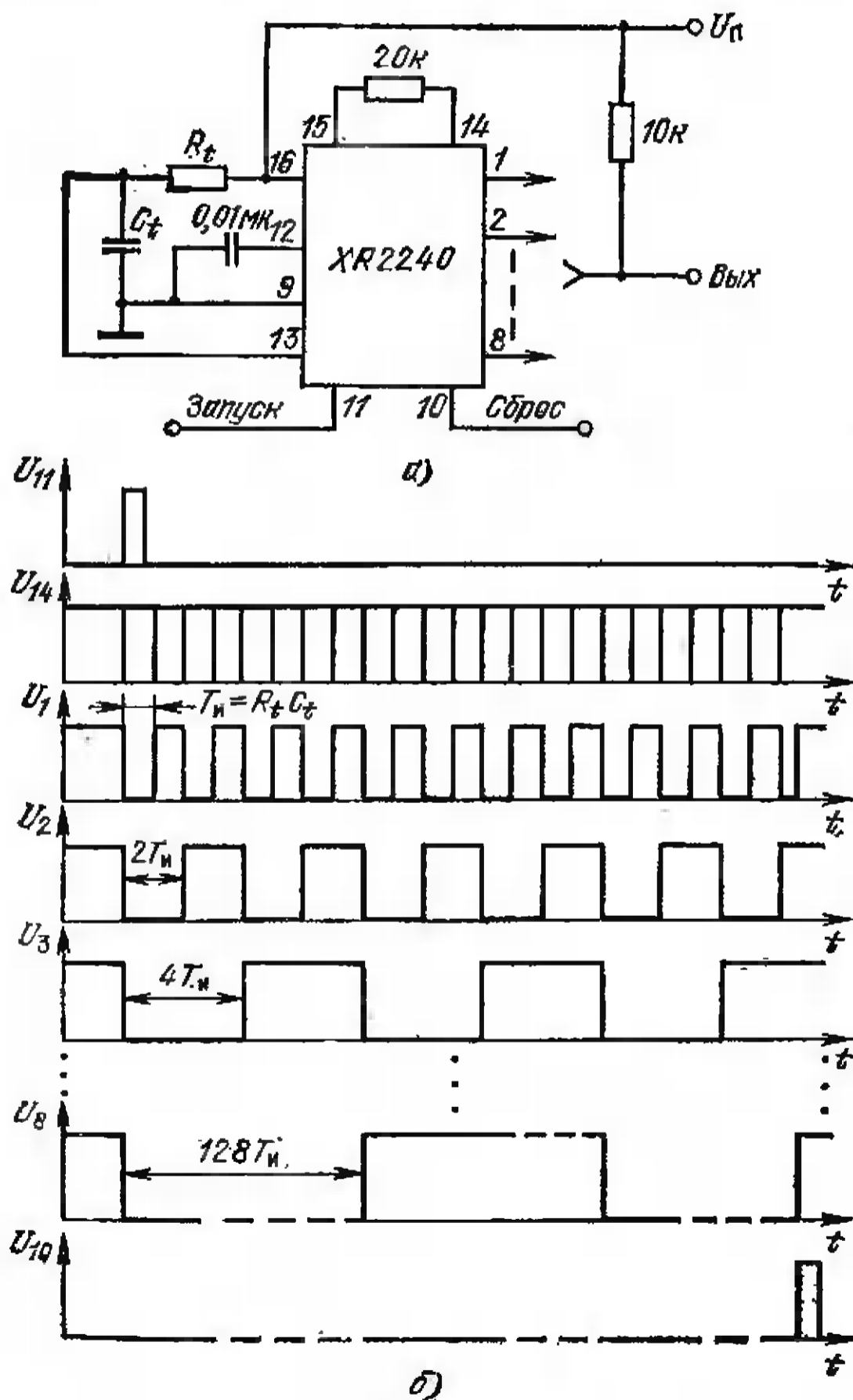


Рис. 1.6. Основная схема включения (а) и временные диаграммы работы (б) таймера XR2240

ды 15 и 16 следует объединить, чтобы обеспечить нормальную работу счетчика. Максимальный ток, который выходы счетчика (выводы 1—8) могут принимать от нагрузки, не должен превышать 5 мА. Допустимое изменение напряжения на выводах 1—8 лежит в пределах 0—15 В. Запуск таймера осуществляется положительным фронтом импульса, подаваемого на вывод 11 управляющего триггера. В момент запуска напряжения на выводах 1—8 начинают изменяться в соответствии с временной диаграммой (рис. 1.6). Соединением выводов 1—8 обеспечивается выполнение на выходе логической функции проводное ИЛИ. Таймер не воспринимает следующий импульс запуска, поступивший в течение формирования установленного заранее временного интервала. Сброс таймера осуществляется положительным фронтом импульса, подаваемого на вывод 10. В момент подачи импульса сброса транзисторы VT4—VT12 (рис. 1.4) закрываются. Для управления таймером по выводам 10, 11 необходимы импульсы с логическими уровнями, соответствующими ТТЛ-схемам, и с длительностью более 1,5 мкс.

Выход внутреннего одноканального таймера (вывод 14) необходимо подключать через резистор с сопротивлением более 20 кОм к шине стабилизированного внутреннего источника напряжения питания. Вывод 14 можно использовать и в качестве автономного входа счетчика, работающего от внешних импульсов. Для этого необходимо закрыть транзистор VT2, заземлив, например, вывод 13 через резистор с сопротивлением 1 кОм. В этом случае счетчик срабатывает по спаду положительных импульсов, подаваемых на вывод 14. Этот вывод может использоваться и в качестве дополнительной цепи управления работой счетчика. Счет прекращается независимо от состояния транзистора VT2, если вывод 14 заземлить. Для управления по выводу 14 необходимы ТТЛ-уровни напряжений.

Внутренний одноканальный таймер генерирует импульсы длительностью около 0,35 мкс с частотой, равной  $1/R_t C_t$ . Временязадающая цепь включается между выводами 9 и 16, а ее средняя точка соединяется с выводом 13. Максимальная частота генерируемых импульсов равна 130 кГц (при  $R_t=1$  кОм,  $C_t=0,007$  мкФ). Не рекомендуется устанавливать частоту меньше  $10^{-4}$  Гц ( $R_t=10$  МОм,  $C_t=10^3$  мкФ). В то

же время счетчик может работать от внешних сигналов с частотой до 1,5 МГц.

Как и в однотоктном таймере, в программируемом имеется вывод от внутреннего резисторного делителя. Это позволяет управлять работой счетчика с помощью аналогового сигнала, подаваемого на вывод 12.

Таймер спроектирован таким образом, что в момент включения его напряжения питания  $U_{п}$  производится автоматический сброс счетчика, если на выводах 10 и 11 напряжения около 0 В. Цепи сброса и запуска не равносильны при управлении триггером D10. Если одновременно поданы положительные импульсы на выводы 10 и 11, то управляющий триггер D10 реагирует только на импульс запуска.

При разомкнутой цепи обратной связи с выходов счетчика на вывод 10 таймер работает в режиме мультивибратора, генерирующего непрерывные последовательности выходных импульсов после подачи на вывод 11 положительного импульса (см. гл. 3). Если цепь обратной связи замкнута, то после подачи положительного импульса на вывод 11 таймер генерирует последовательности выходных импульсов до прихода первого положительного импульса на вывод 10 (см. гл. 2).

## 2. Одновибраторы на таймерах

---

Применение таймеров в одновибраторах позволило решить одну из наиболее распространенных задач цифровой аппаратуры — формирование одиночного управляющего сигнала с произвольными временными характеристиками, устанавливаемыми внешней RC-цепью. В этой главе рассмотрена базовая структура одновибратора и схемотехнические способы улучшения ее параметров для обеспечения требований аппаратуры различного назначения.

### 2.1. Базовые структуры одновибраторов

Схема одновибратора на однотоктном таймере КР1006ВИ1 приведена на рис. 2.1,а. Работает такой одновибратор следующим образом. При положительном

входном напряжении, большем  $U_{п}/3$   $RS$ -триггер таймера удерживает внутренний транзистор  $VT1$  насыщенным и напряжение на времязадающем конденсаторе  $C_1$  близко к нулю (см. гл. 1). Поэтому и выходное напряжение близко к нулю ( $U_3 \approx 0,1$  В). При подаче на триггерный вход (вывод 2) напряжения менее  $U_{п}/3$  компаратор  $A1$  в таймере переключает  $RS$ -триггер, транзистор  $VT1$  закрывается, напряжение на  $C_1$

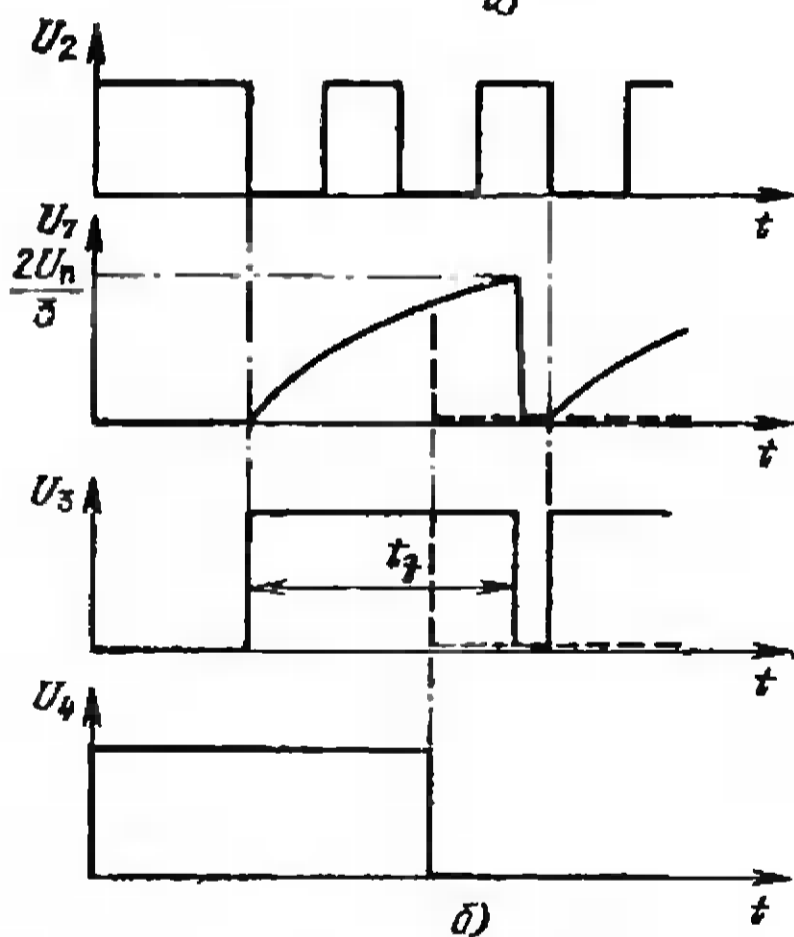
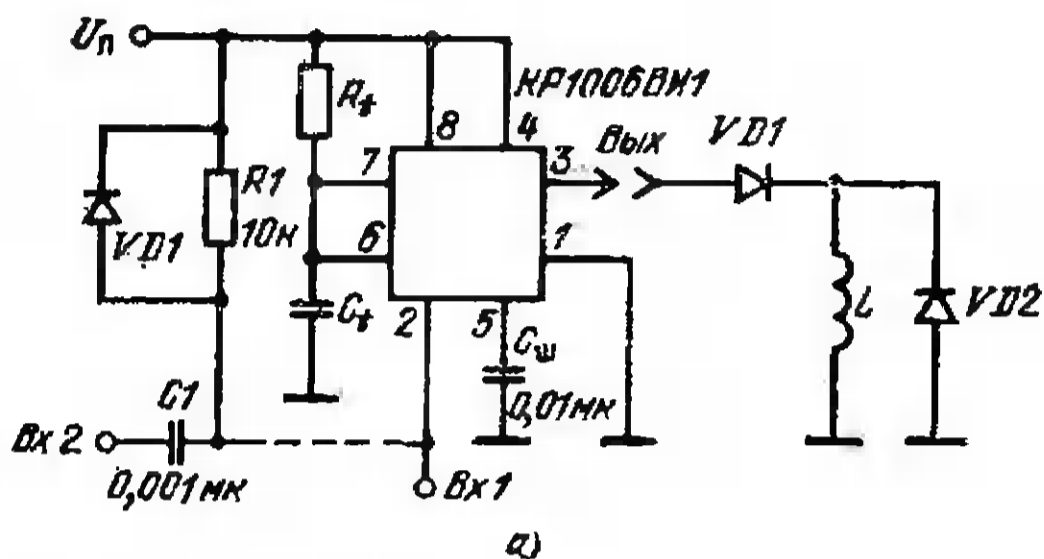


Рис. 2.1. Одновибратор на однотактном таймере (а) и временные диаграммы его работы (б)

экспоненциально нарастает, стремясь к своему максимальному значению, равному  $U_{п}$  (рис. 2.1,б), и на выходе устанавливается напряжение  $U_3 \approx U_{п}$ . Скорость нарастания напряжения  $U_c$  на времязадающем конденсаторе  $C_1$  определяется постоянной времени цепи  $R_1C_1$ . Значение  $U_3 \approx U_{п}$  сохраняется в течение времени

увеличения  $U_C$  до напряжения  $2U_{\Pi}/3$ . В момент, когда выполняется равенство  $U_C(t) = 2U_{\Pi}/3$ ,  $RS$ -триггер в таймере переключается в исходное состояние, транзистор  $VT1$  насыщается, разряжая конденсатор  $C_t$ , и  $U_C \approx 0,1$  В. Низкий уровень выходного напряжения таймера сохранится до тех пор, пока на триггерный вход вновь не поступит импульс, изменяющий напряжение на выводе 2 от  $U_{\Pi}$  до величины, меньшей  $U_{\Pi}/3$ .

Одновибратор запускается спадом положительного импульса амплитудой, равной  $U_{\Pi}$ . Однако если спад импульса поступит на триггерный вход таймера в период увеличения  $U_C$  от 0 до  $2U_{\Pi}/3$ , то таймер на этот спад не отреагирует. В то же время, конденсатор  $C_t$  будет мгновенно (за время менее 50 нс) разряжен, независимо от величины  $U_C$ , если подать напряжение менее 0,4 В в цепь сброса таймера (вывод 4). Эта цепь не влияет на работу одновибратора, если напряжение на выводе 4 больше 1 В. Когда цепь сброса не используется для управления работой одновибратора, то для уменьшения влияния внешних помех вывод 4 следует подключить к шине питания.

Время задержки  $t_3$ , в течение которого на выходе таймера сохраняется высокий уровень напряжения, равного  $U_{\Pi}$ , можно рассчитать из уравнения  $U_C(t) = U_{\Pi}[1 - \exp(-t/R_t C_t)] = 2U_{\Pi}/3$ , предполагая, что  $U_C = 0$  при насыщенном транзисторе  $VT1$ . Это время  $t_3 = 1,1R_t C_t$ . Зависимости, позволяющие при заданном времени  $t_3$  определить возможные сочетания  $R_t$  и  $C_t$ , приведены на рис. 2.2. Время  $t_3$  практически не зависит от  $U_{\Pi}$  при его изменении в диапазоне 5—16 В, поскольку пороговые напряжения внутренних компараторов таймера пропорциональны  $U_{\Pi}$ .

При расчете  $R_t C_t$ -цепи одновибратора следует учитывать, что низкий уровень напряжения запуска не должен сохраняться дольше времени  $1,1R_t C_t$ . Наруше-

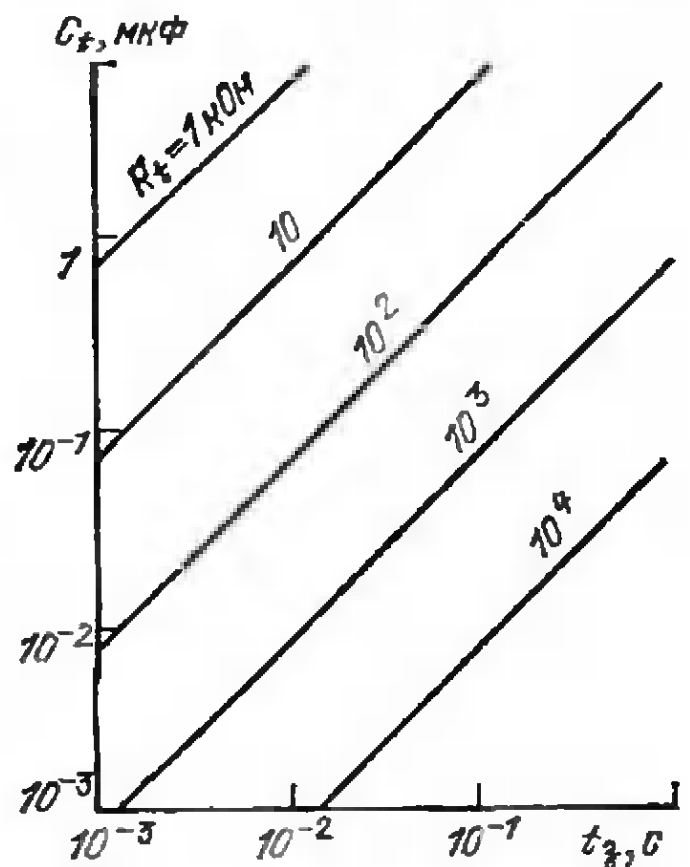


Рис. 2.2. Зависимости для определения  $R_t$  и  $C_t$  при заданном времени  $t_3$



ние этого условия приводит к тому, что через время  $t_3$  таймер начинает генерировать импульсы произвольной формы. Это объясняется тем, что внутренние компараторы таймера не равносильны по своему воздействию на  $RS$ -триггер. Компаратор  $A1$ , управляемый по выводу 2, обладает приоритетом при установлении состояния триггера. Компаратор  $A2$  может управлять триггером только тогда, когда на вывод 2 подано высокое напряжение. Если необходимо управлять одновибратором с помощью импульсов длительностью  $T_n > 1,1R_t C_t$ , то их следует подавать через дифференцирующую  $R_1 C_1$ -цепь (см. рис. 2.1,а, Вх 2). Диод  $VD1$  ограничивает напряжения на выводе 2 на уровне  $U_n + U_d$ .

Для формирования длительных временных интервалов при работе одновибратора в аппаратуре с высоким уровнем помех необходимо шунтировать вывод 5 конденсатором (если эта клемма не используется для управления работой таймера). Емкость шунтирующего конденсатора  $C_{ш} \approx 0,01$  мкФ. Нецелесообразно устанавливать шунтирующие конденсаторы емкостью более 0,1 мкФ, поскольку это увеличивает чувствительность пороговых уровней компараторов таймера к низкочастотным неустойчивостям напряжения  $U_n$ . Одновибратор может переключиться и от воздействия на триггерный вход внешних помех. Источником помехи может, например, стать паразитная цепь емкостной связи между сигнальными цепями многослойной печатной платы, на которой таймер установлен. Предотвратить ложное срабатывание одновибратора в таких случаях позволяет переход к управлению таймером по цепи  $RIC1$  (рис. 2.1,а). Резистор  $R1$  шунтирует большое входное сопротивление ( $R_{вх} \approx 200$  кОм) компаратора  $A2$  в таймере, увеличивая тем самым необходимую для переключения одновибратора мощность помехи.

Если таймер используется для управления электромагнитным реле, то его необходимо подключить к обмотке через диод  $VD1$  (рис. 2.1,а). При положительном выходном напряжении таймера в обмотке накапливается энергия, которая при переключении выходного напряжения вызывает его изменение на величину, большую  $U_n$ . Вследствие этого на выходе таймера может появиться импульс напряжения отрицательной полярности. Диод  $VD2$  ограничивает амплитуду этого импульса до  $-0,7$  В, а  $VD1$  компенсирует падение напряжения на  $VD2$  и, благодаря этому, на выходе таймера

минимальное напряжение остается равным нулю.

Во многих типах цифровой аппаратуры строят на таймерах одновибраторы, управляемые по цепи питания. Эти одновибраторы вырабатывают отрицательный (рис. 2.3,а) или положительный (рис. 2.3,б) импульс выходного напряжения через время  $t_3$  после включения напряжения питания. Используя такие сигналы для за-

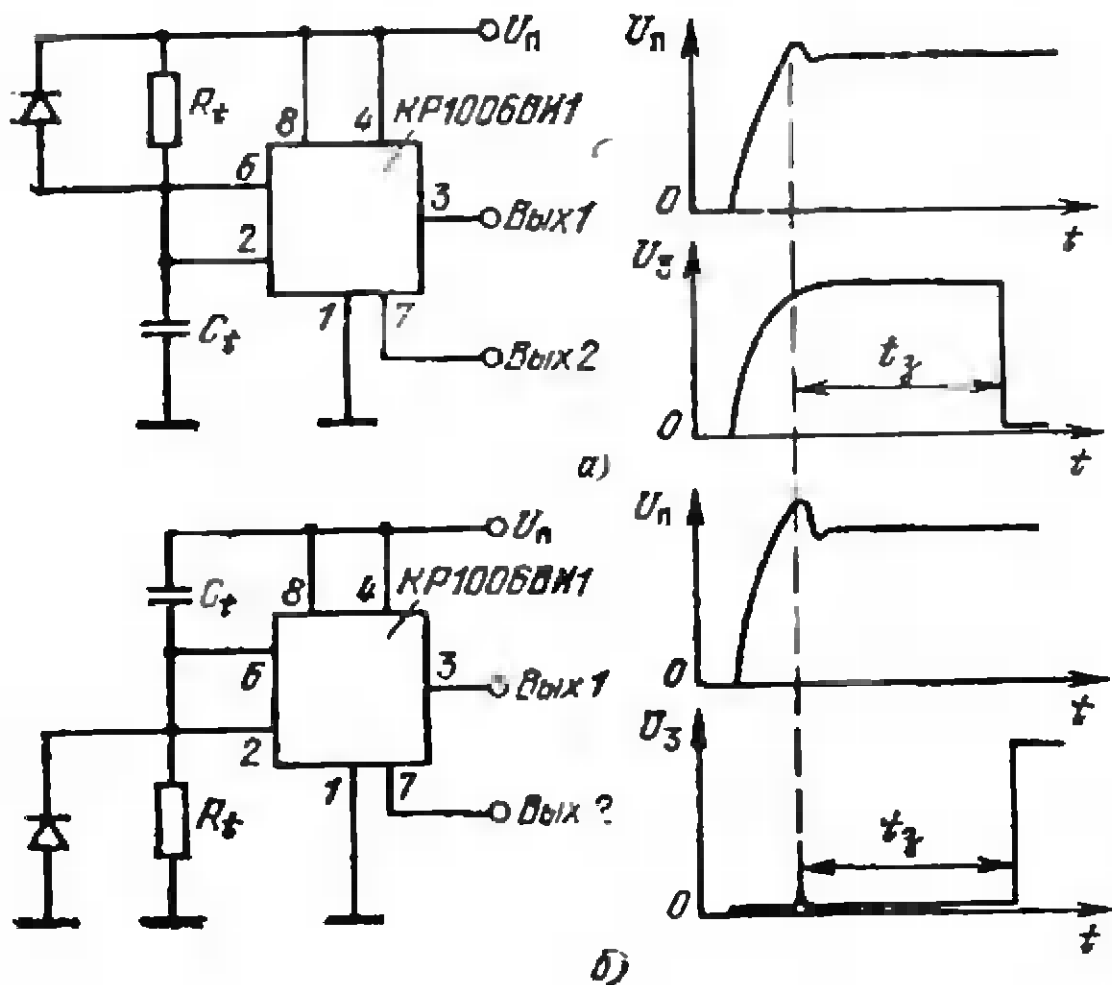


Рис. 2.3. Одновибраторы, запускаемые по включению  $U_n$

пуска или сброса цифровых автоматов, можно исключить влияние на их работу переходного процесса установления  $t_y$  напряжения питания после его включения. Для этого необходимо, чтобы  $t_3 > t_y$ . Тогда через время  $t_3$  таймер вырабатывает сигнал запуска или общего сброса для цифрового автомата, т. е. так называемый сигнал исходной готовности.

В приведенных схемах одновибраторов диоды устраняют влияние возможных выбросов напряжения питания таймера в течение  $t_y$  [4]. В схеме рис. 2.3,а конденсатор  $C_T$  поддерживает напряжение триггерного входа на низком уровне в течение нарастания напряжения питания. Благодаря этому выходное напряжение равно  $U_n$  в течение времени  $t_3$ . В схеме рис. 2.3,б, наоборот, напряжение на триггерном входе близко к напряжению  $U_n$  в течение его нарастания. Благодаря этому, напряжение на выходе таймера  $U_3 \approx 0,1$  В также

при  $t_3 = 1,1R_t C_t$ . При выборе сопротивления  $R_t$  и емкости  $C_t$  следует учитывать, что фактическая величина времени  $t_3$  лежит в пределах от  $1,1R_t C_t$  до  $1,1R_t C_t + t_y$ .

В отличие от базовой схемы (рис. 2.1,а) в одновибраторах, запускаемых в момент включения напряжения питания, вывод 7 свободен. Этот вывод можно использовать в качестве высокоомного выхода (Вых 2 на рис. 2.3), образуемого цепью открытого коллектора внутреннего транзистора  $VT1$ . В отличие от ТТЛ-схем вывод 7 таймера может быть подключен через резистор

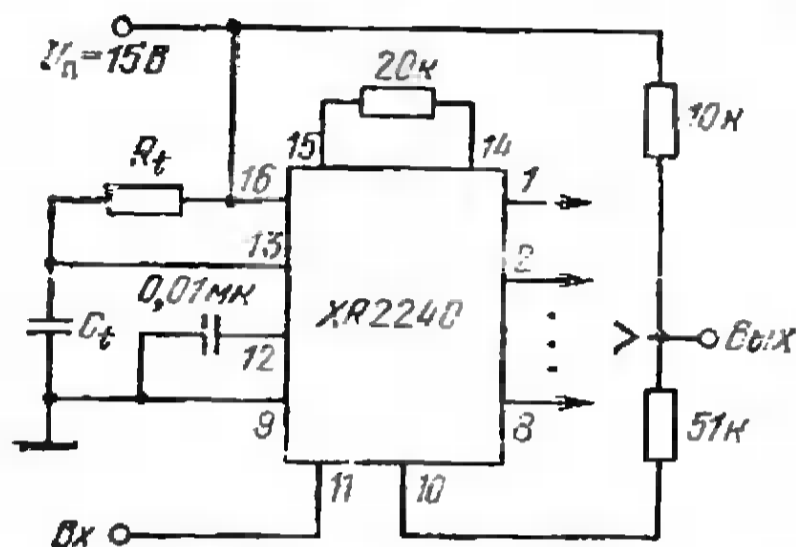


Рис. 2.4. Программируемый одновибратор

к источнику питания  $0—16,5$  В независимо от напряжения питания таймера. В этом случае полярность выходных импульсов на выводах 3 и 7 совпадает.

Для получения одиночной серии из  $N$  импульсов, задержанных относительно сигнала запуска и друг друга, можно включить последовательно  $N$  одновибраторов.

Тогда каждый последующий одновибратор будет запускаться отрицательным фронтом предыдущего. Такую цепочку одновибраторов на одноканальных таймерах можно заменить одним программируемым таймером, если  $N \leq 8$ . Включение программируемого таймера XR 2240 по схеме одновибратора показано на рис. 2.4. При заданных параметрах  $R_t C_t$ -цепи требуемая задержка импульса в диапазоне  $t_3 = (1—255)R_t C_t$  устанавливается соединением соответствующих выходов таймера с общим выходом одновибратора. Одновибратор запускается положительным импульсом, подаваемым на вывод 11, в результате чего на выходе устанавливается напряжение около 0,1 В на время  $t_3$ , а по истечении этого времени напряжение, равное 5 В. Поскольку это же напряжение появляется и в цепи сброса таймера, то сформированное выходное напряжение сохранится на выходе до тех пор, пока в цепь запуска не поступит следующий импульс.

Одновибраторы на программируемых таймерах можно соединять последовательно, если необходи-

мо получать время задержки длительностью до года. В этом случае выводы запуска и сброса таймеров соединяют попарно, а счетчик второго таймера блокируют, соединяя с выходом первого [2]. Вреязадающую цепь содержит только первый таймер. Сигнал сброса поступает на первый таймер с выхода второго, благодаря чему задержка сигнала, формируемого двумя таймерами, может быть увеличена до  $65536 T_n$ , где  $T_n$  — период импульсов запуска.

## 2.2. Методы улучшения параметров одновибраторов на таймере КР1006ВИ1

Отклонение емкости вреязадающего конденсатора  $C_t$  от расчетной величины вызывает ошибку в формировании временных интервалов. Для компенсации этой ошибки можно использовать регулировку напряжения вы-

вода 5 внутреннего резистивного делителя таймера (рис. 2.5). Как было показано в предыдущем параграфе, длительность формируемого одновибратором временного интервала равна времени  $t_3$ , в течение которого конденсатор  $C_t$  зарядится до напряжения  $2U_{\Pi}/3 = U_5$  на выводе 5. В общем случае  $t_3 = -R_t C_t \ln(1 - U_5/U_{\Pi}) = KR_t C_t$ . Отношение

$U_5/U_{\Pi}$ , определяемое делителем напряжения, образованным из резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и внутреннего резисторного делителя таймера, равно  $R_{\Pi}/(R_{\Pi} + 5)$ , где  $R_{\Pi} = 10(R_1 + R_2)/(10 + R_1 + R_2)$ ;  $R_{\Pi}$ ,  $R_1$  и  $R_2$  — в килоомах.

При минимальном сопротивлении резистора  $R_1$  отношение  $U_5/U_{\Pi} = 0,56$ . Поэтому минимальная длительность формируемого временного интервала  $t_{3 \text{ min}} \approx 0,83 R_t C_t$ . При максимальном сопротивлении резистора  $R_1$  отношение  $U_5/U_{\Pi} \approx 2/3$  и длительность импульса  $t_{3 \text{ max}} \approx 1,07 R_t C_t$ . Таким образом, регулируя сопротивление резистора  $R_1$ , можно изменять длительность выходного импульса в диапазоне  $\pm 12,5\%$  относительно номинального значения времени  $t_{3 \text{ н}} = 0,95$ . Этот диапазон регулировки  $t_3$  рассчитан исходя из заданного на схеме суммарного сопротивления  $R_{\Sigma} = R_1 + R_2$ . Если

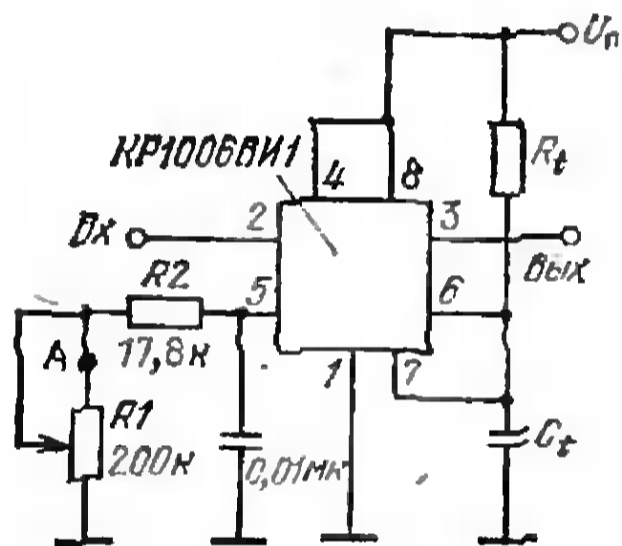


Рис. 2.5. Одновибратор с регулируемой величиной  $t_3$

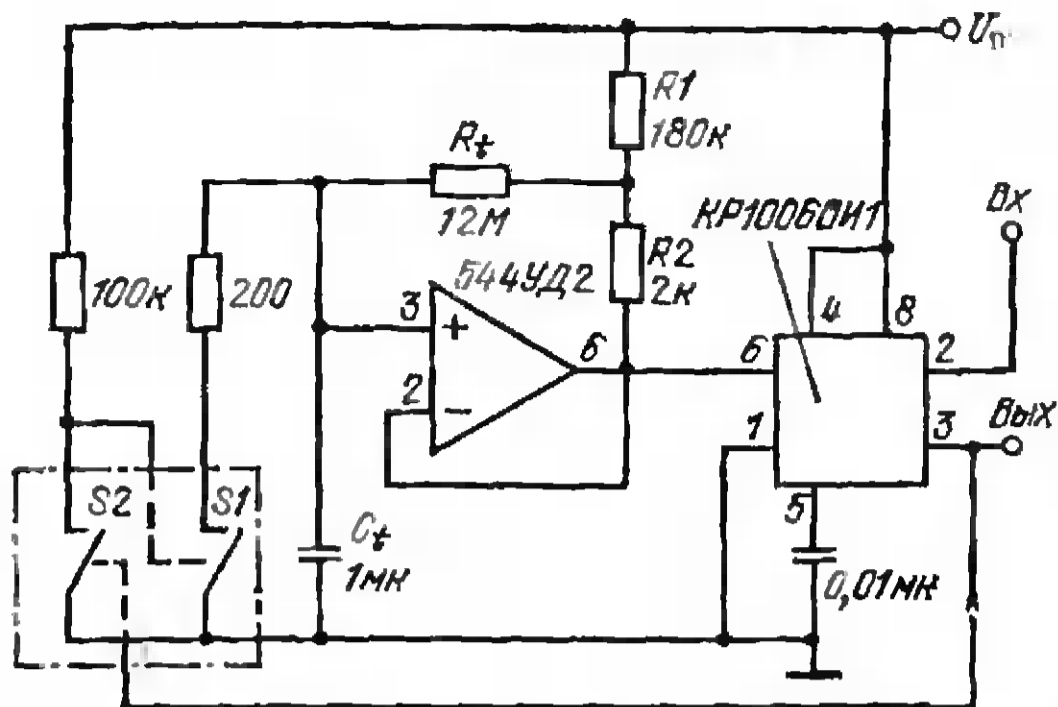


Рис. 2.6. Одновибратор с временем  $t_0$ , увеличенным до нескольких часов

использовать другие сопротивления, то и интервал регулировки изменится. При уменьшении сопротивления  $R_2$  увеличивается интервал регулировки длительности формируемого временного интервала. Интервал регулировки коэффициента  $K$  определяется допустимым диапазоном изменения напряжения  $U_5$ . Для приведенной схемы это напряжение может изменяться от 0 до  $2U_{\text{п}}/3$ . Если же цепь соединения  $R_1, R_2$  разорвать в точке  $A$  и подключить  $R_1$  к шине  $U_{\text{п}}$ , то напряжение  $U_5$  можно будет регулировать в диапазоне  $0-U_{\text{п}}$ , расширив, таким образом, диапазон регулировки коэффициента  $K$ . Следует учитывать, что при установлении напряжения  $U_5$  вблизи потенциалов земли и  $U_{\text{п}}$  точность формирования временных интервалов будет зависеть от параметров конкретного образца таймера и от флуктуаций напряжения  $U_{\text{п}}$  и общей шины.

Для увеличения времени  $t_3$  и диапазона его регулирования обычно в одновибраторах на таймерах используют либо таймер с внутренним программируемым счетчиком (рис. 2.4), либо операционные усилители (ОУ) с полевыми транзисторами на входе для умножения действующего значения постоянной времени  $R_1C_1$ -цепи. Оба способа позволяют расширить диапазон формируемых временных интервалов в десятки раз, не прибегая к использованию  $R_1$  и  $C_1$  с номиналами, большими рекомендуемых для одноконтурных таймеров (см. гл. 1).

В показанной на рис. 2.6 схеме одновибратора использован ОУ 544УД2, который для таймера играет

роль буферного каскада, увеличивающего действующее значение постоянной времени  $R_1C_1$ -цепи в  $(R_1+R_2)/R_2$  раз введением положительной обратной связи [8]. В момент поступления среза импульса на триггерный вход таймера, выходное напряжение последнего устанавливается равным  $U_n$ , переключатель  $S_2$  замыкается,  $S_1$  размыкается и конденсатор  $C_1$  начинает заряжаться через резисторы  $R_1$ ,  $R_1$ . Благодаря большому входному сопротивлению ОУ 544УД2 сопротивление  $R_1$  может быть выбрано значительно большим, чем в обычном одновибраторе. Дополнительно увеличивает действующее значение сопротивления  $R_1$  цепь положительной обратной связи, образованная резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ . Чтобы исключить возможность самовозбуждения ОУ, коэффициент передачи по цепи обратной связи, равный  $R_1/(R_1+R_2)$ , должен быть меньше 1.

Когда напряжение на выходе ОУ и выводе  $b$  таймера достигает  $2U_n/3$ , выходное напряжение таймера падает до нуля,  $S_2$  размыкается,  $S_1$  замыкается, и устройство возвращается в исходное состояние.

Формируемый интервал времени для приведенных на схеме параметров элементов может быть увеличен до  $100R_1C_1$  по сравнению с обычным одновибратором на однотоктном таймере. Перед применением устройства целесообразно отрегулировать напряжение смещения нуля ОУ, чтобы уменьшить погрешность формирования  $t_a$ . Переключатели  $S_1$  и  $S_2$  в реальной схеме одновибратора можно заменить полевыми или биполярными транзисторами.

Во многих применениях одновибраторов на однотоктных таймерах кроме низкоомного выхода необходимо иметь высокоомный, представляющий собой открытый коллектор транзистора (см. рис. 2.7). Высокоомный выход образует цепь коллектора внутреннего разрядного транзистора  $V_{T1}$  таймера, отключенная в этих схемах от времязадающей  $R_1C_1$ -цепи. Подключив вывод 7 через нагрузочный резистор с сопротивлением более 150 Ом к источнику питания с напряжением 0—16,5 В (независимо от напряжения питания таймера), можно получить выходной сигнал необходимой амплитуды, полярность которого равна полярности сигнала на выводе 3.

В исходном состоянии выходное напряжение одновибратора (рис. 2.7.а) сохраняется на уровне 0 В, поддерживая низким и напряжение на пороговом входе

таймера. При поступлении среза входного импульса на триггерном входе таймера устанавливается высокое выходное напряжение. В течение времени  $t_3 \approx 1,1R_t C_t$  конденсатор  $C_t$  заряжается до величины порогового напряжения  $U_3 \approx 2U_{п}/3$ . После этого выходное напряжение падает до нуля, т. е. возвращается в исходное состояние, а конденсатор  $C_t$  разряжается через диод  $VD1$ . В отличие от схемы на рис. 2.1, где конденсатор  $C_t$  разряжается через внутренний транзистор  $VT1$ , в рассматриваемом одновибраторе напряжение на  $C_t$  в первый момент падает не до нуля, а до  $U_c \approx 0,7$  В. После этого разряд  $C_t$  до  $U_c \approx 0$  происходит через  $R_t$ . Последнее является существенным недостатком схемы, поскольку она не может использоваться для формирования точных временных интервалов, если частота входных импульсов запуска больше  $1/2R_t C_t$ . Это объясняется тем, что неполный разряд  $C_t$  даст начальную ошибку в формировании расчетного времени  $t_3 \approx \approx 1,1R_t C_t$ , зависящую от типа и образца диода  $VD1$ , а точнее, от падения напряжения на нем в открытом состоянии. Резистор  $R1$  включен в схему для увеличения

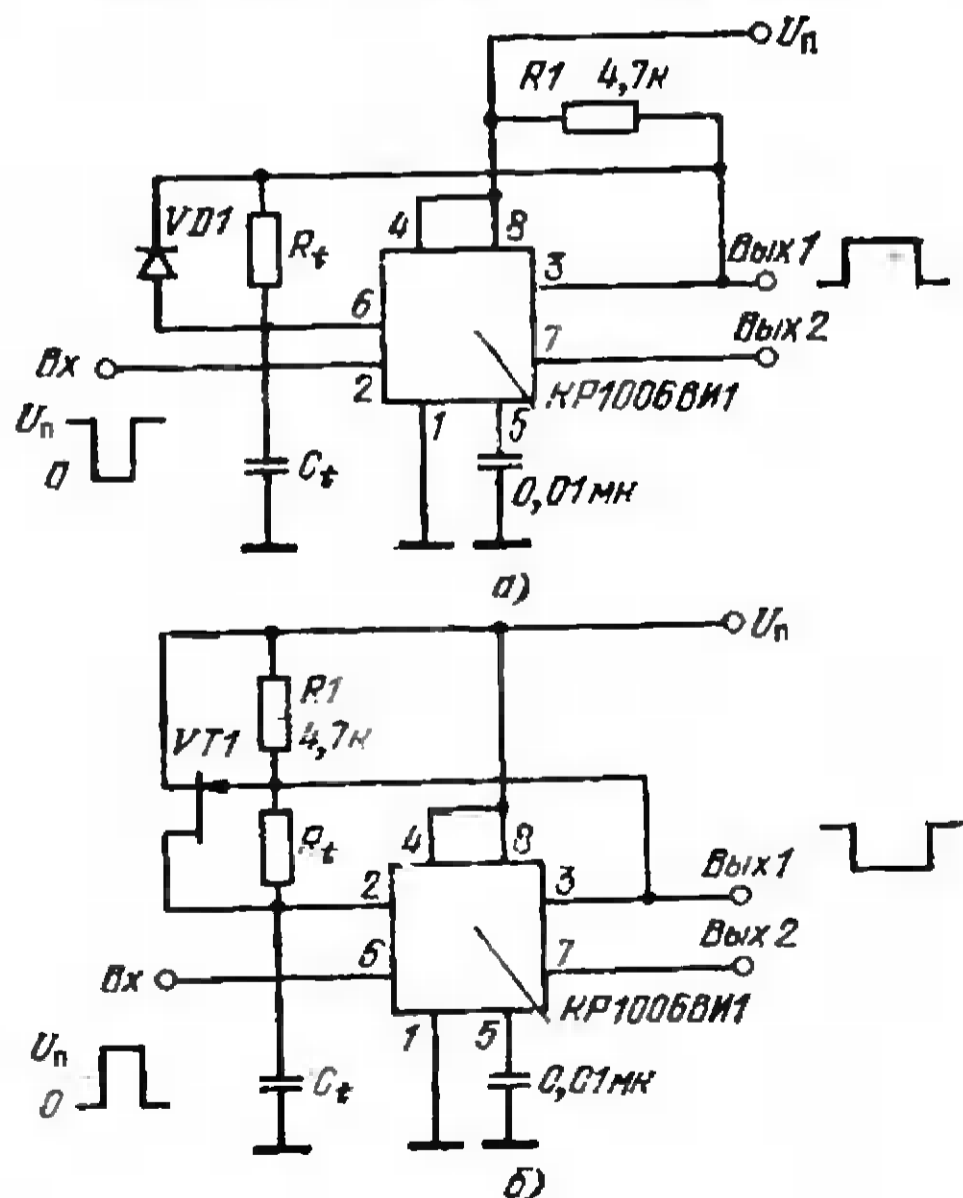


Рис. 2.7. Одновибраторы с высокоомным выходом, запускаемые спадом (а) и фронтом (б) положительного импульса

размаха выходного напряжения до уровня  $U_{\text{п}}$ . Сопротивление  $R_1$  должно выбираться из условия  $R_1 \ll R_t$ .

Если необходим аналогичный описанному одновибратор, но формирующий более точные временные интервалы и управляемый фронтом положительного импульса, то целесообразно, заменив диод полевым транзистором, включить таймер по схеме рис. 2.7,б. В исходном состоянии транзистор  $VT1$  открыт, так как выходное напряжение равно  $U_{\text{п}}$  и конденсатор  $C_t$  заряжен до напряжения  $U_{\text{п}}$ . При подаче на пороговый вход таймера положительного напряжения выходное напряжение таймера падает до нуля, транзистор  $VT1$  закрывается и конденсатор  $C_t$  начинает разряжаться через резистор  $R_t$ . В момент, когда напряжение на конденсаторе  $C_t$  уменьшится до  $U_{\text{п}}/3$ , выходное напряжение установится в исходное состояние, транзистор  $VT1$  вновь откроется и зарядит конденсатор  $C_t$  до напряжения  $U_{\text{п}}$ . Длительность формируемого одновибратором импульса равна  $1,1R_tC_t$ . Недостаток схемы в том, что при малых напряжениях питания ( $U_{\text{п}} < 10$  В) увеличивается сопротивление между стоком и истоком транзистора  $VT1$  в открытом состоянии, а при напряжении питания 5—7 В транзистор вообще может не открыться. Поэтому нецелесообразно уменьшать напряжение питания одновибратора на рис. 2.7,б ниже 10 В. Кроме этого на работу транзистора может повлиять низкоомная нагрузка, подключенная к выводу 3, уменьшающая высокий или увеличивающая низкий уровни выходного напряжения таймера. В этом случае для управления транзистором  $VT1$  можно использовать выход с открытым коллектором, подключив вывод 7 через нагрузочный резистор с сопротивлением 1 кОм к шине питания  $U_{\text{п}}$ .

### 2.3. Специальные одновибраторы

В цифровых приборах бывает недостаточно только точно установить длительность импульса управления. Часто необходимо, чтобы и импульс управления сформировался после заданного интервала времени с не менее высокой точностью. Решить эту задачу можно, используя два одновибратора совместно с цифровой схемой совпадения, обеспечивающей требуемый выходной импульс. Необходимость во втором одновибраторе отпадает, если воспользоваться схемой одновибратора



с транзистором в цепи обратной связи (рис. 2.8,а). Временные диаграммы работы одновибратора приведены на рис. 2.8,б [9]. В исходном состоянии на входе управления напряжение равно 0,1 В, а в точке А напряжение около 0,8 В. Выводы 2, 4, 6 таймера объединены и заземлены через резистор  $R_{11}$ . Однако напряжение на этих выводах не меньше 0,8 В при  $R_{11} > > 50$  кОм. Поэтому цепь сброса не влияет на выходное напряжение таймера и оно удерживается равным  $U_{п}$ . Внутренний  $p-n-p$ -транзистор таймера, осуществ-

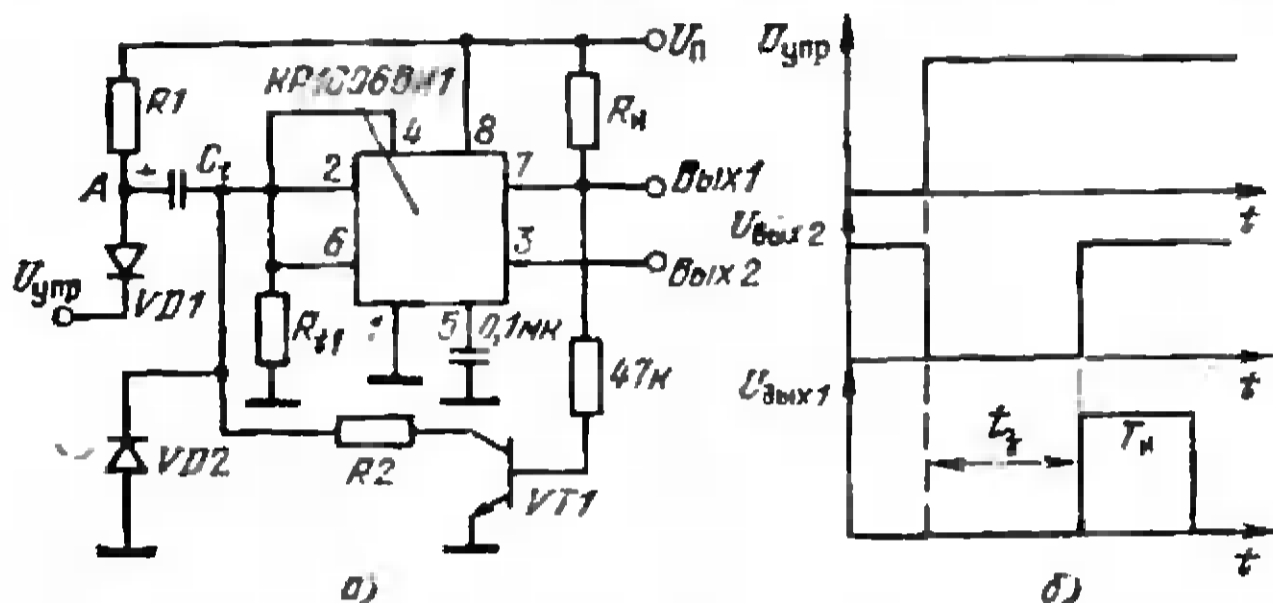


Рис. 2.8. Одновибратор с регулируемой задержкой и длительностью импульса (а) и временные диаграммы его работы (б)

вляющий сброс его выходного напряжения (см. гл. 1), работает в активном режиме, и поэтому втекает ток в базу внутреннего выходного  $n-p-n$ -транзистора, подключенного к выводу 7. Если  $R_{11} \leq R_n$ , то напряжение на выводе 7 близко к 0,1 В и транзистор  $VT_1$  закрыт. Таким образом, в исходном состоянии напряжение на обоих выводах времязадающего конденсатора равно 0,8 В и, следовательно,  $C_1$  полностью разряжен.

При подаче на вход управления положительного напряжения амплитудой около  $U_{п}$  диод  $VD_1$  запирается и напряжение в точке А увеличивается до  $U_{п}$  за время, равное  $1,5R_1C_1$ . При  $R_1 \ll R_{11}$  положительный импульс напряжения, равного  $U_{п} - 0,8$  В, передается на выводы 2, 4, 6 и, как только напряжение на них увеличится до  $2U_{п}/3$ , изменяется выходное напряжение таймера. Затем конденсатор  $C_1$  разряжается и напряжение на нем уменьшается от  $U_{п}$  до 0,8 В. В процессе разряда  $C_1$  и формируется требуемый выходной импульс. На участке уменьшения напряжения на  $C_1$  от  $U_{п}$  до  $U_{п}/3$  конденсатор разряжается только через

$R_{11}$  в течение времени  $t_3 = 1,1R_{11}C_1$ . Затем изменяется выходное напряжение таймера и открывается транзистор  $VT1$ . Вследствие этого параллельно  $R_{11}$  подключается дополнительный резистор  $R_2$  и напряжение на конденсаторе  $C_1$  уменьшается от  $U_{п}/3$  до 0,8 В из-за его разряда через цепь резисторов с общим сопротивлением  $R_{t2} = R_2R_{11}/(R_2 + R_{11})$ . Время разряда  $C_1$  от  $U_{п}/3$  до 0,8 В и определяет длительность  $T_n$  формируемого импульса. Она зависит от напряжения  $U_{п}$ :  $T_n \approx \approx (U_{п}/75В)R_{t2}C_1$ . В момент, когда напряжение на

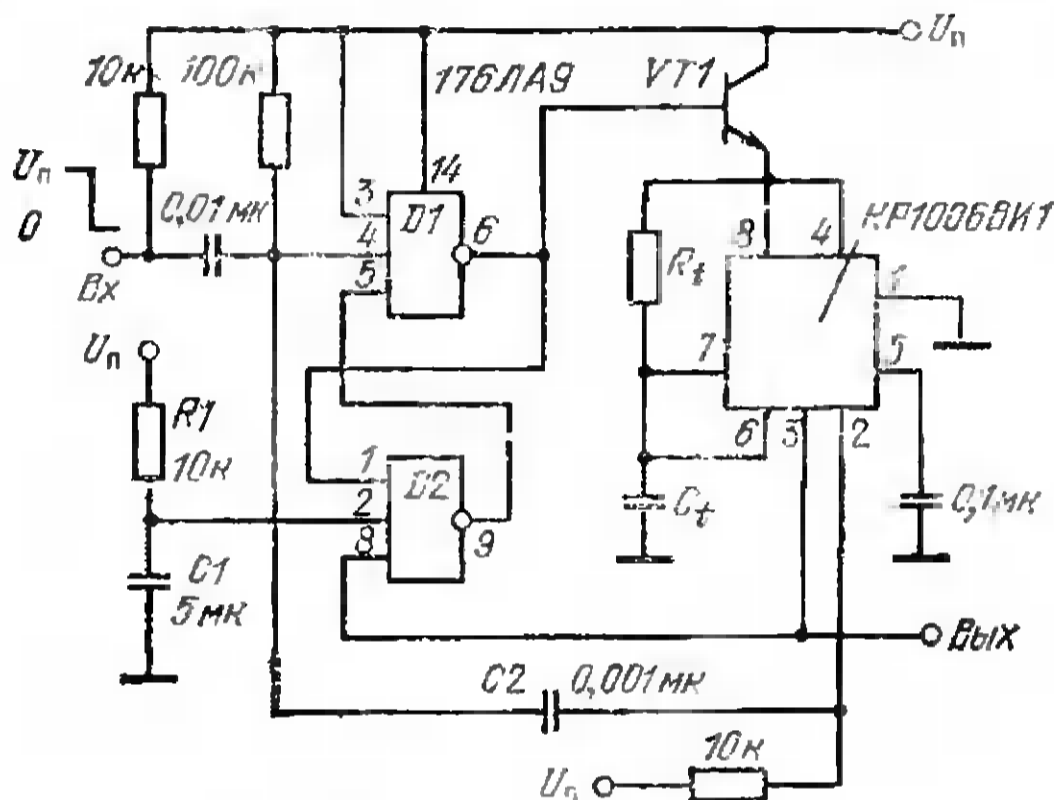


Рис. 2.9. Микро мощный одновибратор с импульсным питанием таймера

конденсаторе  $C_1$  достигает величины 0,8 В (т. е. через время  $t_3 + T_n$  после запуска), выходное напряжение таймера станет равным исходному. В течение времени  $t_3 + T_n$  управляющее напряжение должно оставаться равным  $V_{п}$ . Диод  $VD2$  ограничивает амплитуду отрицательного напряжения, формируемого на выводах 2, 4, 6, при срезе управляющего сигнала.

В некоторых устройствах генерирование точных временных интервалов по внешней команде требуется крайне редко и поэтому большую часть времени таймер потребляет мощность не на выполнение основной функции, а на ожидание. Чтобы избежать таких непроизводительных затрат мощности источником питания, применяют схему одновибратора, показанную на рис. 2.9. В режиме ожидания потребляемый устройством ток не превышает 1 мкА [10]. При подаче на вход среза положительного импульса на выходе бистабильной ячей-

ки, собранной на цифровой ИС 176ЛА9, устанавливается напряжение  $U_n$  и на таймер подается напряжение питания. Одновременно с этими на вывод 2 таймера через конденсатор  $C_2$  поступает срез положительного импульса и на выходе таймера устанавливается напряжение  $U_n$  на время, равное  $1,1 R_1 C_1$ . В течение этого времени транзистор  $VT1$  обеспечивает ток около 6 мА в цепи питания таймера. Через время  $1,1 R_1 C_1$  напряжение на выходе таймера уменьшается до нуля, биста-

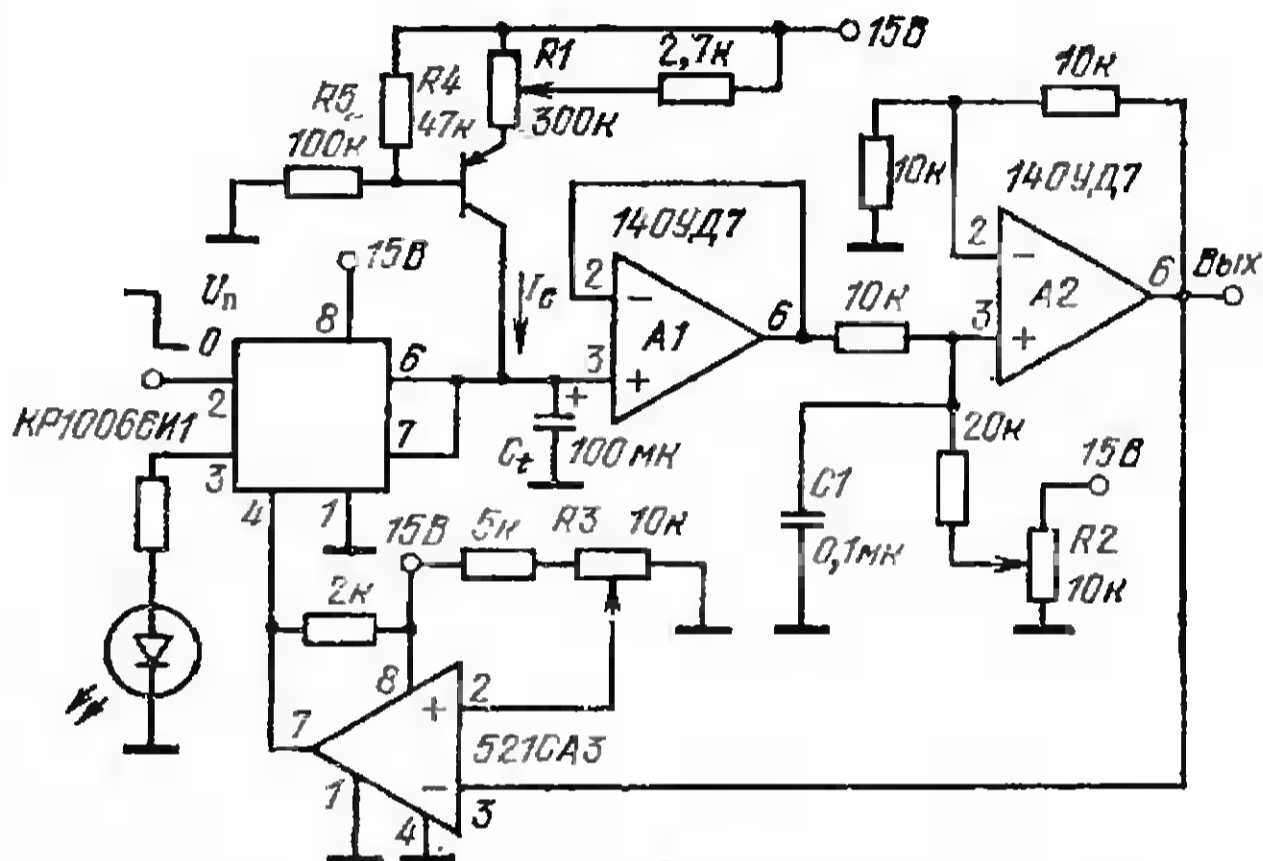


Рис. 2.10. Генератор пилообразного напряжения

бильная ячейка возвращается в исходное состояние, напряжение на базе транзистора падает до нуля и вновь таймер практически не потребляет мощность от источника питания до подачи очередного запускающего импульса. Таким образом, можно формировать временные интервалы длительностью до 10 с.

Цепь  $R_1 C_1$  необходима для установки бистабильной ячейки в требуемое устойчивое исходное состояние при включении общего питания  $U_n$  устройства.

Одновибратор на таймере положен в основу асинхронного генератора пилообразного напряжения с регулируемыми значениями верхнего и нижнего экстремальных напряжений (рис. 2.10) [11]. В схеме предусмотрена плавная регулировка длительности интервала линейного нарастания выходного напряжения. При подаче на триггерный вход таймера среза положительного импульса ток  $I_c$  от транзисторного генератора

постоянного тока начинает поступать в конденсатор  $C_t$ . Напряжение на конденсаторе линейно увеличивается со скоростью  $I_c/C_t$  либо от нуля до напряжения  $2U_{п}/3$ , либо до напряжения, при котором переключается компаратор 521СА3. Напряжение переключения компаратора устанавливается резистором  $R3$ . Выбором емкости конденсатора  $C_t$  и сопротивлений резисторов  $R1$ ,  $R4$ ,  $R5$  можно изменять длительность  $T_n$  нарастающего напряжения от десятков микросекунд до минут  $T_n = \Delta U R_1 C_t / \{ [U_{п} R_4 / (R_4 + R_5)] - U_{об} \}$ , где  $\Delta U$  — амплитуда выходного напряжения. При максимальном сопротивлении резистора  $R1$  и амплитуде выходного напряжения  $\Delta U = 10$  В получим  $T_n \approx 1,5$  мин.

Операционный усилитель  $A1$  работает как неинвертирующий повторитель, согласующий выход таймера со входом цепей регулировки уровней выходного сигнала. Потенциометром  $R2$  регулируется нижний уровень напряжения, генерируемого устройством, потенциометром  $R3$  — верхний уровень этого напряжения. Конденсатор  $C1$  уменьшает возможные высокочастотные помехи, поступающие с выхода таймера. Светодиод может быть использован для индикации наличия состояния нарастания линейного выходного напряжения устройства. Скорость нарастания выходного напряжения, т. е. угол наклона пилообразного сигнала, регулируется резистором  $R1$ . Чем больше сопротивление этого резистора, тем меньше ток заряда  $C_t$  и, следовательно, угол наклона. Тип ОУ необходимо выбирать в зависимости от скорости заряда  $C_t$  таким образом, чтобы собственная скорость нарастания выходного напряжения ОУ, измеряемая в В/мкс,  $v > I_c/C_t$ .

### 3. Мультивибраторы на таймерах

---

В этой главе рассмотрены основные структуры мультивибраторов, построенных на одноканальном и программируемом таймерах общего применения. Показано, что таймеры, работающие в режиме мультивибраторов, позволяют формировать разнообразные по форме и временным параметрам периодические сигналы в диапазоне частот до 1 МГц.

### 3.1. Мультивибраторы на одноконтном таймере

Базовая схема мультивибратора и изменения напряжений на выводах таймера в этом включении приведены на рис. 3.1. Вреязадающий конденсатор  $C_t$  заряжается через сопротивление  $R_1 + R_t$ , а разряжается через  $R_1$ . Поэтому временные параметры рабочего цикла мультивибратора могут быть точно установлены соответствующим выбором соотношений между сопротивлениями  $R_1 + R_t$  и  $R_1$ .

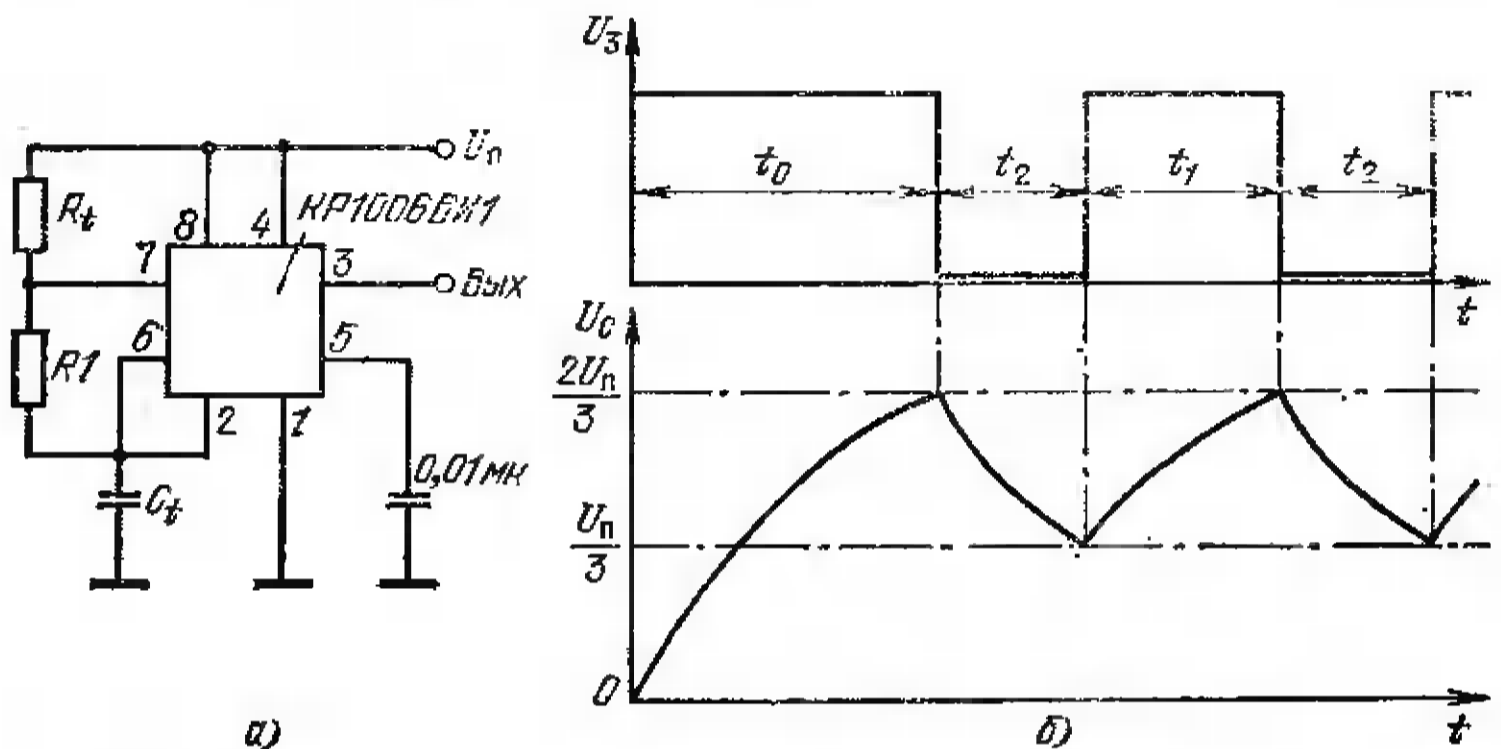


Рис. 3.1. Базовая структура мультивибратора (а) и временные диаграммы его работы (б)

**Рабочий цикл.** После включения питания  $U_{\text{п}}$  конденсатор  $C_t$  заряжается от 0 до  $2U_{\text{п}}/3$  за время  $t_0 = 1,1(R_1 + R_t)C_t$ . Напряжение на выходе таймера в течение этого времени равно  $U_{\text{п}}$ . В момент  $t_0$ , когда напряжение на  $C_t$  достигнет величины  $2U_{\text{п}}/3$ , потенциал выводов 3 и 7 падает до нуля и конденсатор  $C_t$  начинает разряжаться от  $2U_{\text{п}}/3$  до  $U_{\text{п}}/3$ . Время  $t_0$  определяет продолжительность выхода таймера на периодический режим работы, после чего формируются одинаковые повторяющиеся сигналы. Рабочий цикл таймера в режиме мультивибратора складывается из времени заряда  $C_t$  от  $U_{\text{п}}/3$  до  $2U_{\text{п}}/3$  и времени разряда  $C_t$  от  $2U_{\text{п}}/3$  до  $U_{\text{п}}/3$ . Время заряда  $t_1 = (R_1 + R_t)C_t \ln [(U_{\text{п}} - 2U_{\text{п}}/3) / (U_{\text{п}} - U_{\text{п}}/3)] = 0,693(R_1 + R_t)C_t$ , время разряда  $t_2 = 0,693R_1C_t$ , длительность рабочего цикла мультивибратора  $T_{\text{н}} = t_1 + t_2$ , а частота генерируемых выходных сигналов  $f_{\text{г}} = 1/T_{\text{н}} = 1,443 / (2R_1 + R_t)C_t$ .

Скважность выходных импульсов мультивибратора обычно определяют [6] как отношение длительности импульса  $t_1$  к сумме длительностей импульса и паузы  $D = t_1 / (t_1 + t_2) = (R_1 + R_2) / (2R_1 + R_2)$ . Возможные комбинации соотношений между  $R_1$ ,  $R_2$  и  $C_1$ , необходимые для получения требуемых частоты  $f_r$  и скважности  $D$

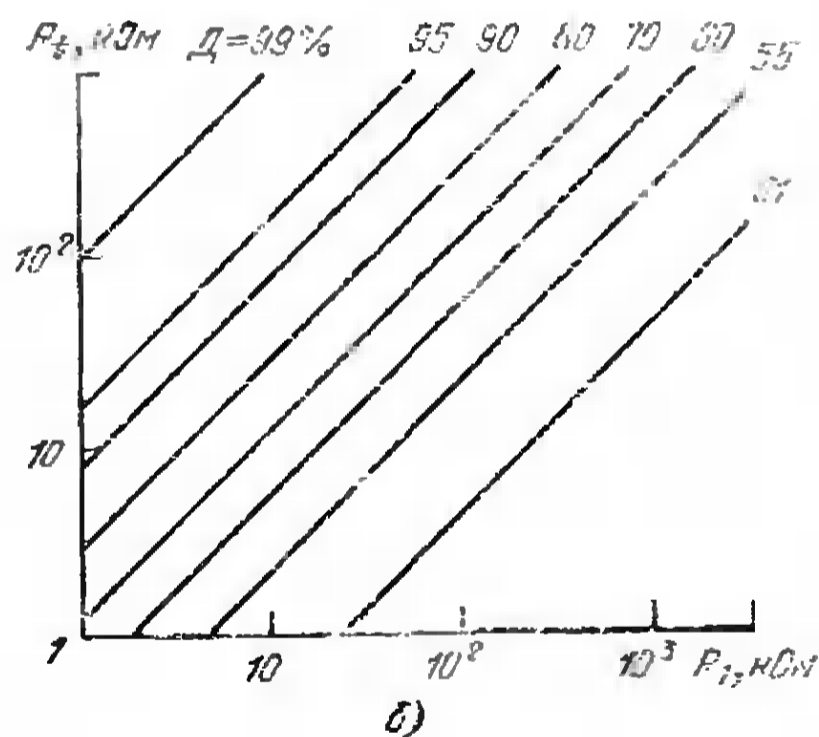
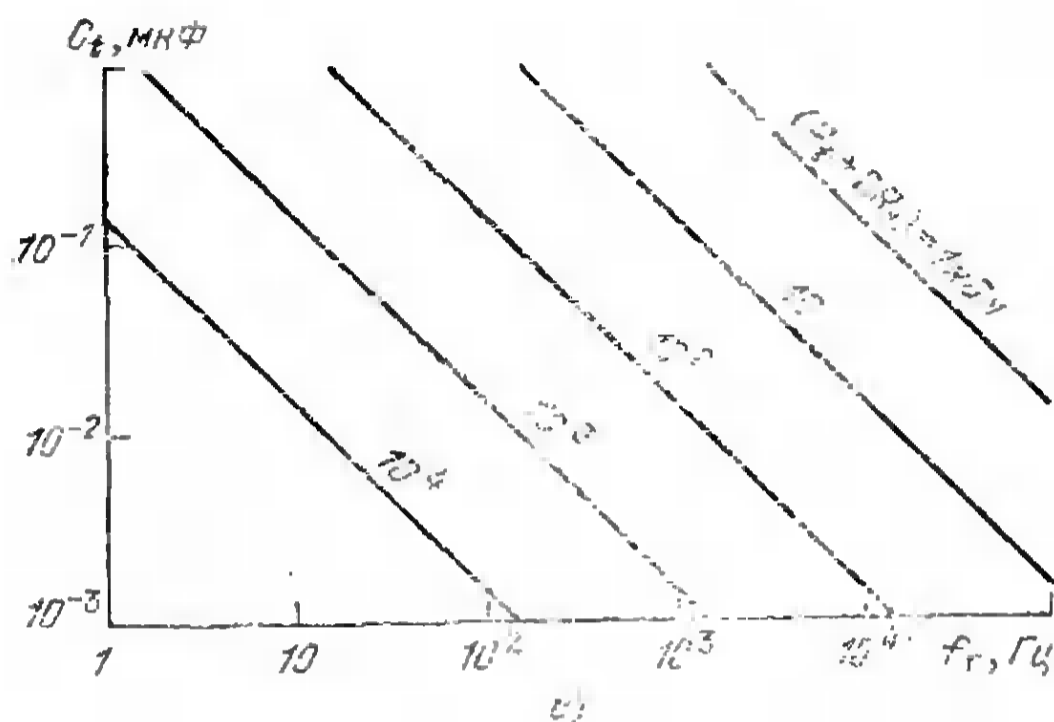


Рис 3.2. Зависимости частоты (а) и скважности (б) выходных импульсов мультивибратора от параметров внешних элементов

выходных импульсов мультивибратора (рис. 3.1,а), можно определить из графиков на рис. 3.2. Как видно из рисунка, этот мультивибратор позволяет регулировать скважность выходных импульсов в диапазоне  $50\% < D < 100\%$ .

Получить скважность импульсов меньше 50% можно, включив в схему на рис. 3.1,а диод  $V_{DI}$ , как пока-

зано в табл. 3.1,б. Конденсатор  $C_t$  в таком мультивибраторе будет заряжаться через  $R_t$  и открытый диод  $VD1$ , а разряжаться, как и в базовой схеме, через  $R1$ . Чтобы уменьшить влияние диода  $VD1$  на точность формирования временных интервалов, целесообразно последовательно с резистором  $R1$  включить диод  $VD2$ , идентичный по параметрам диоду  $VD1$  (например, использовать однокристалльные диодные или транзисторные сборки). В этом случае влияние диодов на временные интервалы  $t_1$  и  $t_2$  взаимокompенсируются. Однако  $t_1$ ,  $t_2$  импульсов, генерируемых таким мультивибратором, больше аналогичных времен импульсов, генерируемых базовой структурой (табл. 3.1,а).

Следует учитывать, что чем меньше напряжение  $U_{п}$ , тем существеннее влияние диодов. Вместе с тем при напряжении питания 15 В погрешность определения параметров  $R_t$  и  $C_t$  в зависимости от требуемой частоты  $f_T$  (см. рис. 3.2,а) не превышает 10%, т. е. лежит в рамках обычного разброса параметров  $R_t$  и  $C_t$ . В табл. 3.1,б приведены значения временных параметров сигналов мультивибратора при  $U_{п}=15$  В.

Мультивибратор на рис. 3.1,а имеет два недостатка. Первый состоит в том, что после включения источника питания на выходе мультивибратора формируется первый временной интервал  $t_0+t_2$ , который на 55% больше, чем каждый из последующих, имеющих длительность  $t_1+t_2$ . Объясняется это тем, что конденсатор  $C_t$ , полностью разряженный в исходном состоянии, после включения  $U_{п}$  заряжается в течение времени  $t_0=1,1(R_1+R_t)C_t > t_1$  до напряжения  $2U_{п}/3$ , соответствующего верхнему пороговому напряжению срабатывания таймера. Время же заряда  $C_t$  до напряжения  $2U_{п}/3$  в последующих временных интервалах  $t_1=0,693(R_1+R_t)C_t$ , так как исходное напряжение на конденсаторе  $C_t$  равно  $U_{п}/3$ , а не 0 В (рис. 3.1,б).

Второй недостаток базовой структуры мультивибратора и ее модификации (табл. 3.1,б) в том, что выходное напряжение таймера в первый момент после включения питания устанавливается на своем высшем уровне около  $U_{п}$ , а не на низшем нулевом. Последнее во многих устройствах, где полезным сигналом является напряжение логической единицы, требует дополнительных аппаратных затрат для исключения действия таймера в течение времени установления напряжения питания.

## Мультивибраторы на одностактном таймере

Структура	Время выхода на режим $t_0$	Время импульса $t_1$	Время паузы $t_2$	Сквознякость $D$
<p>Базовая структура (рис. 3.1, а)</p>	$1,1(R_1 + R_t)C_t$	$0,693(R_1 + R_t)C_t$	$0,693R_1C_t$	$50\% < \frac{R_1 + R_t}{2R_1 + R_t} < 100\%$
	$1,2R_1C_t$	$0,76R_1C_t$	$0,75R_1C_t$	$0 < \frac{R_t}{R_1 + R_t} < 100\%$
	0	$0,693(R_1 + R_t)C_t$	$0,693R_1C_t$	<p>Без шунтирующих диодов</p> $50\% < \frac{R_1 + R_t}{2R_1 + R_t} < 100\%$ ; с шунтирующими диодами: $0 < \frac{R_t}{R_1 + R_t} < 100\%$ .



Устранить оба недостатка можно простой перекомпоновкой элементов мультивибратора на рис. 3.1,а, не меняя их числа и номиналов (табл. 3.1,в). В момент включения питания модифицированного таким образом мультивибратора устанавливаются почти одинаковые потенциалы на выводах 2, 5 и 6. Вследствие этого напряжение на выходе таймера остается равным 0,1 В [12]. Исходное напряжение на выводах 2 и 6  $U_{н} = 2U_{п} R_1 / (3R_1 + 2R_d)$ , где  $R_d = 5$  кОм — сопротивление резистора внутреннего делителя в таймере. Следовательно, в момент включения питания напряжение на выводах 2 и 6 начинает уменьшаться от исходного значения  $2U_{п}/3$  (при  $3R_1 \gg 10$  кОм) из-за заряда конденсатора  $C_t$  через резистор  $R_1$ . После уменьшения напряжения  $U_5$  на выводе 5 до  $U_5/2 = U_{п}/3$  выходное напряжение за время  $0,693 R_1 C_t$  изменится от 0 до  $U_{п}$ . Затем конденсатор начинает заряжаться, и в течение времени  $0,693 (R_t + R_1) C_t$  напряжение на  $C_t$  уменьшается до нуля, после чего выходное напряжение переключится от  $U_{п}$  до 0, т. е. вернется в исходное состояние. Затем описываемый цикл повторится.

Большие сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_t$  необходимы при генерировании длительных интервалов времени (более 1 с), когда ошибки в работе обычного мультивибратора особенно существенны. При уменьшении сопротивления  $R_1$  до величины, близкой к  $R_d$ , напряжение  $U_{н}$  становится значительно меньше  $2U_{п}/3$ . Поэтому в момент включения  $U_{п}$  на конденсаторе  $C_t$  появляется напряжение  $2U_{п}/3 - U_{н}$ , и за время уменьшения этого напряжения до нуля на выходе таймера будет поддерживаться высокий уровень напряжения. Это время существенно меньше, чем в обычном мультивибраторе, пока выполняется неравенство  $R_d \geq R_1$ . При параметрах элементов, показанных на схеме в табл. 3.1,в, скважность выходных колебаний около 66%. Чтобы получить скважность менее 50%, необходимо включить в мультивибратор диоды (см. табл. 3.1,б). Для управления режимом работы мультивибратора рекомендуется использовать цепь с диодом  $VD_1$ . Если от логического элемента на катод диода подано напряжение 0,1—0,3 В, то генерация колебаний таймером прекращается. Необходимо учитывать, что выходная цепь логического элемента в этом случае должна принять ток  $U_{п}/R_d$ . Если для управления таймером используется ТТЛ-схема, то его напряжение питания должно быть 5 В.

Регулировку частоты и скважности выходных импульсов мультивибратора можно осуществить, разделив цепи заряда и разряда времязадающего конденсатора  $C_t$ . В схеме на рис. 3.3,а это достигается включением диодов  $VD1$ ,  $VD2$ , что позволяет регулировать временные интервалы  $t_1$  и  $t_2$  независимо друг от друга. При такой регулировке одновременно со скважностью изменяется и частота выходных импульсов. В схеме на

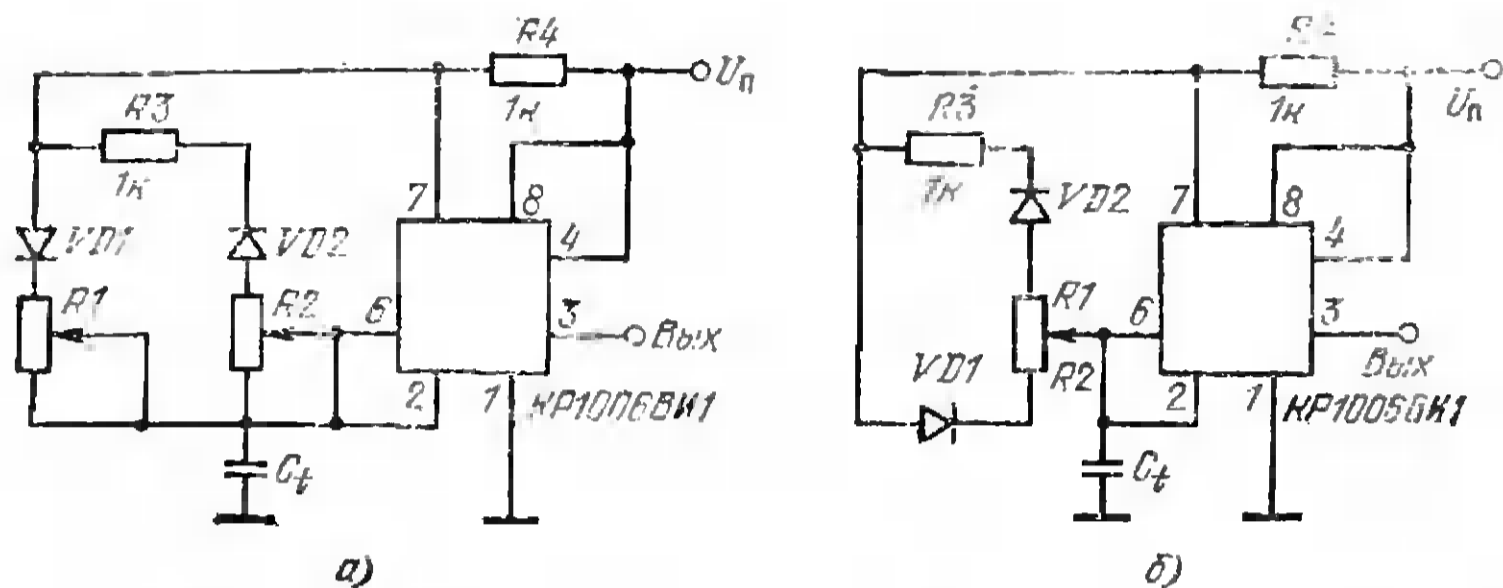


Рис. 3.3. Мультивибраторы с регулируемыми длительностями импульсов и пауз (а) и скважности (б)

рис. 3.3,б  $t_1$  и  $t_2$  регулируются таким образом, что их сумма  $T_n = t_1 + t_2$  остается практически постоянной. Следовательно, скважность выходных импульсов можно регулировать, не меняя их частоты. При проектировании обеих схем целесообразно выбрать  $R_1 = R_2$  и  $R_3 = R_4$ . Тогда, например, при  $R_1 = R_2 = 10 \text{ МОм}$  и  $R_3 = R_4 = 1 \text{ кОм}$  скважность выходных импульсов можно регулировать в диапазоне 0,01—99,99%. Период выходных сигналов в обеих схемах больше, чем в базовой структуре мультивибратора (рис. 3.1,а). Объясняется это уменьшением изменения напряжения на  $C_t$  от  $U_n/3$  до  $U_n/3 - U_d$ , где  $U_d \approx 0,7 \text{ В}$  — падение напряжения на открытом диоде  $VD1$  или  $VD2$ . Длительность полупериода выходного напряжения в этих схемах при  $R_t = R_2 + R_3 = R_1 + R_4$  равна  $T_n/2 = R_t C_t \ln[(2U_n/3 - U_d) / (U_n/3 - U_d)]$ . Чем меньше напряжение питания мультивибраторов, тем сильнее сказывается влияние диодов. Например, при напряжении питания 15 В период выходного сигнала равен  $0,76 R_t C_t$ , а при  $U_n = 5 \text{ В}$  период увеличивается до  $1,4 R_t C_t$ .

Независимое регулирование частоты выходного сигнала мультивибратора от 10 Гц до 10 кГц и его скважности от 1 до 99% можно получить в схеме на рис. 3.4.

Таймер  $D1$  работает в автоколебательном режиме с периодом выходных импульсов  $T_n = 1,4(R_1 + R_2)C_1$ , который регулируется потенциометром  $R1$ . Таймер  $D2$  работает в режиме одновибратора и периодически запускается сигналом  $U_1$ . Экспоненциальное пилообразное напряжение  $U_2$  с входа таймера  $D1$  подается на таймер  $D2$  через неинвертирующий повторитель на ОУ. Скважность выходных импульсов, т. е. время  $t_2$ , зависит не от параметров цепи  $R1, R2, C_1$ , а от напряжения на пороговом входе (вывод 6) таймера  $D2$ . Уровень выход-

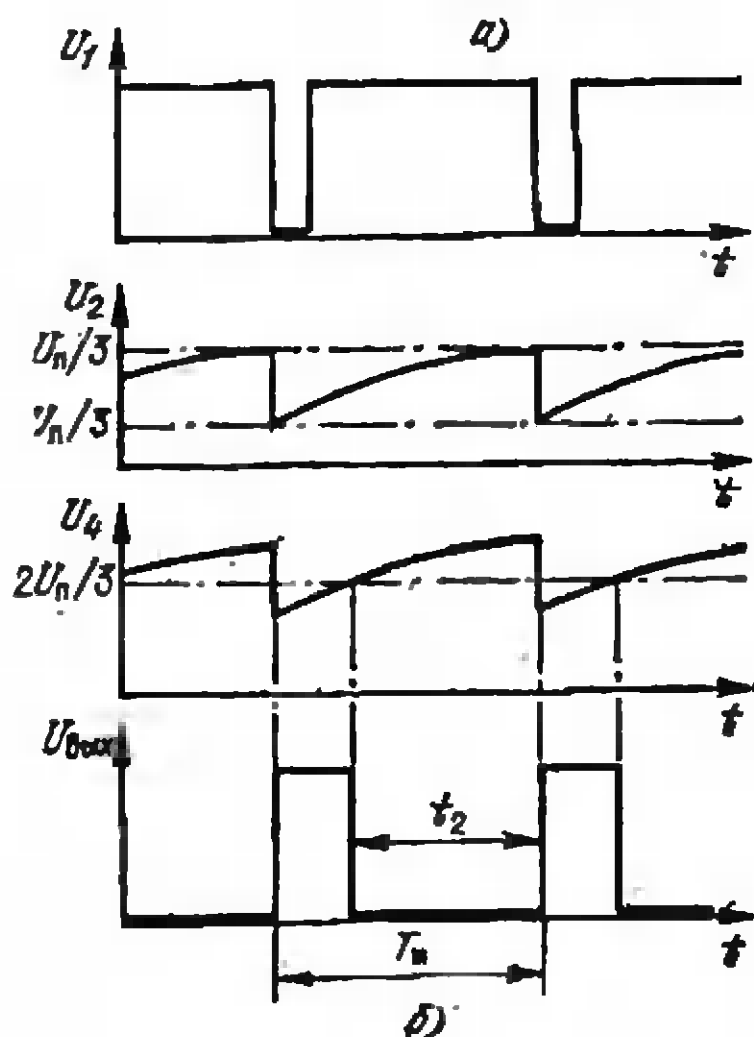
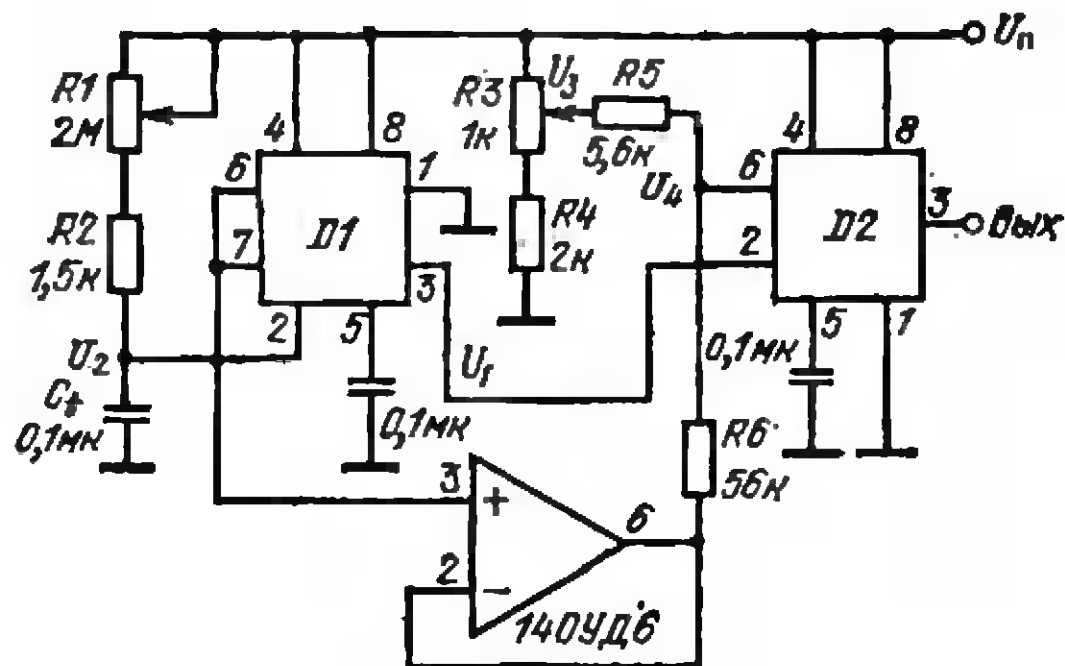


Рис. 3.4. Мультивибратор на таймерах КР1006ВИ1 с независимой регулировкой частоты и скважности импульсов (а) и временные диаграммы его работы (б)

ного напряжения таймера  $D2$  остается высоким до тех пор, пока пороговое напряжение не превышает  $2U_n/3$ . Напряжение  $U_4$  на пороговом входе таймера  $D2$  зависит от напряжений  $U_2$ ,  $U_3$  и определяется выражением  $U_4 = [U_2 R_5 / (R_5 + R_6)] + [U_3 R_6 / (R_5 + R_6)]$ . Напряжение  $U_2$  изменяется от  $U_n/3$  до  $2U_n/3$ . Использование ОУ исключает влияние сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$  на параметры времязадающей цепи на входе таймера  $D1$ , т. е. действие цепи регулировки скважности на частоту выходных импульсов. Скважность регулируется резистором  $R_3$ . Таким образом, частота и скважность могут регулироваться независимо друг от друга. Диапазон регулирования частоты можно установить равным 100 Гц — 100 кГц, уменьшив емкость  $C_1$  до 0,01 мкФ.

Во многих типах испытательной и демонстрационной аппаратуры необходим генератор, переключаемый из ждущего режима работы в автоколебательный. Этот генератор нетрудно построить на одном таймере (рис. 3.5). В таком генераторе возможны два способа обеспечения обоих режимов работы: включением резистора  $R_3$  в цепь сброса таймера и соединением через диод выводов 3 и 5. Перестройка генератора из мультивибратора ( $M$ ) в одновибратор ( $O$ ) производится переключателем  $S1$ .

При использовании диода напряжение на выводе 5 уменьшается до 0,9 В при низком уровне выходного напряжения. Чтобы триггерный вход смог отреагировать на очередной импульс, напряжение на конденсаторе  $C_1$  должно стать меньше 0,45 В. Длительности генерируемых таким генератором импульсов в ждущем и автоколебательном режимах отличаются на 5% [6].

Сопротивление резистора  $R_3$  выбирается с таким расчетом, чтобы длительность импульса, генерируемого в ждущем режиме, совпадала с длительностью импульса в автоколебательном режиме. Резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  образуют делитель, не позволяющий конденсатору  $C_1$  полностью разрядиться, когда напряжение на выводе 7 близко к нулю.

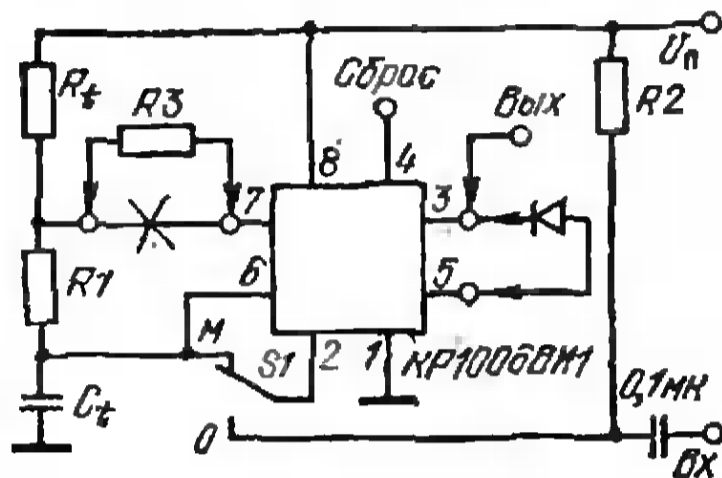


Рис. 3.5. Генератор, переключаемый из автоколебательного в ждущий режим работы

Недостаток использования резистора в том, что требуется предварительный расчет сопротивления  $R_3$  (исходя из необходимых временных характеристик), вследствие чего сложно регулировать длительности импульса. Если же использовать диод, то из-за малых пороговых напряжений импульсы получаются значительно короче, чем в структуре с  $R_3$ , существенно зависят от температуры и разброса параметров диода. Таким образом, преимущество использования резистора  $R_3$  состоит в возможности получения значительно лучшей

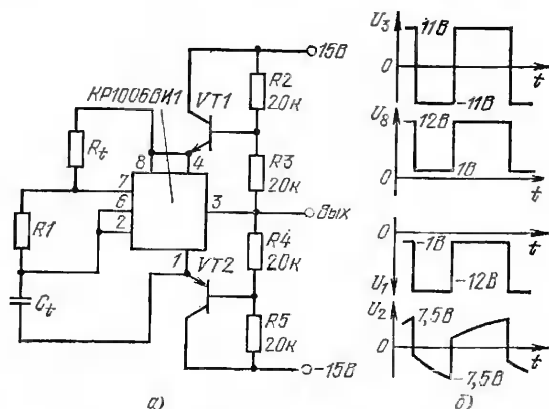


Рис. 3.6. Мультивибратор, формирующий двухполярные импульсы (а) и временные диаграммы его работы (б)

точности и большей длительности генерируемых импульсов, а преимущество использования диода — в простоте настройки генератора.

Мультивибратор, формирующий двухполярные выходные импульсы, можно построить на таймере с автоматическим переключением напряжения питания (рис. 3.6). Дифференциальное напряжение между выводами 1 и 8 не превышает 13 В благодаря управлению его величиной с выхода таймера через транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$ . При положительном выходном напряжении, равном 11 В, напряжение на базе  $VT_1$  равно 13 В, а на выводах 4 и 8 около 12 В. При этом на выводе 1 напряжение близко к  $-1$  В. Если на выходе устанавливается отрицательное напряжение около  $-11$  В, то на выводе 1 напряжение равно  $-12$  В, а на выводе 8 около 1 В (рис. 3.5,б). Для уменьшения выбросов вы-

ходного напряжения базы транзисторов целесообразно зашунтировать конденсаторами емкостью порядка 1000 пФ. В остальном работа схемы аналогична работе мультивибратора на рис. 3.1,а, и для выбора сопротивлений  $R_1$ ,  $R_t$  и емкости  $C_t$  можно воспользоваться зависимостями на рис. 3.2. Если необходимо получить несимметричные выходные импульсы, то достаточно изменить соотношения между сопротивлениями резисторов в делителях  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ ,  $R_5$ . Однако в этом случае необходимо следить за тем, чтобы дифференциальное напряжение между выводами 1 и 8 не превышало 16 В при крайних значениях выходного напряжения.

### 3.2. Мультивибраторы — генераторы меандра

Формирование тактовых импульсов со скважностью 50%, или так называемого меандра, является обычной задачей в современной цифровой аппаратуре. Меандр, у которого временные интервалы совпадают с точностью 2—3%, можно получить на выходе рассмотренных выше мультивибраторов при  $R_t=0$ ,  $R_1 \rightarrow \infty$  в схеме на рис. 3.1,а и при  $R_1=R_t$  в табл. 3.1,б. Однако в этих мультивибраторах невозможно получить предельную для таймера точность совпадения  $t_1$  и  $t_2$ , равную 0,5%. Объясняется это тем, что сопротивление  $R_t$  в схеме на рис. 3.1,а ограничено снизу максимально допустимым выходным током внутреннего транзистора  $VT1$ , а сопротивление  $R_1$  должно быть менее 20 МОм для нормальной работы мультивибратора (см. гл. 1). Выполнить равенство  $R_1=R_t$  проще, но, чтобы получить высокую точность, необходимы прецизионные резисторы, что не всегда приемлемо. Кроме того, при уменьшении напряжения питания существенное влияние на скважность будет оказывать разброс параметров диодов. Поэтому для генерирования импульсов со скважностью 50% обычно применяют специализированные мультивибраторы (табл. 3.2), обеспечивающие погрешность менее 1%.

Генерирование меандра с помощью  $JK$ -триггера, подключенного к выходу таймера (табл. 3.2,а), не требует изменения базовой структуры мультивибратора [6]. Частота выходного сигнала триггера, управляемого по счетному входу, в два раза меньше частоты собственных выходных импульсов таймера  $f_r = 1/2 T_n = 1/2(R_t + 2R_1)C_t$ . Поэтому на параметры выходных

## Генераторы меандра на одностактном таймере

Структура	Время выхода на режим $t_0$	Время рабочего цикла $t_1 + t_2$	Частота выходных импульсов $f_r$
<p>а)</p>	$1,793(R_1 + R_2)C_1$	$0,693(2R_1 + R_2)C_1$	$\frac{0,722}{(2R_1 + R_2)C_1}$
<p>б)</p>	$1,1R_1C_1$	$1,386R_1C_1$	$\frac{0,722}{R_1C_1}$
<p>в)</p>	$1,2R_1C_1$	$1,386R_1C_1$	$\frac{0,722}{R_1C_1}$

импульсов триггера влияет не отношение сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , а их абсолютная величина.

Построить генератор можно, перекомпоновав элементы базовой структуры мультивибратора, как показано в табл. 3.2, б. В отличие от структуры на рис. 3.1, а, времязадающая цепь здесь управляется выходным напряжением таймера, а не по выводу 7 [13]. Поэтому между выходом таймера и цепью питания подключен нагрузочный резистор  $R_n$ , позволяющий увеличить амплитуду выходного напряжения почти до  $U_n$ . Высокая точность при формировании меандра получается благо-

даря тому, что заряд и разряд конденсатора  $C_t$  осуществляются через резистор  $R_t$ . На точность влияют стабильность высокого и низкого уровней выходного напряжения и их симметричность относительно пороговых напряжений  $U_{п}/3$  и  $2U_{п}/3$ . При рекомендуемом обычно значении  $R_{н} = 1 \text{ кОм}$ , сопротивление  $R_t$  необходимо выбирать из условия  $R_t \gg R_{н}$ , т. е.  $R_t > 10 \text{ кОм}$ . В зависимости от требуемой частоты  $f_{г}$  выходного сигнала возможные сочетания между сопротивлением  $R_t$  и емкостью  $C_t$  можно определить из графиков на рис. 3.7.

Существенно влияет на точность работы мультивибратора (табл. 3.2, б) зависимость частоты генерируемых импульсов от входного сопротивления  $R_{вх.н}$  приемника сигнала. При уменьшении сопротивления  $R_{вх.н}$  низкий и высокий уровни выходного напряжения изменяются на значение до 1,5 В, не одинаковое для обоих уровней из-за некоторого различия выходных сопротивлений таймера для втекающего и вытекающего токов.

Для устранения влияния  $R_{вх.н}$  можно подключить приемник сигнала к высокоомному выходу (вывод 7), который в рассматриваемом включении таймера свободен. Если же использовать высокоомный выход таймера не представляется возможным или необходим низкоомный мощный выход, то целесообразно воспользоваться схемой табл. 3.2, в. В отличие от рассмотренных выше генераторов меандра, в этой структуре конденсатор  $C_t$  заряжается через транзистор и времязадающий резистор  $R_t$ . Перепад напряжения, заряжающего  $C_t$ , равен  $U_{п} - U_{эб}$ , а разряжающего равен  $U_{п} - (U_{д} + U_{н})$ , где  $U_{эб}$  и  $U_{д}$  — падения напряжений на переходе эмиттер — база транзистора и диоде, а  $U_{н}$  — падение напряжения на насыщенном внутреннем транзисторе  $VT1$ . Поскольку заряд и разряд  $C_t$  происходят через резистор  $R_t$ , то погрешности в формировании меандра могут возникать, в первую очередь, из-за различия напряжений  $U_{эб}$  и  $U_{д} + U_{н}$ . Наилучшие характеристики мультивибратора в табл. 3.2, в обеспечивает диод Шотки или цепь диода с

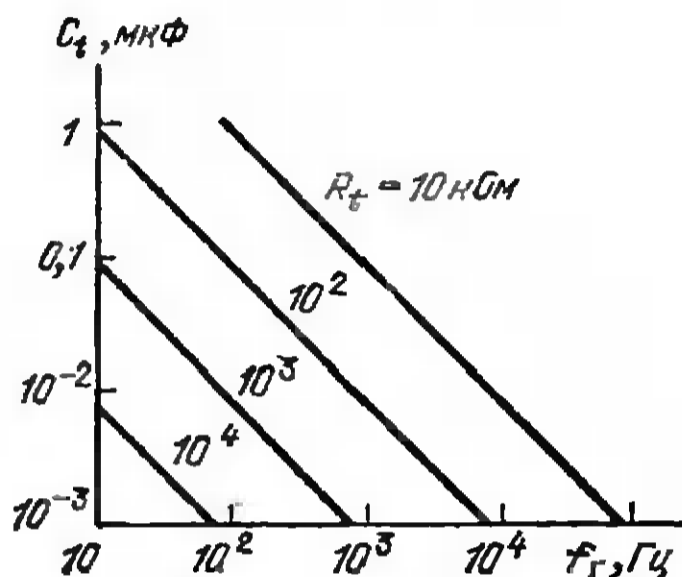


Рис. 3.7. Зависимости частоты выходных импульсов от параметров внешних элементов генератора меандра



транзистором, реализуемая на базе однокристалльной транзисторной сборки [14]. Показанная регулировка рабочей частоты резистором  $R_t$  может быть применена и в схеме табл. 3.2,б, графики на рис. 3.7 могут быть также использованы для выбора параметров  $R_t$  и  $C_t$  в рассматриваемом мультивибраторе.

Вместо биполярного транзистора и диода в схеме табл. 3.2,в можно включить  $p$ -канальный полевой транзистор (например, КП202), управляемый с выхода таймера [11]. Такой мультивибратор также обеспечивает точность формирования меандра (около 1%), но,

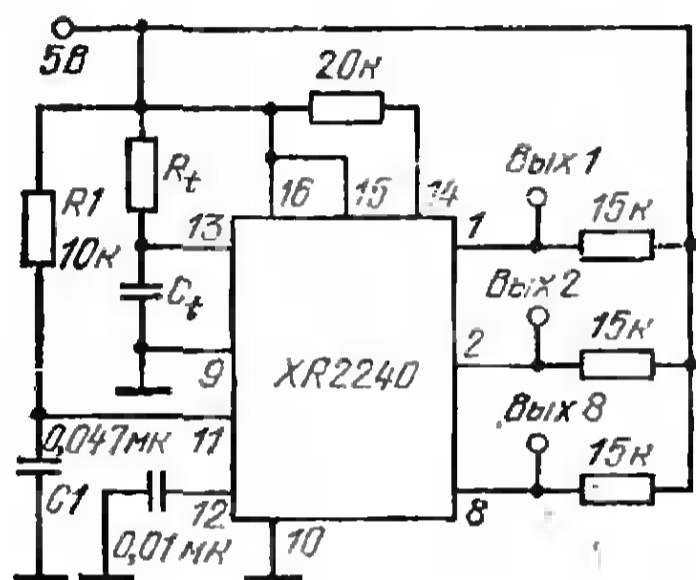


Рис. 3.8. Генератор восьми меандров с кратными значениями частот

во-первых, работает в ограниченном диапазоне напряжения  $U_{п} = 10-15$  В, а во вторых, указанная точность сохраняется только при низких частотах выходных сигналов из-за значительного (0,5—3 кОм) сопротивления канала большинства полевых транзисторов.

Генератор, формирующий одновременно восемь последовательностей импульсов со скважностью 50% и кратными значениями частоты, можно построить на

программируемом таймере (рис. 3.8). Генератор запускается в момент включения источника питания, что достигается использованием интегрирующей цепи на выводе 11. При включении  $U_{п}$  напряжение на выводе 11 близко к нулю. Затем через  $t_0 \approx 0,5 R_1 C_1$  на входе запуска напряжение увеличивается до 1,5 В — значения, соответствующего порогу срабатывания управляющего триггера  $D10$  (рис. 1.4). При этом на восьми выходах таймера появляются периодические импульсы со скважностью около 50% и частотой  $1/2 R_t C_t$  на выводе 1,  $1/4 R_t C_t$  на выводе 2 и т. д. Если необходимо получить конечное число импульсов с одного или нескольких выходов, то вывод, следующий за последним используемым из числа выводов 1—8, необходимо соединить с выводом 10. Например, при выполнении какой-либо вычислительной операции или подпрограммы в микропроцессоре, если требуются 16 тактов с периодом  $2R_t C_t$  и один такт с периодом  $32 R_t C_t$ , необходимо соединить

выводы 6 и 10. В этом случае в момент появления положительного импульса на выводе 6 генерирование тактовых сигналов прекратится и на всех выходах таймера установится напряжения  $U_n$ . Для управления работой генератора можно использовать цепь  $R1C1$ , отключив ее от источника  $U_n$ .

### 3.3. Формирование сигналов сверхнизкой частоты

Генерируемые рассмотренными мультивибраторами на одноканальном таймере временные интервалы  $t_1$ ,  $t_2$  или  $T_n$  можно увеличить от десятков минут до десятков часов, заменив времязадающую  $R_t C_t$ -цепь интегратором на ОУ с полевыми транзисторами на входе (544УД1, 140УД8 и др.). Входной ток таких ОУ (20—50 пА) значительно меньше входного тока компараторов таймера, благодаря чему времязадающие конденсаторы  $C_t$  могут перезаряжаться токами порядка наноампер, необходимыми для точного формирования импульсов сверхнизкой частоты. В схеме такого генератора, показанной на рис. 3.9,а, таймер работает в режиме мультивибратора. Транзистор  $VT1$  управляется сигналом, поступающим с вывода 7 таймера. Напряжение на коллекторе транзистора  $VT1$  изменяется от нуля, при насыщенном транзисторе, до  $U_n/2$  при закрытом транзисторе. Напряжение на неинвертирующем входе ОУ с помощью низкоомного делителя  $R6$ ,  $R7$  устанавливается равным примерно  $U_n/4$ . Резисторы  $R1$ ,  $R3$  и  $R4$  почти не влияют на это напряжение, так как их сопротивления выбираются значительно большими, чем сопротивления  $R6$ ,  $R7$ . При открытом транзисторе  $VT1$  ток, поступающий через резистор  $R5$  на неинвертирующий вход ОУ  $I_0 = U_n R_4 / 4R_5 (R_3 + R_4)$ . При закрытом транзисторе  $I_3 = -I_0$ . Уравнение, описывающее работу интегратора, имеет вид  $dU_1/dt = I/C$ . Учитывая, что  $U_1$  должно изменяться от  $U_n/3$  до  $2U_n/3$ , получаем  $t = \int_{U_n/3}^{2U_n/3} (C/I) dU_1 = 8(R_3 + R_4) R_5 C / 3R_4$ . Таким образом, на выходе таймера будут формироваться временные интервалы  $t_1 = t_2 = T_n$ .

Для приведенных на схеме сопротивлений  $R3$ ,  $R4$   $T_n = 50 R_5 C_t$  и, следовательно, частота выходных импульсов  $f_T = 1/100 R_5 C_t$ . Благодаря малому входному току ОУ можно выбрать  $R_5 \gg 10$  МОм. Например, при  $R_5 \approx 100$  МОм максимальный ток через  $R5$  будет около 2 нА; что намного больше входного тока ОУ 544УД1.

При  $R_5 \approx 100 \text{ МОм}$  период выходных сигналов таймера  $T_n \approx 2 \text{ ч}$  при  $C_t = 1 \text{ мкФ}$ . Если же использовать таймер без ОУ, то для максимально допустимого сопротивления времязадающего резистора ( $R_t \approx 20 \text{ МОм}$ ) и  $C_t = 10 \text{ мкФ}$  получим  $T_n \approx 6 \text{ мин}$ .

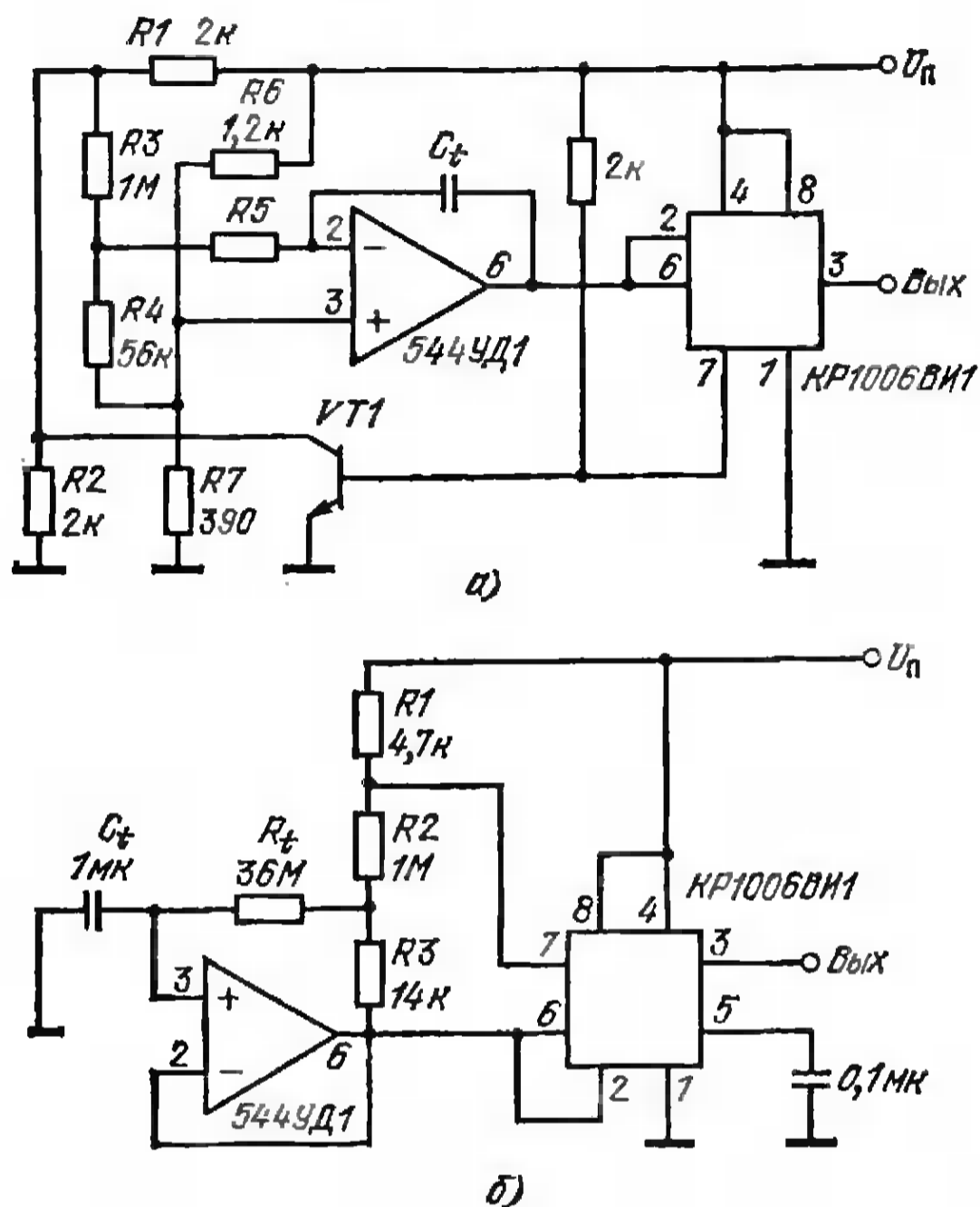


Рис. 3.9. Генераторы импульсов длительностью от нескольких часов (а) до суток (б)

Несколько большие значения коэффициента умножения постоянной времени  $R_t C_t$ -цепи можно достичь, используя на входе таймера ОУ с положительной невозбуждающей обратной связью (рис. 3.9, б). В этой схеме также необходимо использовать ОУ с полевыми транзисторами на входе, но требуемые сопротивления резисторов здесь существенно меньше. Благодаря действию положительной обратной связи, образованной резисторами  $R_2$  и  $R_3$ , период выходного сигнала увеличивается до  $1,4 R_t C_t (R_2 + R_3) / R_3$ . Для указанных на схеме параметров элементов  $T_n \approx 100 R_t C_t$  [15]. Изменить период колебания можно регулировкой сопротивления

$R3$ . Сопротивление резистора  $R2$  должно быть значительно больше, чем сопротивление  $R1$ , чтобы избежать искажения формы выходных сигналов. Эта схема мультивибратора проще, чем на рис. 3.9,а, но может оказаться сложнее при наладке, так как ОУ работает близко к границе своей устойчивости. Следует иметь в виду, что ОУ, устойчиво работающий при нормальной температуре, может возбуждаться при ее колебаниях.

Для получения импульсов с частотой до  $10^{-3}$  Гц можно воспользоваться схемой на трех таймерах

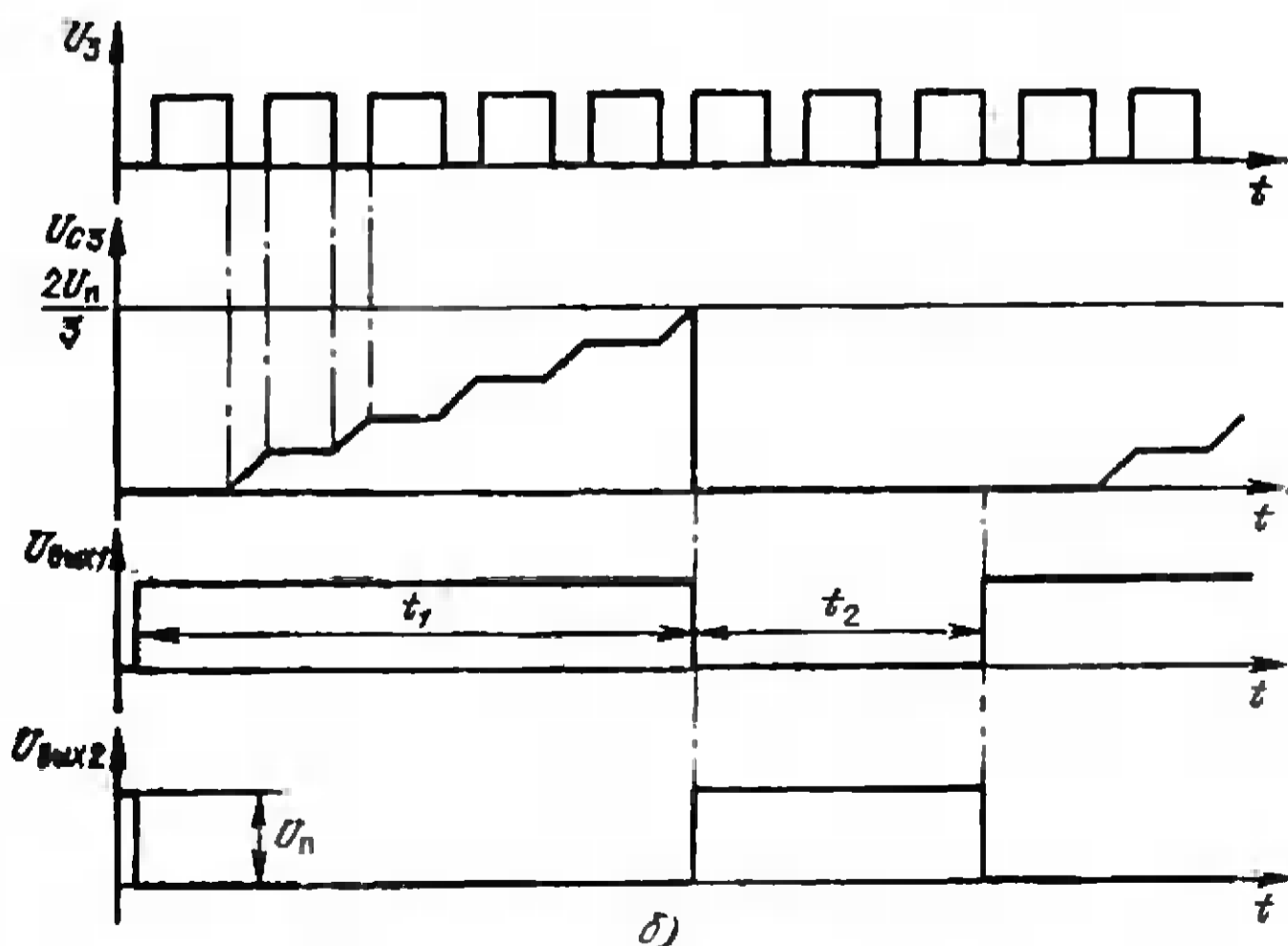
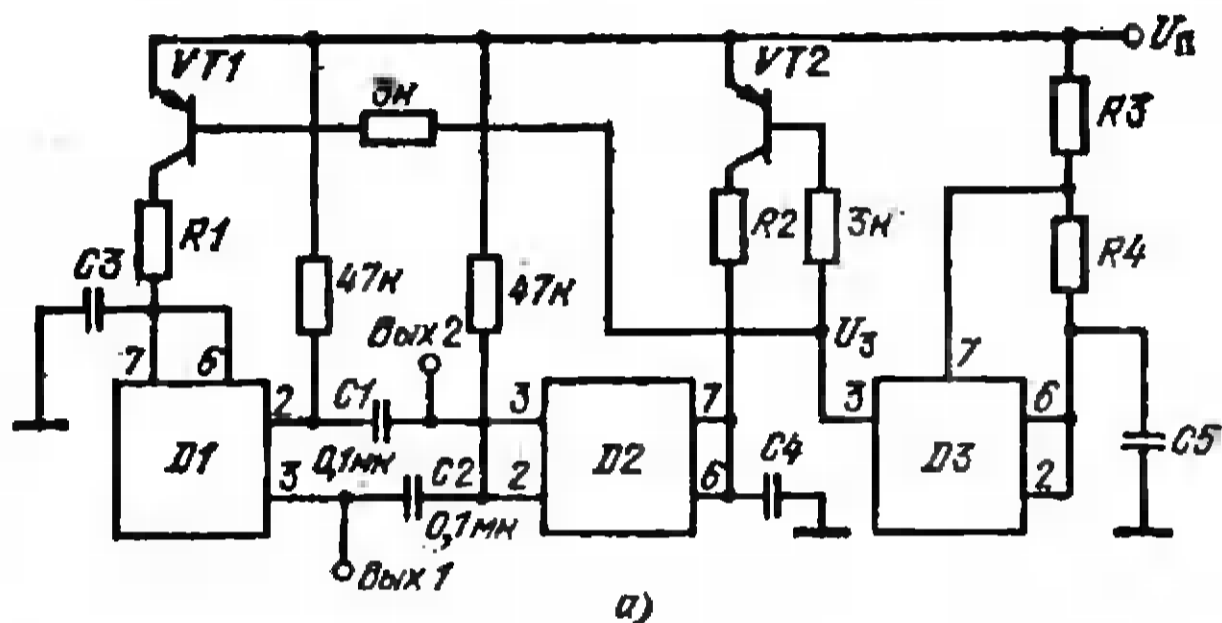


Рис. 3.10. Генератор импульсов сверхнизкой частоты на одноканальных таймерах КР1006ВН1 (а) и временные диаграммы его работы (б)

КР1606В11 (рис. 3.10,а). При сравнительно низкоомных резисторах и конденсаторах небольшой емкости генератор позволяет получить регулируемые периодические сигналы с длительностью до 1 ч [16]. Таймеры  $D1$  и  $D2$  работают в режиме одновибратора, а  $D3$  — в режиме мультивибратора. Генерируемые мультивибратором импульсы поступают на транзисторы  $VT1$  и  $VT2$ , включенные последовательно с времязадающими резисторами  $R1$  и  $R2$  одновибраторов. Транзисторы находятся в насыщении при низком выходном напряжении  $D3$  в течение времени  $0,7 R_4 C_5$ . При высоком выходном напряжении  $D3$  в течение времени  $0,7 (R_3 + R_4) C_5$  транзисторы закрыты. На рис. 3.10,б показано изменение напряжения на времязадающем конденсаторе  $C3$  в течение формируемого таймером  $D1$  временного интервала  $t_1$ . Аналогичного вида и изменение напряжения на времязадающем конденсаторе  $C4$  таймера  $D2$  за время формирования временного интервала  $t_2$ .

Работает генератор следующим образом. При отрицательном перепаде выходного напряжения таймера  $D2$ , импульс, запускающий таймер  $D1$ , поступает на его триггерный вход. На выходе таймера  $D1$  устанавливается напряжение, равное  $U_n$ , внутренний разрядный транзистор таймера  $D1$  (см. гл. 1) закрывается и конденсатор  $C3$  начинает разряжаться через резистор  $R1$  и насыщенный транзистор  $VT1$ . Поскольку транзистор  $VT1$  находится в насыщении периодически, когда выходное напряжение таймера  $D3$  близко к нулю, то и увеличение напряжения на  $C3$  происходит ступенчато (рис. 3.10,б). Пока транзистор  $VT1$  закрыт, напряжение на конденсаторе  $C3$  практически не увеличивается. В момент достижения напряжением на  $C3$  уровня  $2U_n/3$ , одновибратор на таймере  $D1$  возвращается в свое устойчивое состояние и его выходное напряжение становится равным  $0,1$  В. Время заряда  $C3$  от 0 до  $2U_n/3$  равно  $t_1 = 1,1 R_1 C_3 (2 + R_3/R_4)$ . При изменении выходного напряжения таймера  $D1$  от  $U_n$  до  $0,1$  В запускается одновибратор на таймере  $D2$ , поскольку отрицательный перепад напряжения передается через конденсатор  $C2$  на триггерный вход таймера  $D2$ .

Одновибратор на таймере  $D2$  абсолютно идентичен одновибратору на таймере  $D1$ , поэтому процесс формирования временного интервала  $t_2$  аналогичен рассмотренному выше для  $t_1$  и  $t_2 = 1,1 R_2 C_4 (2 + R_3/R_4)$ . Генерируемые одновибраторами временные интервалы сдвиги-

нуты относительно друг друга по фазе на половину периода. Частота выходных сигналов генератора  $f_r \approx \approx 1/(t_1 + t_2) \approx 10^{-3}$  Гц достигается, например, при  $R_1 = R_2 = 200$  кОм,  $C_3 = C_4 = 5$  мкФ,  $R_3/R_4 = 200$ . Интервалы времени  $t_1$ ,  $t_2$  и частоту  $f_r$  можно регулировать, заменив постоянные резисторы  $R_1 - R_3$  переменными. Для упрощения изображения схемы не показано подключение в таймерах выводов 4, 8 к  $U_{п.}$ , заземление выводов 1 и шунтирование выводов 5 конденсаторами емкостью около 0,01 мкФ. Чтобы уменьшить влияние температуры на формируемые временные интервалы, целесообразно использовать транзисторную сборку 198НТ5. Между выходом таймера  $D3$  и базами этих транзисторов необходимо включить резисторы с сопротивлениями 2—5 кОм, ограничивающие базовые токи в  $VT_1$ ,  $VT_2$  в режиме насыщения.

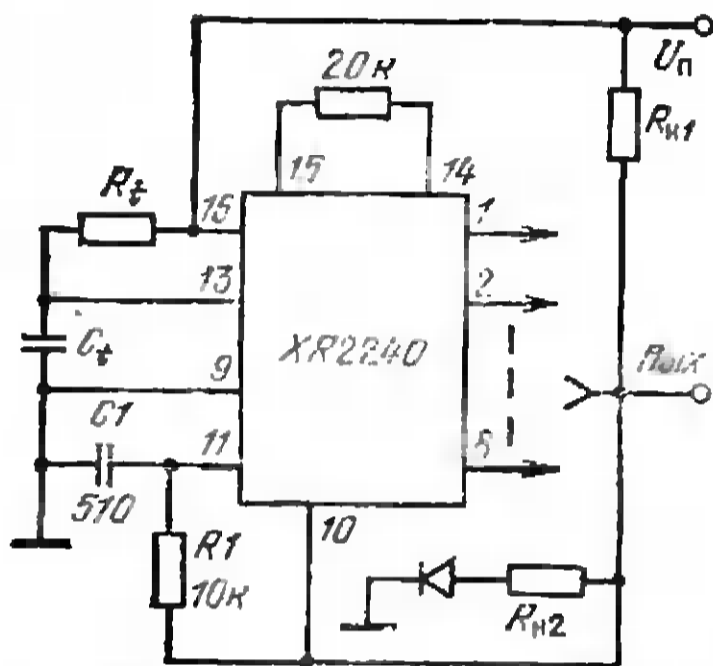


Рис. 3.11. Программируемый генератор импульсов сверхнизкой частоты

Последовательность импульсов низкой частоты можно получить с помощью программируемого таймера, включив его по схеме рис. 3.11. В этой схеме формируются импульсы длительностью  $R_1 C_1$  и частотой  $1/(n + 1)R_1 C_1$ , где  $n$  — определяется суммой коэффициентов умножения объединенных выходов таймера. Минимальная частота выходных импульсов  $f_r = 1/256 R_1 C_1$  получается, когда к выходной шине подключены все выходы 1—8 [2]. Генератор работает следующим образом. При напряжении на выходной шине около 0 В напряжение на выводах 10, 11 также близко к нулю. В момент появления положительного импульса на выходной шине напряжение на выводе 10 также становится положительным и происходит общий сброс счетчика таймера. Через время  $0,3 R_1 C_1 > 1,5$  мкс, положительное напряжение на выводе 11 увеличивается до порога срабатывания управляющего триггера  $D10$  и счетчик запускается (рис. 1.4). На выходах таймера появляются последовательности импульсов с частотой, кратной  $1/2 R_1 C_1$ . Время до появления очередного положительного им-

пульса на выходе таймера зависит от того, какие из выводов 1—8 подключены к выходной шине. Если, например, объединены выводы 1, 5 и 7, то это время равно  $(1 + 16 + 64) \times R_1 C_1$ . Затем описанный цикл работы повторяется. Изменяя сопротивления резисторов  $R_{н1}$  и  $R_{н2}$ , можно изменять амплитуду генерируемых импульсов в диапазоне 5—15 В. Требуемое значение амплитуды определяется из выражения  $U_{\text{вых}} = (U_{\text{п}} - U_{\text{д}}) / (1 + R_{н1}/R_{н2})$ . Включение диода последовательно с  $R_{н2}$  позволяет устранить влияние этого резистора при низком выходном напряжении таймера. Соотношение между сопротивлениями  $R_{н1}$  и  $R_{н2}$  должно выбираться с таким расчетом, чтобы  $U_{\text{вых}} \geq 4$  В. Для исключения отказа счетчика из-за недостаточной длительности выходных импульсов внутреннего таймера, вывод 14 целесообразно при питании таймера напряжением более 10 В и при небольших емкостях  $C_1$  шунтировать конденсатором емкостью 50—310 пФ.

### 3.4. Специализированные генераторы

**Генераторы прямоугольных сигналов.** Мультивибратор, генерирующий импульсы регулируемой частоты и скважности через заданное время  $t_3$  с момента подачи запускающего импульса, показан на рис. 3.12. [17]. Эта схема используется в тех случаях, когда необходимо избежать действия коротких помех и, в то же время, надежно зафиксировать продолжительные сигналы (например, в электронных сторожах).

В исходном состоянии (переключатель  $S1$  разомкнут) транзистор насыщен, диод  $VD1$  устанавливает на выводе 5 таймера напряжение около 0 В, диод  $VD2$  закрыт, а диод  $VD3$  открыт. Резисторные делители  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ ,  $R4$  поддерживают равными 2,5 и 1,5 В соответственно напряжения на выводах положительного и отрицательного полюсов конденсатора  $C1$ . Таким образом, начальное напряжение на конденсаторе  $U_{\text{н}} \approx 1$  В, а напряжение на выводе 6 таймера больше, чем напряжение  $U_5$  на выводе 5 на 0,7 В. Поэтому на выходе таймера устанавливается напряжение около 0,1 В и диод  $VD4$  закрыт. Мультивибратор начинает работать, когда переключатель  $S1$  замыкается. Вследствие этого напряжение в точке  $A$  уменьшается до 0 В, транзистор закрывается и его коллекторное напряжение возрастает до 15 В. Это приводит к запиранию диода  $VD1$  и к ус-

тановлению на выводе 5 таймера напряжения  $U_5 \approx 3,6$  В, которое зависит от сопротивления  $R5$ , включенного параллельно внутреннему резистору таймера, с сопротивлением 10 кОм. Диод  $VD2$  открывается и на выводе положительного полюса конденсатора  $C1$  устанавливается максимальное напряжение  $U_{\max} \approx 14,5$  В. Поскольку диод  $VD3$  закрыт, перепад напряжения, равный 12 В, передается на выводы 2 и 6 таймера, напряжение на них становится больше, чем на выводе 5, и

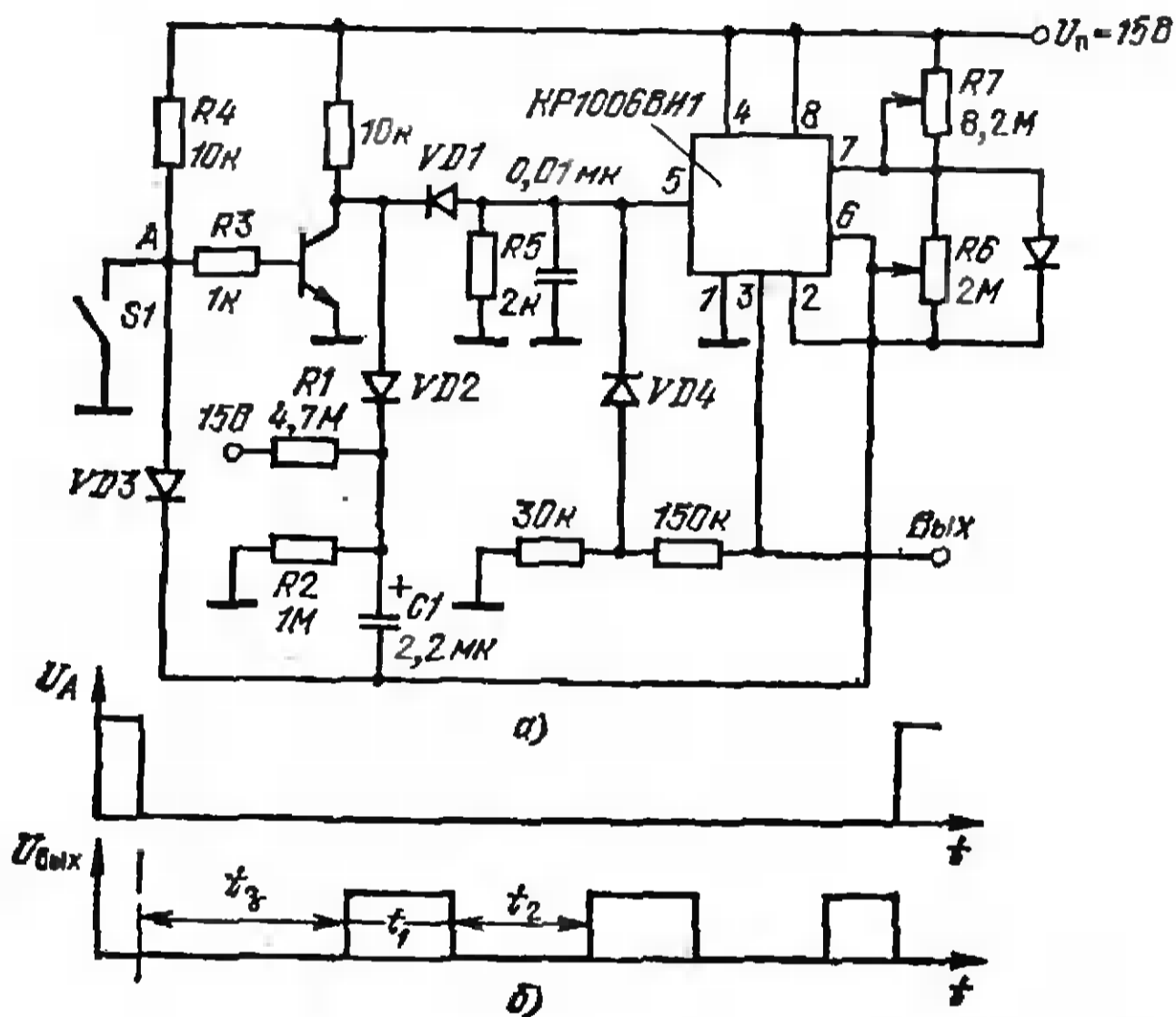


Рис. 3.12. Мультивибратор с регулируемой задержкой запуска (а) и временные диаграммы его работы (б)

выходное напряжение таймера продолжает оставаться низким. Однако в этот момент начинается заряд конденсатора  $C1$  через  $R6$ . Если напряжение на выводах 2 и 6 успеет уменьшиться примерно до 1,8 В, прежде чем будет разомкнут переключатель  $S1$ , то на выходе таймера установится напряжение  $U_n$  и мультивибратор начнет генерировать импульсы. Задержка запуска мультивибратора определяется временем заряда  $C1$  до напряжения 1,8 В и равна  $t_3 = R_6 C_1 \ln\{U_{\max} / [U_{\max} - (U_k - U_n)]\}$ , где  $U_k = U_{\max} - U_5 / 2 = 12,7$  В — конечное напряжение на  $C1$ ;  $U_n = 1$  В — начальное напряже-



ние  $C1$ . При напряжении  $U_{п}$  на выходе таймера диод  $VD1$  открывается, напряжение на выводе 5  $U'_5 = 2$  В и  $C1$  начинает разряжаться через  $R7$ . Как только напряжение на выводах 2 и 6 увеличится до 2 В, выходное напряжение таймера изменится от  $U_{п}$  до 0,1 В, диод закрывается и на выводе 5 вновь устанавливается 3,6 В. Время, в течение которого на выходе таймера будет поддерживаться высокий уровень сигнала,  $t_1 =$

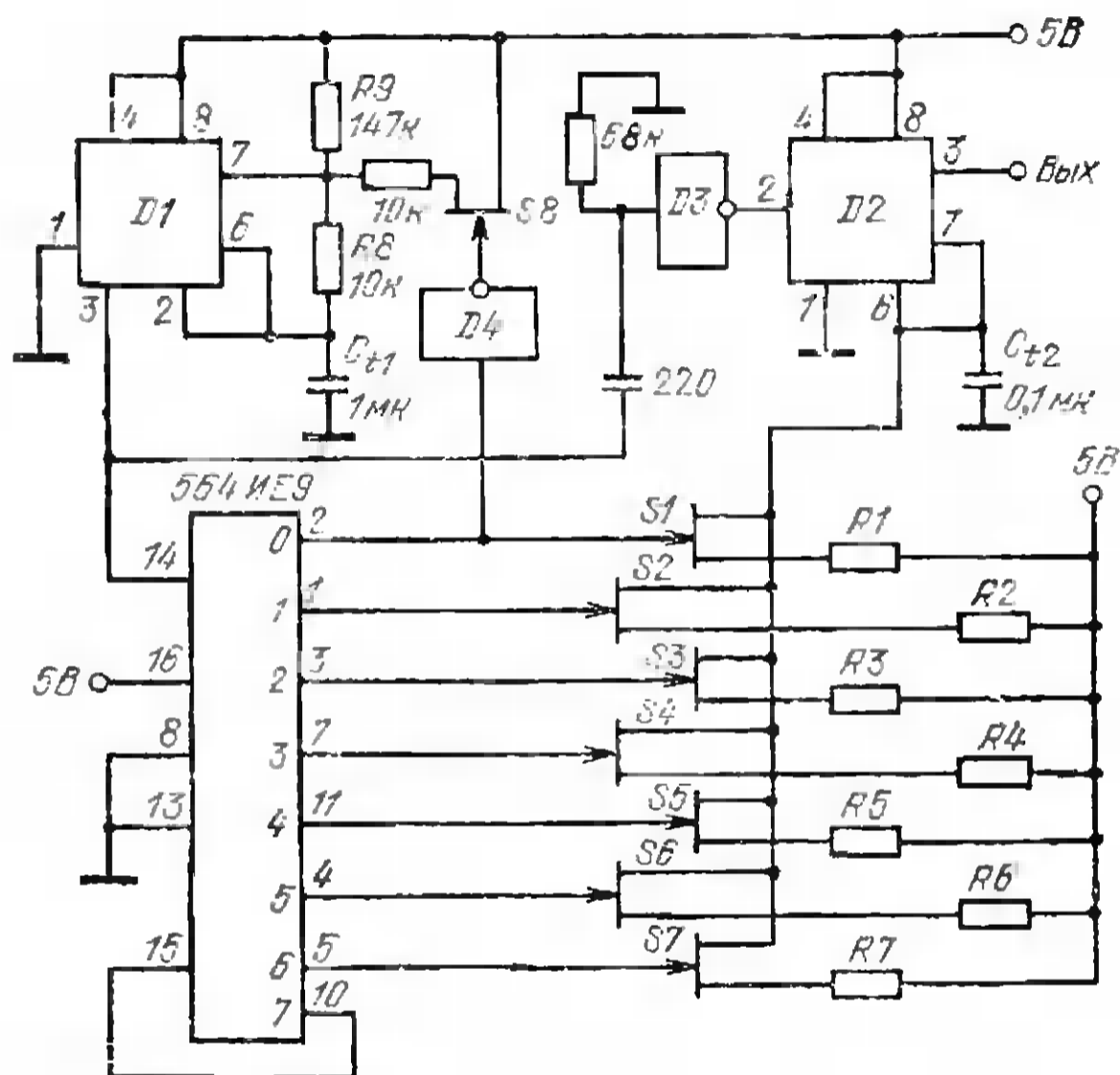


Рис. 3.13. Генератор периодических пачек импульсов ( $D1, D2$  — КР1006ВИ1)

$= R_7 C_1 \ln(U_{к}/\Delta U_{к})$ , где  $\Delta U_{к} = U_{\max} - U'_5 = 12,5$  В. Затем конденсатор  $C1$  начинает заряжаться через  $R6$  и, когда на выводах 2 и 6 напряжение уменьшается от 2 до 1,8 В, на выходе снова установится низкое напряжение. Время, в течение которого на выходе сохраняется напряжение 0,1 В, равно  $t_2 = R_6 C_1 \ln\{[U_{\max} - (U_{п} - U_{п})] / [U_{\max} - (U_{к} - U_{п})]\}$ .

Описанный цикл работы мультивибратора будет повторяться до тех пор, пока переключатель  $S1$  замкнут.

Последовательность пачек по семь импульсов в каждой генерирует мультивибратор (рис. 3.13), содержащий семиканальный мультиплексор и счетчик. Длительность каждого импульса, их частота и интервал между после-

довательностями могут регулироваться независимо друг от друга [18]. Мультиплексирование обеспечивает секция, содержащая мультивибратор на таймере  $D1$ , декадный счетчик и КМОП-переключатели  $S1—S7$  с времязадающими резисторами  $R1—R7$ . Таймер  $D2$  включен по схеме одновибратора и преобразует сопротивление резисторов  $R1—R7$  в пропорциональную им длительность выходных импульсов. Декадный счетчик и таймер  $D2$  запускаются фронтом выходного импульса мультивибратора на таймере  $D1$ . Во время работы  $R1—R7$  последовательно подключаются к времязадающему конденсатору  $C_{12}$  с помощью аналоговых переключателей  $S1—S7$ . На входе инвертора  $D3$   $RC$ -цепь дифференцирует тактовые сигналы с выхода таймера  $D1$ , для того, чтобы таймер  $D2$  запускался короткими (менее 10 мкс) импульсами. Последним положительным импульсом на выходах счетчика осуществляется его общий сброс. Замкнутый в процессе генерирования последовательности переключатель  $S8$  размыкается и выходной импульс таймера  $D1$  удлиняется, формируя паузу между пачками сигналов. Тем самым отмечается окончание серии импульсов, а затем процесс автоматически повторяется снова.

Для приведенных на схеме параметров элементов в секунду вырабатывается три пачки по семь импульсов в каждой. Требуемые длительности импульсов устанавливаются выбором сопротивлений  $R1—R7$  и емкости  $C_{12}$  в соответствии с равенством  $T_{ni} = R_i C_{12}$ , где  $i = 1—7$ . Паузы между импульсами определяются сопротивлением  $R8$  и емкостью времязадающего конденсатора  $C_{11}$  на входе таймера  $D1$ . Промежутки между пачками импульсов можно регулировать резистором  $R9$ . Для нормальной работы генератора необходимо следить за тем, чтобы полупериод выходных импульсов таймера  $D1$  был больше любого значения  $T_{ni}$ .

Рассмотренное устройство можно использовать в качестве многоканального широтно-импульсного модулятора, если сопротивления резисторов  $R1—R7$  сделать зависимыми от напряжения. В системах обработки информации схему можно применить в качестве простейшего программно-временного устройства, определяющего скорость обслуживания нескольких датчиков данных.

Формировать пачки импульсов с перестраиваемыми в широком диапазоне параметрами можно и с помощью мультивибратора на программируемом таймере, вклю-

ченном по схеме рис. 3.6 [2]. Выходной сигнал представляет собой последовательность импульсов длительностью  $R_1 C_1$ , или пачек таких импульсов. Вид последовательности, т. е. количество импульсов в пачке, интервал между пачками и интервал между группами пачек зависит от того, какие из выводов 1—8 подключены к выходной шине. Интервал между пачками определяется

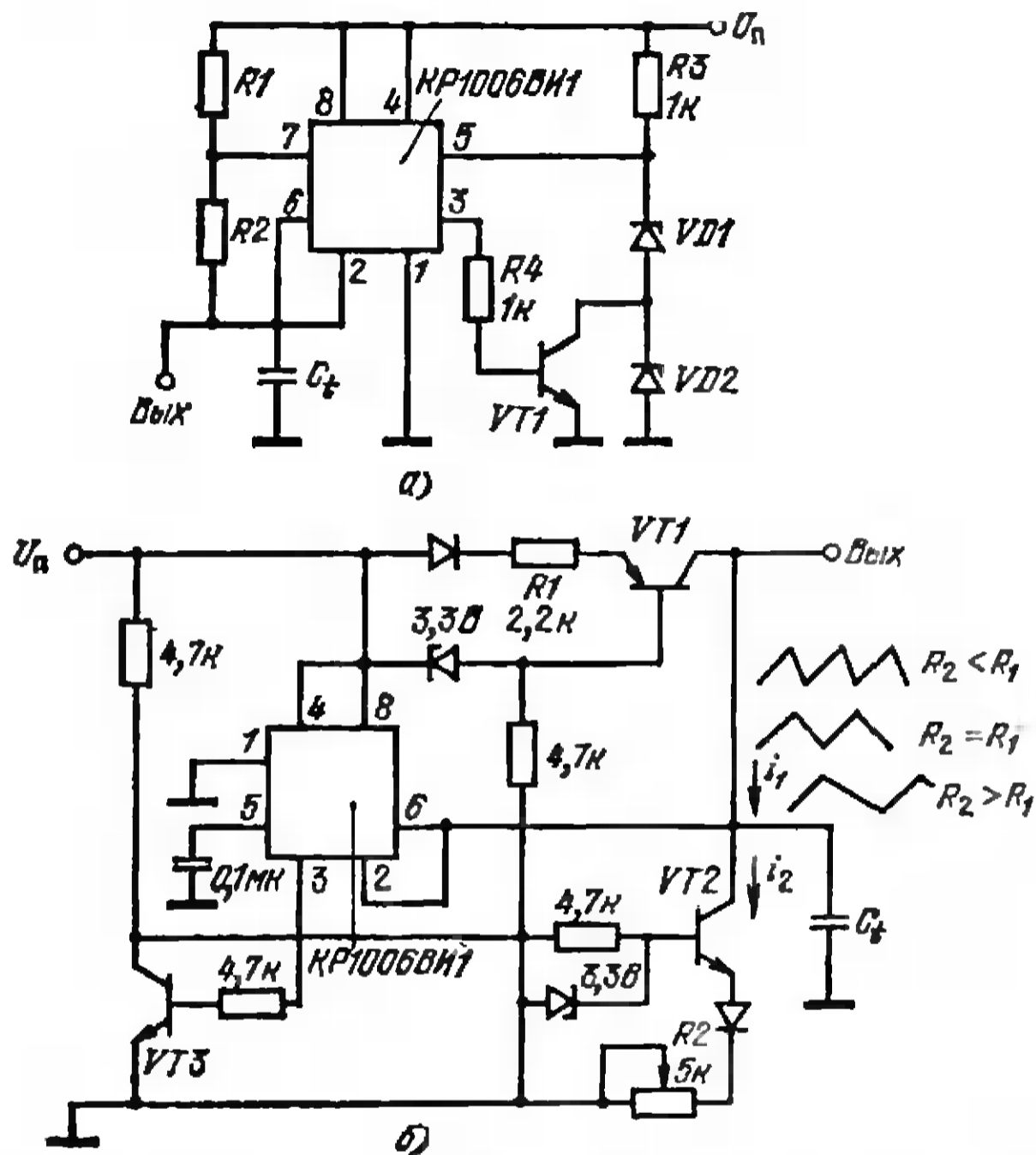


Рис. 3.14. Генераторы однополярных треугольных сигналов постоянной (а) и регулируемой (б) формы

максимальным номером из числа выводов 1—8, подключенных к выходной шине, а длительность импульса — минимальным номером. Выходы счетчика в этом случае должны подключаться не к разным резисторам, а к одному с сопротивлением 15 кОм. Количество и длительность импульсов в пачках и интервал между ними могут быть любыми, но в пределах одного цикла работы таймера, равного  $255 R_1 C_1$ . Расширить этот диапазон в 255 раз можно, включив последовательно два программируемых таймера.

**Генераторы треугольных сигналов.** В широтно-импульсных модуляторах, преобразователях напряжение—частота, генераторах сигналов развертки и других устройствах используют генераторы треугольных сигналов. У прецизионных генераторов треугольных сигналов, построенных на ОУ общего применения (153УД2, 140УД7 и др.), на частотах более 10 кГц острые вершины треугольников закругляются из-за сравнительно невысокой скорости нарастания выходного напряжения этих ОУ [19]. Приведенные на рис. 3.14 схемы генераторов позволяют формировать треугольные сигналы с частотой до 1 МГц. Если к линейности выходного сигнала не предъявляется высоких требований, то можно воспользоваться сравнительно простой схемой, показанной на рис. 3.14,а. Верхнее и нижнее напряжения выходных сигналов устанавливаются внешней цепью, состоящей из транзистора  $VT1$  и диодов  $VD1$ ,  $VD2$ . Эта цепь изменяет напряжение на выводе 5 таймера в зависимости от потенциала вывода 3. При выходном напряжении таймера, равном  $U_{\text{п}}$ , транзистор  $VT1$  насыщен и на выводе 5 устанавливается напряжение  $U_5 = U_{\text{д1}} + U_{\text{п}}$ , где  $U_{\text{п}}$  — напряжение на коллекторе насыщенного транзистора. Когда напряжение на конденсаторе  $C_t$  нарастет до  $U_{\text{д1}} + U_{\text{п}}$ , выходное напряжение таймера переключится от  $U_{\text{п}}$  до 0,1 В, транзистор  $VT1$  закроется и на выводе 5 напряжение  $U_5 = U_{\text{д1}} + U_{\text{д2}}$ . После этого, напряжение на конденсаторе  $C_t$  снова начинает уменьшаться и, когда оно достигнет значения  $(U_{\text{д1}} + U_{\text{д2}})/2$ , выходное напряжение таймера вновь изменится и станет равно  $U_{\text{п}}$  и т. д. Хотя формируемый на конденсаторе сигнал складывается из нарастающей и спадающей экспонент напряжения, но он близок к идеальному треугольному колебанию, поскольку изменения напряжения на  $C_t$  находятся на начальных — линейных участках экспонент. Напряжение на конденсаторе нарастает с постоянной времени  $(R_1 + R_2)C_t$ , а уменьшается с постоянной времени  $R_2C_t$ . Изменяя сопротивления  $R1$ ,  $R2$ , можно получить требуемые соотношения между временами спада и нарастания, а изменяя емкость  $C_t$ , можно устанавливать необходимую частоту треугольных колебаний.

Более точный генератор треугольных сигналов можно построить на таймере, управляющем источником двухполярного тока. Генератор этого типа (рис. 3.14,б) позволяет просто перестраивать форму выходных треугольников, что необходимо при его использовании, например,

В измерительных устройствах. Источник двухполярного тока построен на двух источниках однополярного тока. Транзистор  $VT1$  формирует ток заряда  $i_1$ , а  $VT2$  — ток разряда  $i_2$  времязадающего конденсатора  $C_t$ . Однополярные источники тока управляются таймером через инвертор на транзисторе  $VT3$ . Когда  $VT3$  насыщен, напряжение на его коллекторе равно 0,1 В, включен источник тока  $i_1$ , а ток  $i_2 \approx 0$ . Напряжение на  $C_t$  линейно нарастает со скоростью  $i_1/C_t$ . Как только напряжение на конденсаторе достигнет значения  $2U_{п}/3$ , выходное напряжение таймера изменится от  $U_{п}$  до 0,1 В, транзистор  $VT3$  закроется и напряжение на его коллекторе увеличится до  $U_{п}$ . Источник тока на транзисторе  $VT1$  выключается и включается источник постоянного тока  $i_2$ , разряжающего конденсатор  $C_t$ . Напряжение на конденсаторе  $C_t$  линейно уменьшается с постоянной скоростью  $i_2/C_t$ . Как только это напряжение достигнет значения  $U_{п}/3$ , вновь изменится выходное напряжение таймера и описанный цикл повторится. Поскольку напряжение на конденсаторе изменяется на  $U_{п}/3$ , то  $t_1 = U_{п}C_t/3i_1$  и  $t_2 = U_{п}C_t/3i_2$ . Токи  $i_1$  и  $i_2$  можно рассчитать по формулам  $i_1 = \Delta U_R/R_1$  и  $i_2 = \Delta U_R/R_2$ , где  $\Delta U_R = U_{ст} - U_{эб} - U_{д}$  — падение напряжения на  $R1$  и  $R2$ , а  $U_{ст}$ ,  $U_{эб}$  и  $U_{д}$  — падения напряжений на стабилитроне, эмиттерно-базовом переходе транзистора и диоде соответственно. Следовательно, форму выходных сигналов можно регулировать, изменяя сопротивления  $R1$  и  $R2$ , а частоту  $f_{г} = 1/(t_1 + t_2)$ , изменяя емкость  $C_t$ . На  $f_{г}$  влияют и сопротивления  $R1$ ,  $R2$ . Для параметров элементов на рис. 3.14,б  $f_{г} \approx (75/C_t)$  Гц, где  $C_t$  — в мкФ.

Оба генератора (рис. 3.14) имеют большое выходное сопротивление и для их подключения к нагрузке могут потребоваться буферные повторители с низкоомным выходом [20]. Если скорость нарастания выходного сигнала генераторов  $v_{г} < 1$  В/мкс, то повторитель можно построить на любом ОУ общего применения. При  $v_{г} > 1$  В/мкс к выходу таймера можно подключить обычный эмиттерный повторитель [21], либо использовать ОУ К574УД1, 154УД1 с высокой скоростью нарастания выходного напряжения (более 10 В/мкс). Недостатком обоих генераторов является, во-первых, сильная зависимость временных параметров выходных сигналов от температуры, а во-вторых, сравнительно узкий диапазон регулирования частоты (примерно две декады).

**Прецизионный генератор** двухполярного треугольного напряжения с регулируемой частотой в диапазоне 10 Гц—5 кГц показан на рис. 3.15 [21]. Действующее значение емкости времязадающего конденсатора  $C_1$  при одновременном увеличении диапазона изменения тока его заряда  $I$  позволяет получить такой широкий диапазон перестройки частоты. Источник двухполярного тока  $I$ , состоящий из операционных усилителей  $A1—A3$  и транзисторов  $VT1, VT2$  управляет частотой переключе-

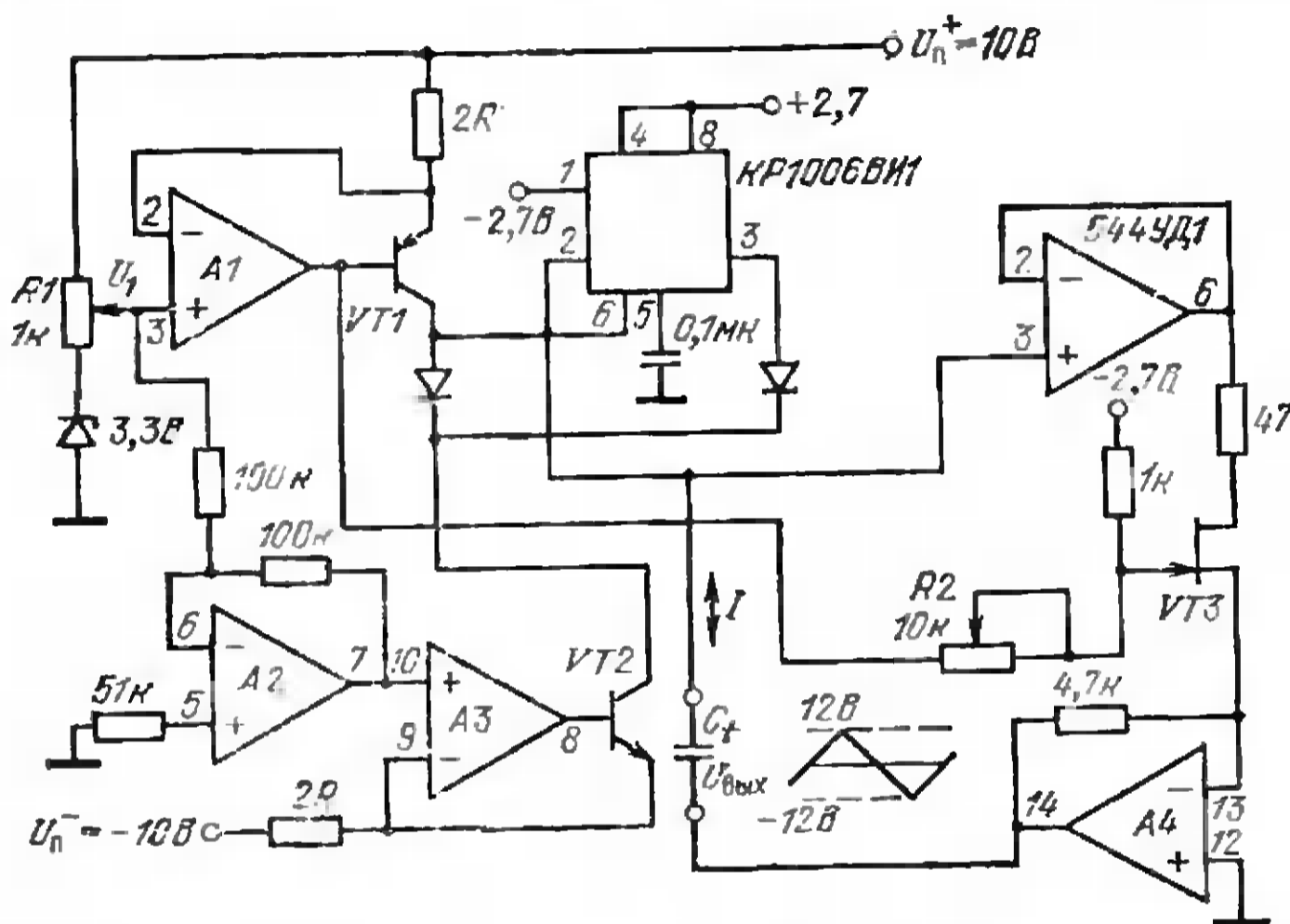


Рис. 3.15. Прецизионный генератор двухполярных треугольных сигналов ( $A1—A4—1401УД2$ )

ния выходного напряжения таймера и величиной тока заряда  $C_1$ . Частота выходных сигналов пропорциональна скорости заряда конденсатора  $C_1$ , равной  $I/C_2$ , где  $C_2 = C_1(1 + K_U)$ , а  $K_U = 4700 / (47 + R_0)$  — коэффициент усиления инвертирующего усилителя  $A4$ . Сопротивление  $R_0$  канала полевого транзистора  $VT3$  после регулировки частоты потенциометром  $R1$  можно подстроить потенциометром  $R2$ . Ток перезаряда  $C_2$  равен  $I = (U_{п+} - U_1) / 2R$ . Поэтому требуются прецизионные источники питания генераторов  $U_{п+}$ , что является существенным недостатком. Этот недостаток можно устранить, применив прецизионные генераторы тока, описанные в [19]. Как видно из рис. 3.15,  $R_0$  (а следовательно,  $C_2$ ) и  $I$  регулируются одним потенциометром. При увеличении  $U_1$  возрастает  $I$ ,

но уменьшается  $C_0$ . Благодаря этому диапазон регулирования частоты выходного сигнала увеличивается более чем на порядок по сравнению с диапазоном генератора на рис. 3.14,б. Форму выходных сигналов можно изменять, подключив к эмиттерам транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$  потенциометры вместо резисторов  $2R$ .

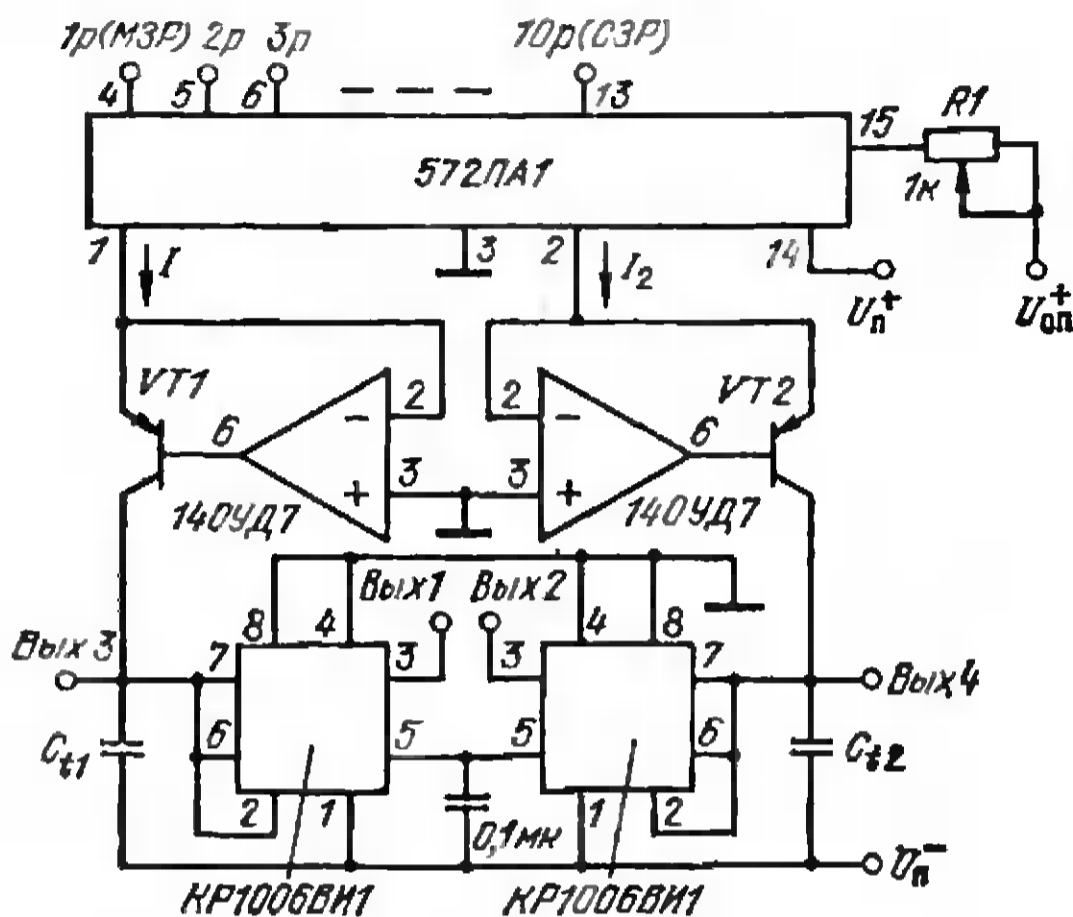


Рис. 3.16. Программируемый генератор пилообразных сигналов

**Программируемый генератор пилообразных сигналов.** В системах автоматического регулирования на микропроцессорах (МП), устройствах сбора и обработки аналоговых сигналов требуются генераторы импульсов, управляемые программно  $N$ -разрядными словами в параллельном коде. Такой генератор можно построить, применив цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) для управления таймерами (рис. 3.16) [22]. Особенность работы ЦАП 572ПА1 состоит в том, что весовые токи переключаются в нем в одну из двух шин (выводы 1, 2) в зависимости от кода на цифровых входах. Если на цифровые входы поданы напряжения соответствующие лог. 1, то выходной ток  $I_1$  максимальный, а  $I_2=0$ . При напряжениях на цифровых входах, соответствующих лог. 0,  $I_1=0$ , а  $I_2$  максимален. При напряжении опорного источника питания  $U_{оп}^+=10$  В максимальный выходной ток равен 1 мА. Подстроить максимальный выходной ток ЦАП до требуемой величины позволяет резистор  $R1$ .

Генераторы тока на ОУ устанавливают напряжения выходов ЦАП близкими потенциалу земли. Это необходимо для нормальной работы внутренних цепей ЦАП. Чтобы транзисторы работали в активном режиме без насыщения, напряжения на их коллекторах не должно быть больше  $-0,4$  В, так как напряжения на базах транзисторов около  $-0,7$  В. Поэтому питание таймеров должно осуществляться от источника отрицательного напряжения. Таймеры включены по схеме мультивибраторов, генерирующих импульсы отрицательной полярности (*Вых 1*, *Вых 2*) с амплитудой  $0-U_{\text{п}}$ . Поскольку во время задающих цепях таймеров использованы источники токов, то изменения напряжений на конденсаторах  $C_{11}$  и  $C_{12}$  имеют пилообразную форму с амплитудой от  $U_{\text{п}}/3$  до  $2U_{\text{п}}/3$  (*Вых 3*, *Вых 4*). Недостаток генератора — отрицательная полярность выходных сигналов — может быть устранен, если проинвертировать выходные импульсы таймеров с помощью компараторов напряжения, а сигналы с конденсаторов  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  проинвертировать с помощью дополнительных ОУ. Для обеспечения высокой точности обратно пропорциональной зависимости между  $I_1$  и  $I_2$  при изменениях температуры, транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  должны иметь идентичные параметры. Для уменьшения влияния токов базы транзисторов на токи  $I_1$  и  $I_2$  целесообразно использовать в схеме вместо одиночных транзисторов — составные.

Программирование генератора осуществляется подачей на входы ЦАП разнообразных комбинаций напряжений лог. 1 и 0. Для установки постоянных параметров формируемых таймерами сигналов входы ЦАП, на которые должны быть поданы напряжения лог. 1, подключаются к шине  $U_{\text{п}}^+$ , а остальные входы заземляются. Для работы генератора от МП с 4—12-разрядной шиной данных, целесообразно вместо ЦАП 572ПА1 использовать ЦАП 572ПА2, который имеет на входе два 12-разрядных запоминающих регистра. Эти регистры управляются по специальным выводам, подключаемым к дешифратору команд МП.

Генератор сигнала ступенчатой формы можно построить на программируемом таймере (рис. 3.17). Запускается генератор положительным сигналом, подаваемым на вывод 11, а останавливается положительным сигналом, подаваемым на вывод 10 (см. гл. 1). Чтобы обеспечить нормальную работу счетчика, напряжение  $U_{\text{сц}}=5$  В. В этом случае на выходах счетчика формиру-



ются импульсы напряжения, достаточные для работы его каскадов [5]. В исходном состоянии, когда выходные транзисторы счетчика (рис. 1.4) закрыты, весовые резисторы  $R1—R8$  не влияют на работу ОУ и выходное напряжение  $A1$  равно  $U_{оп}$ , а на выходе  $A2$  напряжение порядка 0 В. В момент подачи импульса запуска все транзисторы работают в режиме насыщения, и инвертирующий вход  $A1$  оказывается заземлен через резистор

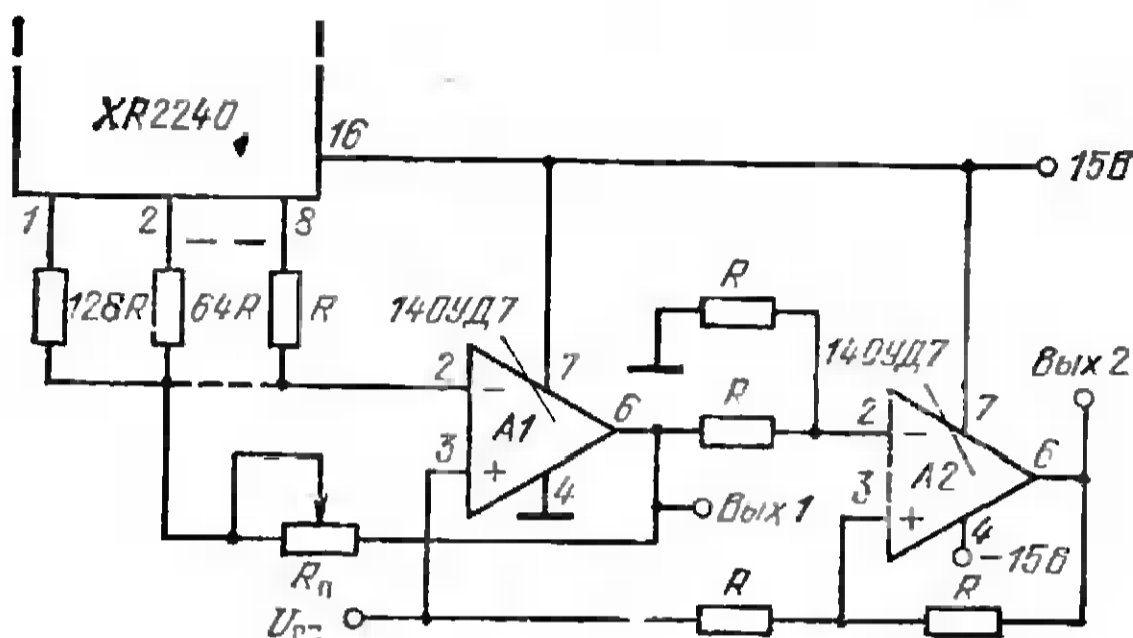


Рис. 3.17. Генератор сигналов ступенчатой формы

с сопротивлением  $R/2$ . Следовательно, сопротивление резистора  $R_n$  должно быть равно  $R$ , чтобы  $A1$  работал без насыщения выходных каскадов. Тогда  $U_{\text{Вых}1} = 2U_{\text{оп}}$ , а  $U_{\text{Вых}2} = U_{\text{оп}}$ . Генерируемые выходные напряжения имеют форму изменяющихся ступенчато сигналов с амплитудой приращений  $U_{\text{оп}}/128$ .

#### 4. Таймеры в контрольно-измерительных устройствах

Перед разработчиками микроэлектронной аппаратуры нередко ставятся задачи введения функций самоконтроля работоспособности отдельных узлов или их параметров. Если к качеству контроля параметров не предъявляются высокие требования (т. е. достаточна точность измерения 1%), а частота контролируемых сигналов меньше 1 МГц, то таймеры могут заменить громоздкие контрольно-измерительные устройства специального назначения.

В этой главе рассмотрены схемы измерителей емкости, сопротивления, частоты, разности фаз сигналов. Описаны простейшие тестеры для контроля качества многожильных кабелей и состояния магистральных линий связи в МП, а также другие устройства, демонстрирующие универсальность применения таймеров в аппаратуре контроля и управления.

## 4.1. Измерение параметров элементов

**Измерение сопротивления.** Миниатюрный зонд, преобразующий значение измеряемого сопротивления в звуковой и световой сигналы (рис. 4.1), позволяет избавиться от наблюдений за шкалой измерительного тестера. В этом устройстве таймер включен по схеме мультивибратора. Частота выходных импульсов и их скважность устанавливаются двумя внешними резисторами  $R_1$ ,  $R_2$  и конденсатором  $C_1$  с высокой точностью. Конденсатор заряжается через резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_x$ , а разряжается через  $R_2$  и  $R_x$ . Резистор  $R_2$  ограничивает максимальную частоту на уровне 7 кГц при  $R_x=0$ . При отсутствии  $R_2$  частота может превысить верхний предел слышимости звукового сигнала 18 кГц. Нижний предел частоты, равный 20 Гц, достигается при  $R_x \approx 7$  МОм. Средний ток, протекающий через  $R_x$  равен 250 мкА при  $R_x=0$  и менее 1 мкА при  $R_x=7$  МОм.

Наряду со звуковой индикацией может использоваться и световая. Светодиод загорается, если частота звукового сигнала становится меньше 15 Гц. Зонд позволяет также контролировать степень износа батарей. Если напряжение на них равно 1,2—1,4 В, то звуковой сигнал появляется или исчезает в зависимости от полярности подключения батарей к выводам зонда. Если же напряжение батарей меньше 0,9 В, то звуковой сигнал сохраняется при любом подключении выводов зонда. Потребляемый устройством ток не превышает 10 мА в диапазоне частот 15 Гц—7 кГц. Сопротивление  $R_3$  может подбираться в зависимости от типа используемого динамика, но не должно быть менее 51 Ом.

**Измерение емкости.** Простейшую приставку к цифровому вольтметру, позволяющую измерять емкости конденсаторов от 100 пФ до 1 мкФ с точностью 1%, можно построить на двух таймерах (рис. 4.2). Таймер  $D_1$  работает в режиме мультивибратора, генерирующего короткие импульсы амплитудой  $U_{п}$ , частотой  $f_{г} \approx 1,44/R_1 C_1$  и скважностью  $D \approx 1$  [23]. Таймер  $D_2$  работает в режиме одновибратора, запускаемого первым таймером и формирует импульсы амплитудой  $U_{п}$  и длительностью  $T_{п} = 1,1 R_{12} C_x$ . Для при-

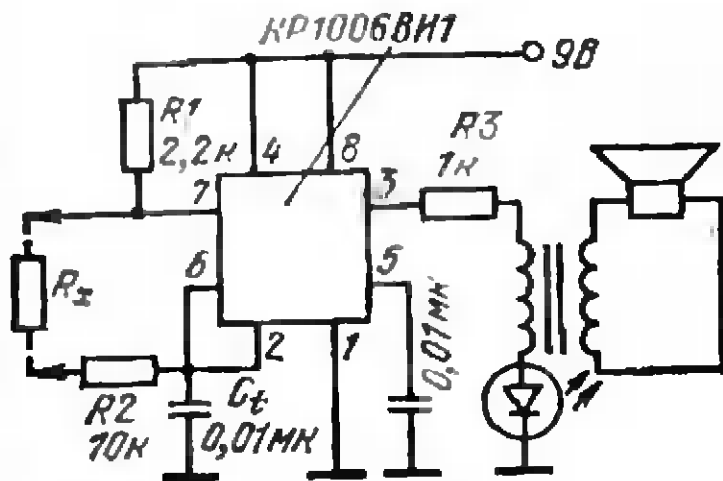


Рис. 4.1. Измеритель сопротивления

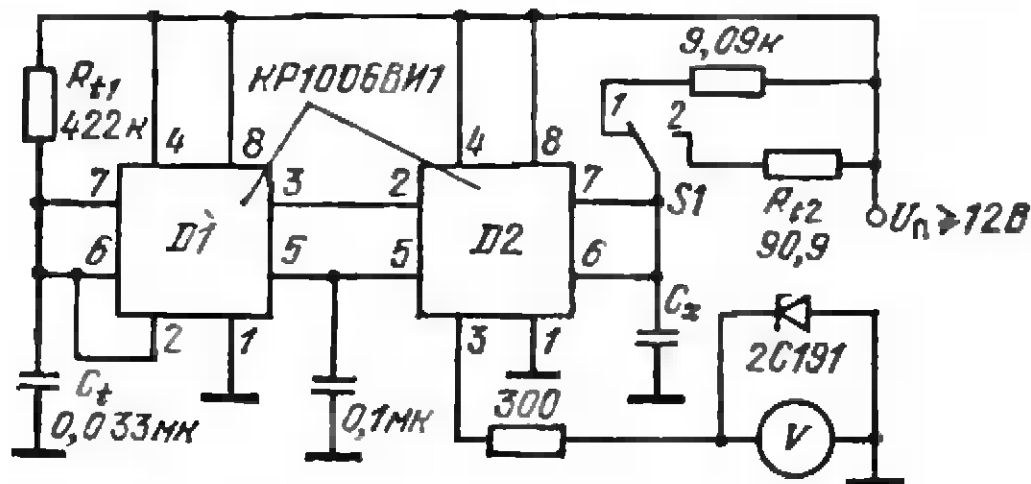


Рис. 4.2. Измеритель емкости

веденных на схеме параметров элементов  $f_r=100$  Гц,  $T_n=(10^6 C_x)$  с и, следовательно, скважность выходных импульсов одновибратора  $D=f_r T_n=10^6 C_x$ . Когда емкость измеряемого конденсатора  $C_x$  равна  $0,01-1$  мкФ, то переключатель  $S1$  установлен в положении 1, а  $D=0,01-1$ . Если измеряется емкость в диапазоне  $100$  пФ —  $0,01$  мкФ, то переключатель должен быть переключен в положение 2 и также  $D=0,01-1$ .

Чтобы на точность измерения не влияли нестабильность напряжения питания и разброс установившихся значений выходного напряжения таймера  $D2$ , целесообразно ограничить амплитуду выходных импульсов стабилитроном. Например, используя стабилитрон 2С191, получаем  $C_x$  [мкФ]  $=U_B/9,1$  В, если переключатель находится в положении 1, и  $C_x=U_B/910$  В, если переключатель переведен в положение 2, где  $U_B$  — показания вольтметра. Для получения наибольшей точности измерения следует использовать инерционные вольтметры с временем измерения более  $0,1$  с.

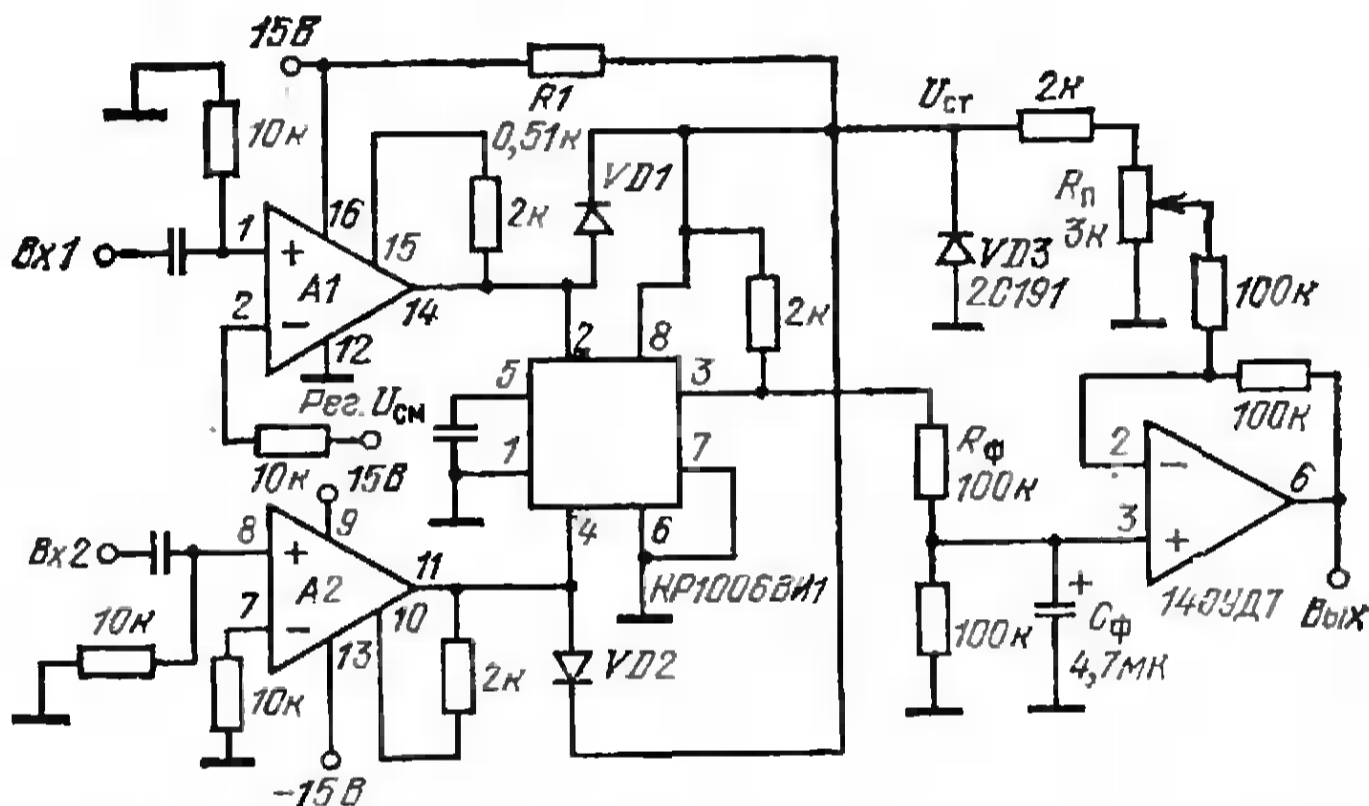


Рис. 4.3. Измеритель сдвига фаз (A1 — A2 — КМ597СА3)

**Измерение разности фаз и частоты сигналов.** Измерить разность фаз ( $0-180^\circ$ ) двух периодических сигналов позволяет устройство, схема которого приведена на рис. 4.3 [24]. Переменное напряжение подается на неинвертирующие входы компараторов A1 и A2, которые формируют из произвольных по форме входных сигналов прямоугольные импульсы, необходимые для нормальной работы таймера. Выходные напряжения компараторов изменяются в моменты изменения полярности соответствующего входного сигнала. Если запаздывает по фазе сигнал  $U_{вх2}$ , то в момент, когда полярность  $U_{вх1}$  становится отрицательной, на выходе компаратора A1 формируется перепад напряжения от  $U_n$  до 0. Вследствие этого на выходе таймера устанавливается напряжение, равное  $U_{ст}$ . В момент, когда отрицательной становится полярность входного сигнала  $U_{вх2}$ , выходное напряжение A2 изменяется от  $U_n$  до 0 и на выходе таймера устанавливается напряжение около 0.1 В. Таким образом, чем больше сдвиг по фазе сигнала  $U_{вх2}$  относительно  $U_{вх1}$ , тем больше напряжение, равное  $U_{ст}$ , сохраняется на выходе таймера. Наоборот, при уменьшении сдвига фазы уменьшается и длительность положи-

тельного импульса на выходе таймера. Если фазы сигналов  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  совпадают, то импульсы на выходе таймера отсутствуют, так как низкое напряжение на выводе 4 таймера устанавливает низким и его выходное напряжение независимо от состояния напряжения на выводе 2. Если  $U_{вх1}$  запаздывает по фазе относительно  $U_{вх2}$ , то положительный сигнал на выходе таймера формируется в момент, когда напряжение на его выводе 4 равно  $U_{ст}$ , а напряжение на выводе 2 остается около 0,1 В. Подключенный к выходу таймера ОУ выполняет двойную функцию: во-первых, цепь  $R_{\phi}C_{\phi}$  интегрирует выходные импульсы таймера, а во-вторых, вычитает из результирующего выходного сигнала начальную ошибку смещения уровня

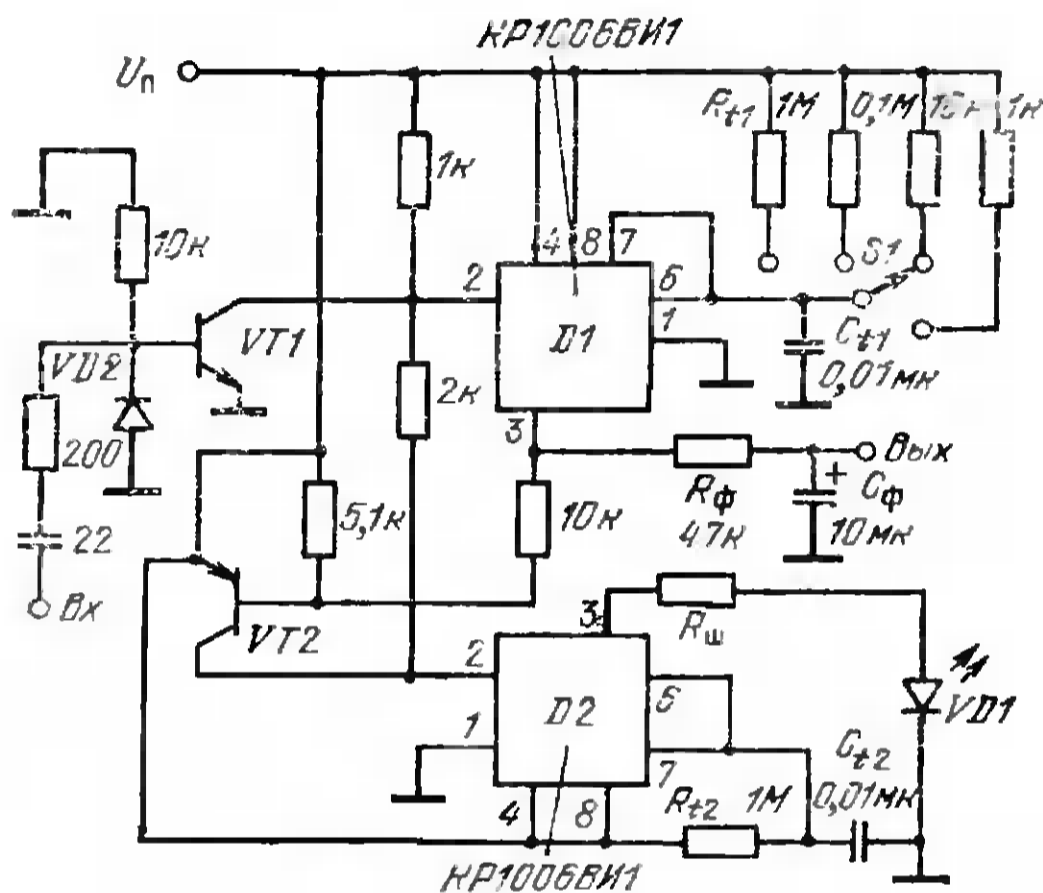


Рис. 4.4. Измеритель частоты

выходного сигнала таймера. Поэтому перед измерением на вход компаратора А2 необходимо подать отрицательное напряжение, и изменяя сопротивление потенциометра  $R_{п}$ , установить выходное напряжение ОУ равным нулю. Чтобы исключить влияние нестабильностей напряжения питания на амплитуду выходных импульсов ОУ, напряжение питания таймера стабилизируется цепью  $R_1, VD3$ . Стабилизированное напряжение используется и для формирования компенсирующего смещения, вычитаемого из выходного сигнала ОУ.

Описанную схему можно использовать и для измерения частоты периодического сигнала. Для этого вывод 4 таймера необходимо соединить с выводом 8 (исключив, таким образом, цепь компаратора А2), а контролируемый сигнал подать на вход компаратора А1. Измерить сдвиг фазы или частоту можно у сигналов любой амплитуды. Для этого на входах компараторов необходимо включить такие делители напряжения, чтобы максимальное входное напряжение компараторов было менее  $|U_{п}|$ .

Измеритель частоты с индикацией границ установленного диапазона измерения можно построить и на одних таймерах (рис. 4.4). Частотомер собран на таймере  $D1$ , который работает в режиме мультивибратора, запускаемого фронтом входного сигнала. Для устра-

нения возможной неоднозначности измерений в схему введен второй таймер, который включает световую индикацию, если частота сигнала выходит за пределы, установленные переключателем  $S1$ . Измеритель работает следующим образом. Последовательность входных периодических сигналов поступает на инвертирующий усилитель, выполненный на транзисторе  $VT1$ , включенном по схеме с общим эмиттером. Усилитель формирует из сигналов произвольной формы с амплитудой более 1 В прямоугольные короткие импульсы ( $T_{\text{п}} \approx \approx 100$  нс) амплитудой, равной  $U_{\text{п}}$ , необходимые для нормальной работы таймеров. Для измерения частоты сигналов амплитудой менее 10 мВ, транзистор  $VT1$  целесообразно заменить компаратором 521СА3. Когда на вывод 2 таймера  $D1$  поступает срез импульса, соответствующий фронту входного сигнала, на выходе таймера  $D1$  устанавливается напряжение  $U_{\text{п}}$ . Это напряжение сохраняется в течение  $T_{\text{п}} \approx 1,1R_{11}C_{11}$  и не зависит от  $f_{\text{вх}}$ , пока период входных импульсов  $T_{\text{вх}} = 1/f_{\text{вх}} > T_{\text{п}}$ . Если последнее неравенство выполняется, то таймер  $D1$  генерирует выходные импульсы со скважностью  $D = = T_{\text{п}}/T_{\text{вх}}$ . Величина  $D \rightarrow 0$  при  $T_{\text{п}} \ll T_{\text{вх}}$ , т. е. на низкой частоте и  $D \rightarrow 1$  при повышении частоты входного сигнала, когда  $T_{\text{вх}} \rightarrow T_{\text{п}}$ . Интегрирующая цепь  $R_{\text{ф}}C_{\text{ф}}$ , подключенная к выходу таймера  $D1$ , выделяет среднее значение его входного напряжения, которое можно измерить вольтметром или микроамперметром. Для измерения микроамперметром, например с полной шкалой 50 мкА, его необходимо подключить к измерителю через резистор с сопротивлением 180 кОм.

Пока частота входного сигнала не выходит за пределы, заданные соответствующим резистором  $R_{11}$ , подключенным через  $S1$  к  $C_{11}$ , транзистор  $VT2$  поддерживает напряжение, равное  $U_{\text{п}}$ , на выводе 2 таймера  $D2$ . Импульсы, запускающие таймер  $D1$ , не проходят на вывод 2 таймера  $D2$ , поскольку при низком выходном напряжении таймера  $D1$ , транзистор  $VT2$  насыщен и напряжение на его коллекторе около  $U_{\text{п}}$ . Однако, как только достигнута частота, при которой  $T_{\text{вх}} \leq T_{\text{п}}$ , импульс, запускающий таймеры, поступает на вывод 2 таймера  $D2$  и напряжение на выходе таймера  $D1$  не успевает измениться от  $U_{\text{п}}$  до 0 В. Поэтому мультивибратор на таймере  $D2$  срабатывает и на его выходе устанавливается  $U_{\text{п}}$  на время  $1,1R_{12}C_{12}$ . Вследствие этого зажигается светодиод  $VD1$ , указывающий на необходимость переключения диапазона измерения (подключения к  $C_{11}$  резистора  $R_{11}$  с меньшим сопротивлением). Сопротивление  $R_{\text{ш}}$  выбирается в зависимости от тока  $I_{\text{з}}$  зажигания светодиода  $R_{\text{ш}} < (U_{\text{п}} - U_{\text{д}})/I_{\text{з}}$ , где  $U_{\text{д}}$  — напряжение на включенном светодиоде. Максимальную точность измерения вольтметром можно получить, используя на выходе  $R_{\text{ф}}C_{\text{ф}}$ -фильтра ОУ, включенный, как показано на рис. 4.3.

Частотомер, при указанных на схеме параметрах элементов, позволяет измерять частоту в четырех диапазонах: 5—50 Гц, 50 Гц—0,5 кГц, 0,5—5 кГц, 5—50 кГц при подключении резисторов  $R_{11}$  с сопротивлениями, соответственно 1 МОм, 0,1 МОм, 10 кОм, 1 кОм.

Сравнить временные характеристики контролируемого сигнала с эталонным позволяет мультивибратор, меняющий длительность выходного сигнала при совпадении его частоты и фазы со входным сигналом (рис. 4.5). За время заряда  $C2$  (через резистор  $R1$  и диод)  $U_{\text{вых}} = 5$  В, а в течение разряда  $C2$  (через резисторы  $R2, R3$ ) поддерживается  $U_{\text{вых}} \approx 0$ . Если уровни напряжения лог. 1 входного и выходного сигналов не совмещены во времени, то входной сигнал не влияет на выходной и  $U_{\text{д}} \approx 5$  В. Как только выполняется равен-

ство  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}$ , то  $U_A \approx 0$  и дополнительный конденсатор  $C1$  подключается параллельно  $C2$ . Вследствие этого длительность выходного импульса увеличивается, что нетрудно зафиксировать с помощью дополнительных цепей звуковой или световой индикации. Настройка мультивибратора на требуемую тактовую частоту осуществляется  $R2$ .

Устройство, предупреждающее звуковым сигналом, что частота входного сигнала  $f_x$  достигла требуемой величины, приведено на рис. 4.6. Оно состоит из формирователя опорной частоты  $f_{\text{оп}}$ , собранного на таймере, компаратора частоты на ИС типа И—НЕ и устройства, управляющего звуковым сигнализатором на двух RS-триггерах и мощном транзисторе  $VT1$  [25]. На управляющий вход устройства поступает периодический сигнал звуковой частоты  $f_y$  (например, 10 кГц), запускающий таймер, который формирует им-

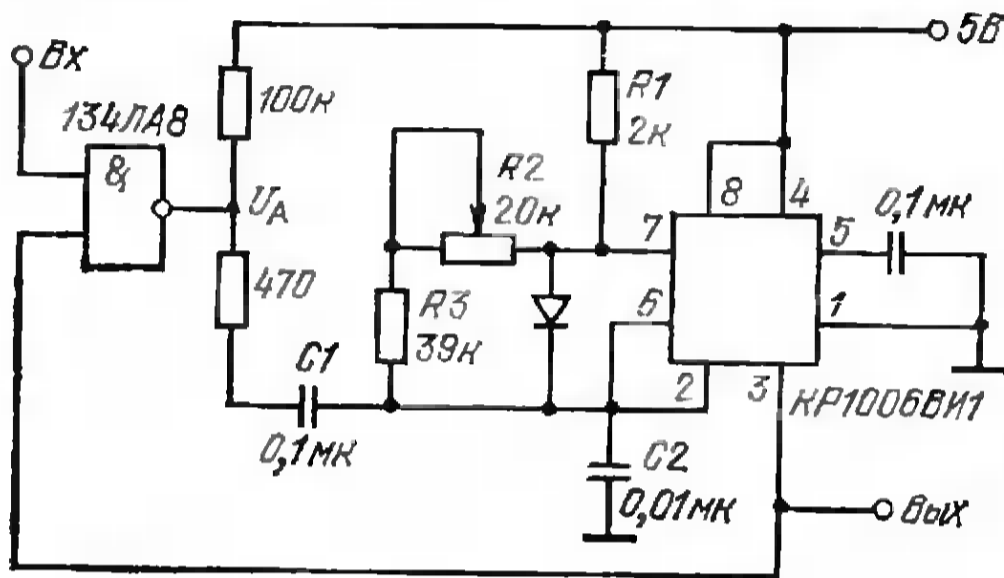


Рис. 4.5. Компаратор фаз

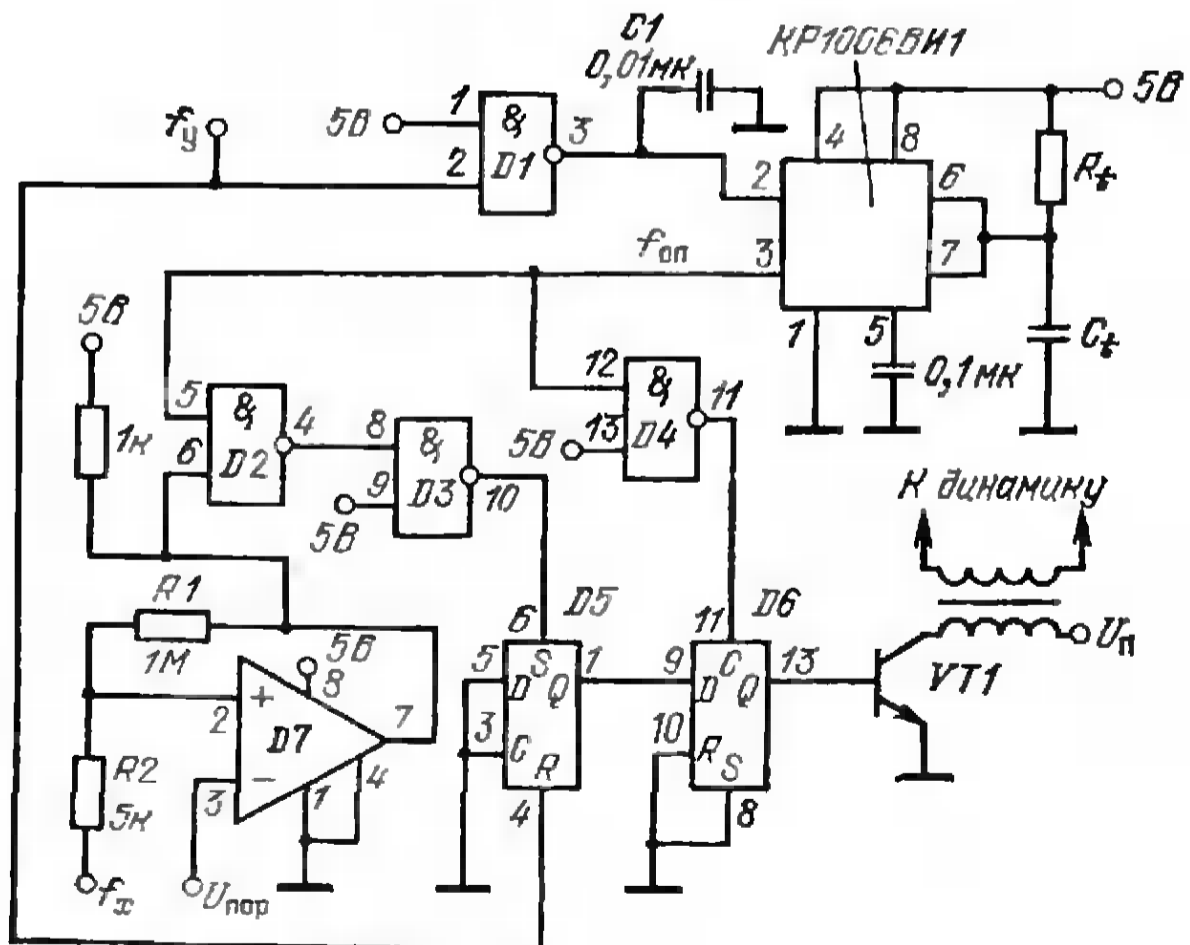


Рис. 4.6 Компаратор частот ( $D1—D4—564ЛА7$ ;  $D5, D6—564ТМ2$ ;  $D7—521СА3$ )

пульсы с частотой  $f_{оп} = 1/1,1R_1C_1$ . Частота  $f_y$  должна быть больше  $f_{оп}$  для получения возможно большей скважности выходного сигнала таймера. Когда  $f_x$  входного сигнала произвольной формы, преобразованного на выходе компаратора  $D7$  в прямоугольные импульсы, достигнет  $f_{оп}$ , на выходе триггера  $D6$  появятся импульсы с частотой  $f_y$ . Вследствие этого транзистор  $VT1$ , периодически открываясь также с частотой  $f_y$ , будет генерировать в нагрузке импульсные сигналы звуковой частоты.

Для уменьшения воздействия высокочастотных помех в схему включен конденсатор  $C1$ . Порог срабатывания  $U_{пор}$  компаратора 521СА3 регулируется по неинвертирующему входу. Если входной сигнал симметричен относительно «земли», то вывод 3 компаратора заземляется. Резисторы  $R1, R2$  обеспечивают гистерезис передаточной характеристики компаратора, что уменьшает влияние возможных помех во входном сигнале.

**Дискриминатор импульсов.** Выделить импульсы с заданной амплитудой можно, используя два одновибратора с регулируемым порогом запуска, если выходной сигнал одного одновибратора является запрещающим для другого (рис. 4.7). Каждый одновибратор формирует выходные импульсы длительностью  $1,1R_1C_1$ , когда на выводы 2 таймеров подаются отрицательные импульсы с напряжением меньше  $U_{п}/3$ . Делители напряжения, подключенные к выводам 2 таймеров, позволяют регулировать их пороговые напряжения от  $U_{п}/3$  до  $U_{п}$ . Таким образом, при  $U_{п} = 15$  В устройство может запускаться импульсами амплитудой 0—10 В [26]. Поскольку выход таймера  $D1$  подключен через инвертор к выводу сброса таймера  $D2$ , последний блокируется при запуске таймера  $D1$ . Когда порог срабатывания таймера  $D1$  устанавливается выше чем у тай-

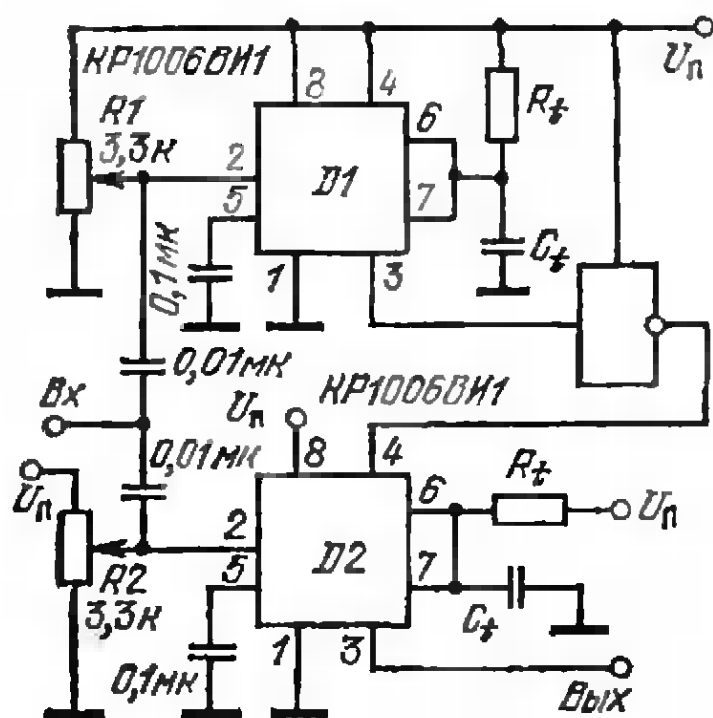


Рис. 4.7. Дискриминатор импульсов

мера  $D2$ , выходной импульс формируется, если амплитуда входных импульсов находится в пределах между двумя пороговыми напряжениями. Импульсы с амплитудой меньше порогового напряжения таймера  $D2$  не заустят ни один одновибратор. Импульсы амплитудой больше порогового напряжения таймера  $D1$  заустят оба таймера, однако выходной импульс снова не появится, поскольку таймер  $D1$  блокирует таймер  $D2$ . При настройке дискриминатора потенциометром  $R2$  устанавливается нижнее пороговое напряжение для входных импульсов, а потенциометром  $R1$  изменяется «окно» дискриминации. При использовании указанных на схеме параметров элементов и  $U_{п} = 15$  В нижний порог регулируется от 0 до 10 В, а величина «окна» от 10 В (при минимальном пороговом напряжении таймера  $D2$ ) до нуля (при максимальном пороговом напряжении таймера  $D2$ ).

**Приспособления для осциллографических измерений.** Если в распоряжении радиолюбителя имеется только однолучевой осциллограф, а необходимо одновременно наблюдать на экране две после-

довательности цифровых сигналов амплитудой  $U_c = 5-12$  В, то можно воспользоваться устройством, схема которого показана на рис. 4.8,а. Устройство объединяет два потока цифровых сигналов в один так, что они отображаются однолучевым осциллографом в виде двух последовательностей импульсов амплитудой 5 В, совпадающих по фазе со входными сигналами. Устройство работает следующим образом. Таймер, включенный по схеме мультивибратора, генерирует модулирующие импульсы длительностью  $T_m \approx 2$  мкс и скважностью  $D \approx 50\%$ . Выходные импульсы таймера управляют подачей потоков цифровых сигналов со входов А и Б, разделяя их во времени, и обеспечивают их постоянное смещение по вертикали на экране осциллографа. Для того чтобы входные сигналы имели прямоугольную форму на экране осциллографа, их частота  $f_c$  должна быть намного меньше  $1/T_m$ . Когда напряжения на обоих входах устройства равны нулю, на вход осциллографа с выхода таймера поступает последовательность импульсов амплитудой 10 В, которая

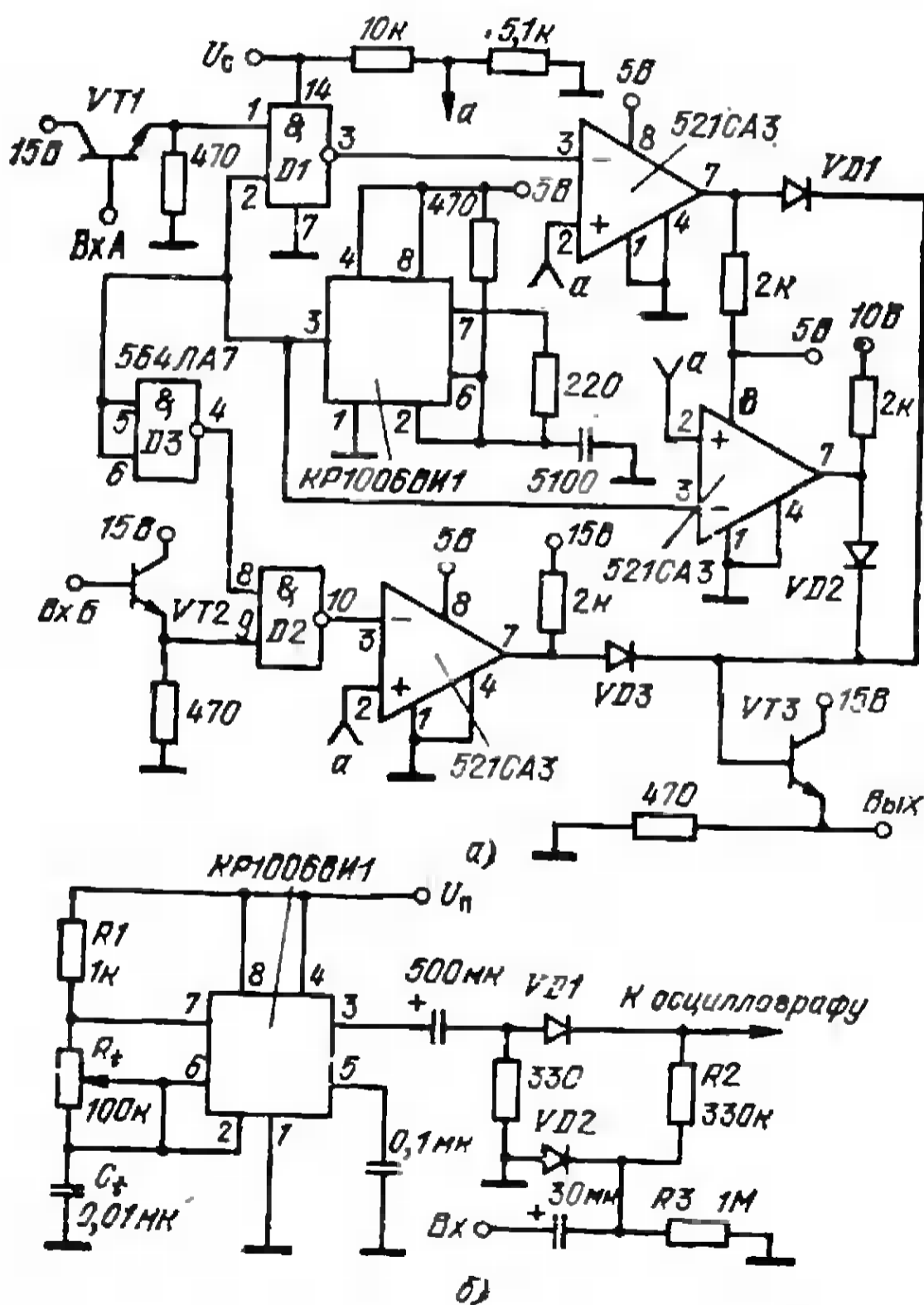


Рис. 4.8. Устройство для наблюдения двух сигналов на однолучевом (а) и двухлучевом (б) осциллографах



при развертке более 20 мкс на деление изображается в виде двух линий. Одна линия будет находиться на уровне 0 В, другая — на уровне 10 В. Первая линия является уровнем нуля для цифровых сигналов, поступающих на вход А, вторая — уровнем нуля для цифровых сигналов, поступающих на вход Б. Когда на выходе таймера напряжение равно 5 В, т. е. соответствует напряжению лог. 1, на вход осциллографа проходит сигнал со входа А. Сигнал со входа Б не проходит на выход D2, поскольку на его вход подано напряжение лог. 0. Диод VD3 заперт, так как напряжение на его аноде около 0 В. Если напряжение на выходе таймера соответствует напряжению лог. 1 и на вход А подано напряжение лог. 1, то на нижней линии изображения на экране осциллографа появится импульс амплитудой 5 В. Когда на выходе таймера напряжение равно 0 В, то на вход осциллографа проходит сигнал со входа Б, поскольку D2 открыт, а D1 закрыт напряжением лог. 0 на его входе. В этом цикле работы таймера диод VD1 закрыт напряжением на его аноде, равном 0 В. Если напряжение на входе Б соответствует напряжению лог. 1, то импульс амплитудой 5 В появится на верхней линии экрана осциллографа. При напряжении на входе Б, соответствующем напряжению лог. 0, напряжение на базе VT3 не уменьшится до нуля, так как на аноде VD2 напряжение равно 10 В.

Транзисторы VT1—VT3 используются в качестве эмиттерных повторителей, обеспечивающих достаточно большие входные сопротивления устройства и низкое выходное сопротивление. Компараторы можно заменить *n—p—n*-транзисторами, включенными по схеме с общим эмиттером. В этом случае сигналы на базы транзисторов следует подавать через резисторы с сопротивлением 5,1 кОм, а коллекторы подключить в схеме вместо выводов 7 компараторов. При такой замене схема упрощается за счет ухудшения изображения сигналов, когда их частота более 1 кГц.

Если необходимо наблюдать на экране осциллографа несколько сигналов, близкой частоты и формы, то каждый можно представить на экране осциллографа не сплошной линией, а штриховой с определенной для данного сигнала длительностью и частотой штриха. В схеме, обеспечивающей получение такого «окрашивания» сигнала (рис. 4.8,а), таймер работает в режиме мультивибратора с частотой выходного прямоугольного сигнала, равной  $1,44 / (R_1 + 2R_2) C_1$ . Положение луча осциллографа в каждый момент определяется суммой напряжений на резисторах R2 и R3. Когда диод VD1 закрыт (при поступлении среза выходного импульса таймера), положение луча зависит только от уровня входного сигнала. При поступлении фронта выходного импульса таймера луч пропадает, выходя за рамку экрана осциллографа. Напряжение  $U_H$  таймера должно превышать амплитуду входного сигнала настолько, чтобы на экране осциллографа горизонтальная штриховая линия не наблюдалась. Целесообразно выбирать частоту штриха на порядок больше частоты входного сигнала. Недостатком схемы является то, что наблюдаемые сигналы должны иметь одинаковую постоянную составляющую напряжения. Для этого на входе включен разделительный конденсатор.

## 4.2. Устройства контроля и управления

**Контроль работоспособности таймера.** Прежде чем установить таймер в устройство целесообразно провести простейший контроль его работоспособности. Поскольку основной функцией таймера явля-

ется формирование перепада напряжения через заданный промежуток времени, для контроля его работоспособности достаточно убедиться в своевременности появления на выходе таймера такого перепада. Схема тестера, позволяющего проверить годность ИС таймера, состоит из двух одновибраторов и триггера (рис. 4.9) [27]. Оба одновибратора запускаются в момент включения напряжения питания тестера переключателем *S1*. Одновибраторы на таймерах *D1*, *D2* формируют положительные импульсы длительностью 1 и 3 с соответственно. Проверяемый таймер *D3*, включенный также по схеме одновибратора, должен формировать импульс длительностью

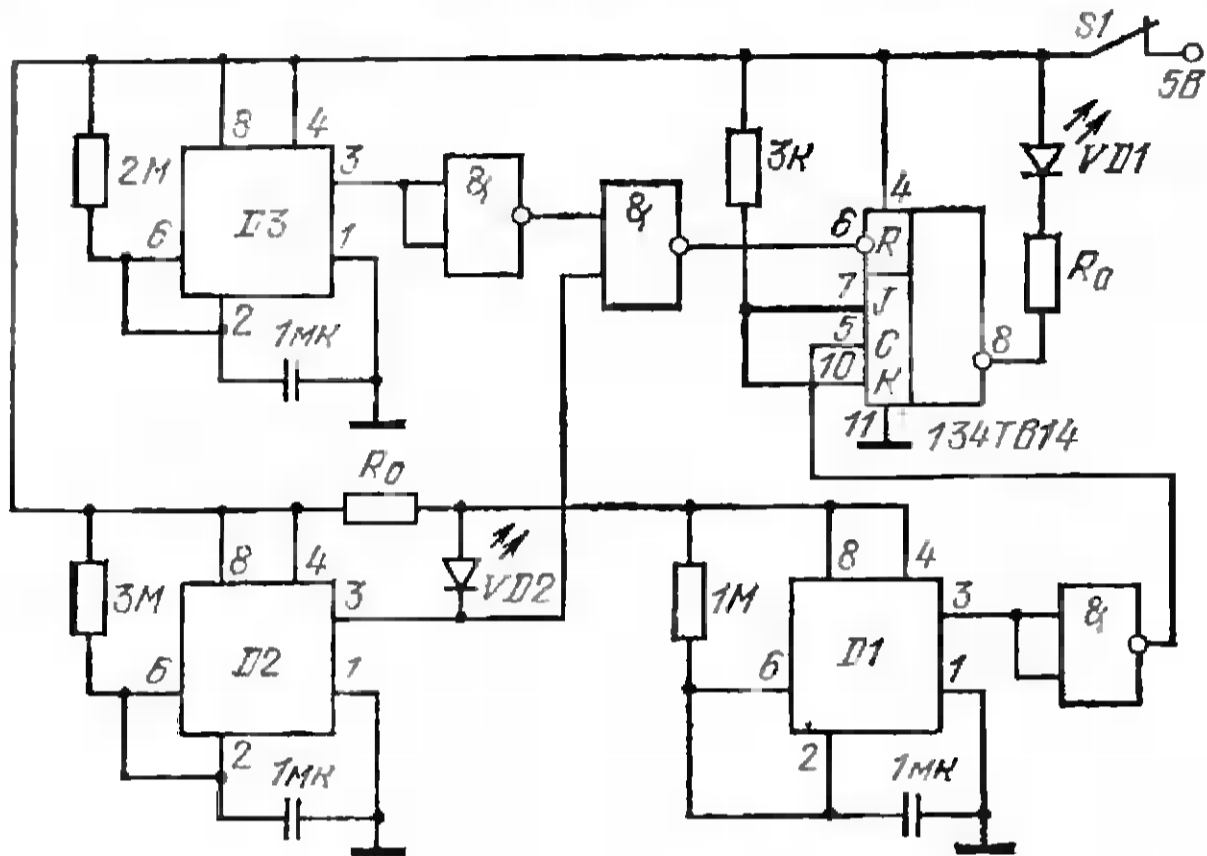


Рис. 4.9. Тестер для таймеров (*D1—D3—КР1006ВИ1*)

1—3 с, например 2 с. В момент подключения напряжения питания на выходах таймеров *D1* и *D2* устанавливаются напряжения 5 В, поскольку напряжения на выводах 2 и 6 около 0 В. Напряжение на выходе триггера равно 5 В, так как на его выводе 6 напряжение около 0 В. Таким образом, оба светодиода *VD1* и *VD2* выключены. Через 1 с после подачи напряжения питания выходное напряжение таймера *D1* станет равно нулю, а на выводе 6 триггера напряжение увеличится до 5 В. Если проверяемый таймер работает нормально, то в момент переключения его выходного напряжения от 5 В до 0 загорится светодиод *VD1*, а затем *VD2*. Если проверяемый таймер не работает, то его выходное напряжение остается постоянным и равно 0 или 5 В. В обоих случаях *VD1* не загорится, а загорание *VD2* указывает на окончание контроля. Светодиоды могут быть заменены лампочками. Ток через светондикаторы определяется резисторами *R0*.

**Термостат.** Хотя таймер предназначен для формирования временных интервалов, но на его основе можно построить экономичное и надежное устройство управления температурой, использующее

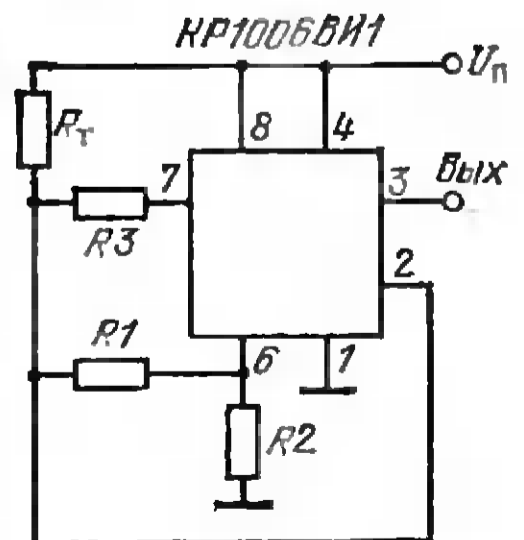


Рис. 4.10. Термостат

терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (рис. 4.10). Терморезисторно-резисторный делитель  $R_T$ ,  $R1-R3$  изменяет напряжение на выводах 2 и 6 пропорционально температуре. При увеличении температуры напряжение  $U_6$  на выводе 6 также увеличивается. Когда сопротивление  $R_T$  уменьшится до значения  $R_{T1}$ , при котором  $U_6 \approx 2U_{\Pi}/3$ , насыщается внутренний транзистор  $VT1$  таймера (см. гл. 1),  $R3$  включается параллельно  $R1+R2$ , а выходное напряжение становится равным 0 В. Сопротивление  $R_{T1}$  рассчитывается из уравнения  $(R_{T1}+R1)/(R_{T1}+R1+R2)=1/3$ . При уменьшении температуры напряжение на выводах 2 и 6 также уменьшается. Когда напряжение на выводе 2 уменьшится до  $U_{\Pi}/3$ , выходное напряжение переключится от 0 до  $U_{\Pi}$ . Сопротивление  $R_{T2}$ , при котором это произойдет, рассчитывается из уравнения  $\{R3 \parallel (R1+R2)\} / \{R_{T2} + [R3 \parallel (R1+R2)]\} = 1/3$ . При использовании терморезисторов с известной зависимостью сопротивления от температуры нетрудно рассчитать требуемые значения  $R1-R3$ . Когда отношение  $K=R_{T2}/R_{T1} \geq 2$ , то можно принять  $R2=R_{T2}$ . Тогда  $R1=[(K/2)-1]R_{T1}$ ,  $R2=KR_{T1}$ , а  $R3=2R_{T1}[(3K^2-1)/(2K-1)]$ . Однако если  $R_{T2}/R_{T1} < 2$ , то надо выбрать  $R1=0$  и тогда  $R2=2R_{T1}$ , а  $R3=2R_{T1}R_{T2}/(2R_{T1}-R_{T2})$ . Эти данные получены в предположении нулевого входного тока компараторов таймера. Рассеиваемая мощность терморезистора должна быть минимальной, чтобы обеспечить максимальную точность работы при крайних значениях температуры. Если терморезистор подключается к таймеру длинными проводами или сопротивления делителя сравнимы со входными сопротивлениями компараторов, необходимо выводы 2 и 6 шунтировать конденсаторами, чтобы избежать действия наводок. Термостат предназначен для управления устройством нагревания или охлаждения. Например, при уменьшении температуры ниже некоторой заданной делителем  $R_T$ ,  $R1-R3$  величины, на выходе таймера устанавливается напряжение  $U_{\Pi}$  и включается нагревательный прибор. Как только температура возросла выше установленного делителем значения, выходное напряжение таймера изменяется, нагреватель выключается и термостатируемый прибор охлаждается.

Компактный тестер для автоматического контроля исправности многожильных кабелей с любым числом проводов можно построить только на таймерах и светодиодах (рис. 4.11). Такой тестер позволяет за несколько минут провести проверку кабеля, содержащего несколько десятков проводов [28]. Тестер дает возможность выявить оборванные или короткозамкнутые провода с помощью панели из светодиодов. Каждый провод проверяется отдельно и его качество индицируется двумя светодиодами, один из которых указывает на обрыв, а другой — на короткое замыкание с другими проводами.

Тестер состоит из двух блоков: генератора сигналов и приемника-индикатора. Каждый таймер в блоке генераторов включен по схеме одновибратора. Сигнал с выхода каждого таймера подается на вход соответствующего приемника-индикатора по двум проводам: эталонному проводу и одному из проводов кабеля. Одновибраторы работают последовательно, т. е. одновибратор, выдавший в линию положительный импульс, запускает следующий одновибратор срезом этого импульса. Последний одновибратор вновь запускает первый. Число одновибраторов равно числу  $N$  проводов в кабеле. Во многих случаях многожильный кабель имеет общую экранирующую оплетку, соединяемую с корпусом разъемов. Качество экранирующей оплетки, т. е. наличие в ней обрывов или замыканий с внутренними проводами кабеля, проверяют с помощью первого одновибра-

тора. Следовательно, цикл контроля качества кабеля начинается с анализа качества экранирующей оплетки. Каждый приемник-индикатор содержит два транзистора, на базы которых поступают положительные контрольные импульсы от соответствующего одновибратора. Точка подключения контролируемого провода ко входу приемника заземляется через резистор  $R_c$ . Сопротивление  $R_c$  выбирается равным волновому сопротивлению контролируемого провода. Это позволяет уменьшить неизбежные искажения импульса на входе приемника при контроле кабелей длиной более 10 м. Для проверки большинства кабелей достаточно установить  $R_c = 220$  Ом.

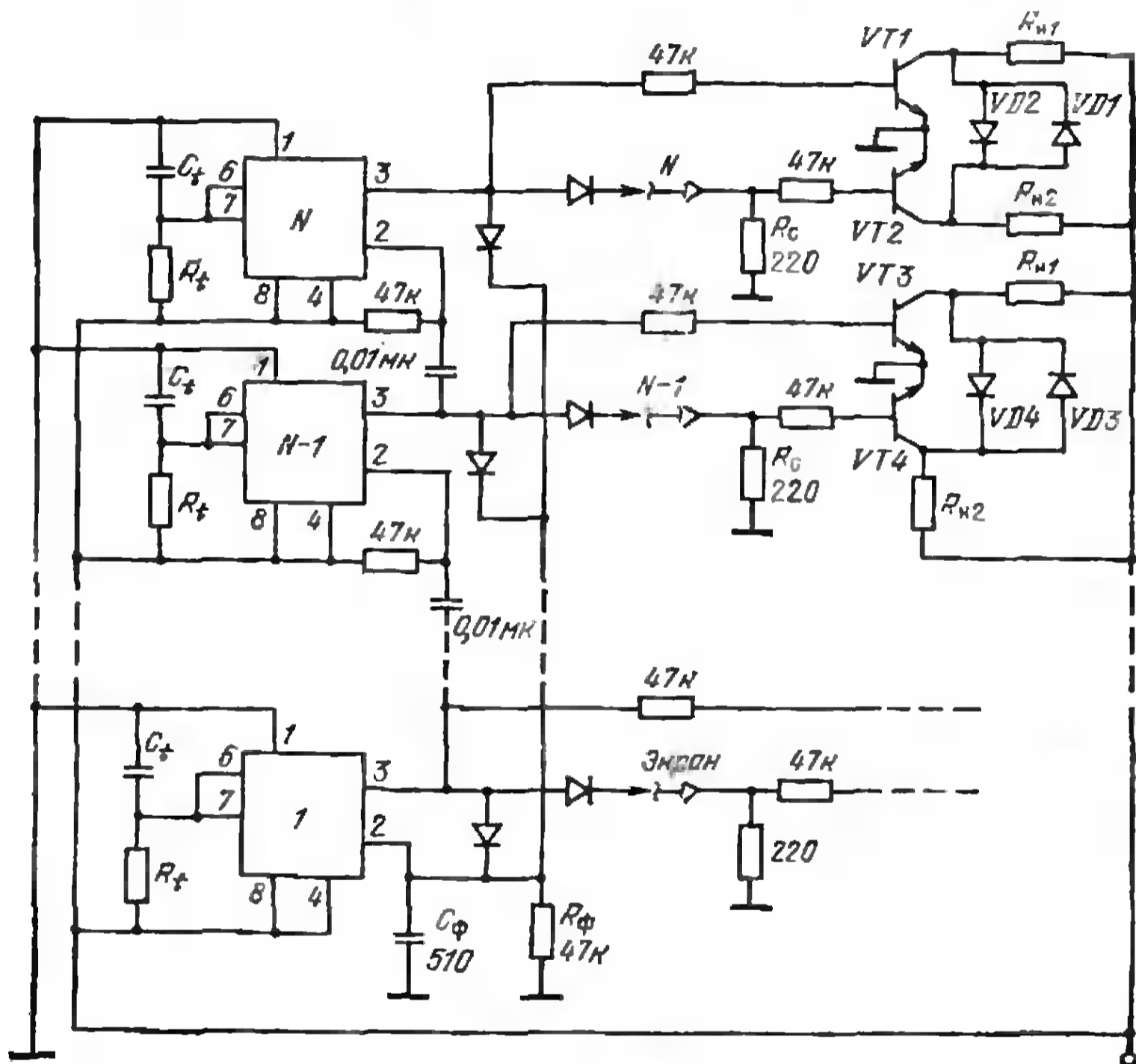


Рис. 4.11. Тестер для многожильных кабелей

Работу тестера рассмотрим на примере верхней части схемы. Когда на выходе  $N-1$ -го таймера напряжение изменяется от  $U_n$  до 0, т. е. окончен цикл контроля качества  $N-1$ -го провода, то запускается одновибратор  $N$  и на выходе его таймера устанавливается напряжение  $U_n$ . Это напряжение подается на базы транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ . Если провод  $N$  оборван, то положительный сигнал не проходит на базу транзистора  $VT2$ , он остается закрытым, и на его коллекторе напряжение равно  $U_n$ . Поскольку положительным сигналом насыщается  $VT1$ , катод светодиода  $VD1$  заземлен и через резистор  $R_{в2}$  в  $VD1$  поступает ток  $I_{в}$ , зажигающий этот светодиод.

Следовательно, сопротивление,  $R_{н2}$  должно быть выбрано из условия  $R_{н2} \leq U_{п}/I_{н}$ . Если провод  $N$  замкнут с любым другим проводом или экраном кабеля (например, с  $N-1$ -м проводом), то положительный сигнал поступает на транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$ , они насыщаются, напряжение на обоих электродах светодиодов равно 0,2 В и они закрыты. Однако положительный сигнал проходит и на транзистор  $VT4$ , насыщает его и зажигается светодиод  $VD4$ , так как транзистор  $VT3$  закрыт. Светодиод  $VD2$ , в свою очередь, будет зажигаться в период контроля провода  $N-1$ . Таким образом, загорание светодиодов в индикаторах короткого замыкания указывает не только на наличие повреждения, но и проводá, между которыми короткое замыкание имеет место. По аналогии с  $R_{н2}$  сопротивление  $R_{н1} \leq U_{п}/I_{н}$ . Если использованы одинаковые светодиоды, то  $R_{н1} = R_{н2}$ .

После контроля последнего провода генератор запускается вновь через время  $t_{з} \approx R_{з}C_{з}$ , определяемое продолжительностью уменьшения напряжения на выводе 2 таймера  $D1$  от  $U_{п}$  до  $U_{п}/3$ . В момент, когда напряжение на  $C_{з}$  станет равным  $U_{п}/3$ , таймер  $D1$  начнет анализировать качества экранирующей оплетки и проверку возможных замыканий выводов разъема на его корпус. Чтобы обеспечить нормальную работу таймера  $D1$ , необходимо предусмотреть изоляцию корпуса разъемов от корпуса самого тестера. Если соединить корпус разъемов с положительным полюсом источника питания тестера, то зажженный светодиод укажет замкнутый с экранирующей оплеткой провод кабеля. Длительность формируемого каждым одновибратором положительного импульса  $T_{н} = 1,1R_iC_i$ . Величину  $T_{н}$ , т. е. сопротивление  $R_i$  и емкость  $C_i$ , необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы продолжительности зажигания световых индикаторов было достаточно для однозначного определения неисправности кабеля. Рассмотренный тестер позволяет контролировать качество кабелей длиной до 150 м.

Простейший пробник, позволяющий определить состояние магистрали микропроцессорной системы, можно построить, подключив к выходу таймера, включенного по схеме мультивибратора, интегрирующую  $R_{ф}C_{ф}$ -цепь [29]. Проинтегрированные на выходе этой цепи выходные импульсы таймера через разделительный резистор  $R_p$  подаются в магистраль, подключенную ко входу осциллографа. Если магистраль не повреждена, то при передаче в микропроцессор тестовых сигналов, при которых магистраль переводится в «третье состояние», на экране осциллографа будут появляться формируемые  $R_{ф}C_{ф}$ -цепью импульсы. Если же магистраль повреждена, т. е. на ней при передаче тестовых сигналов сохраняются напряжения лог. 1 или 0, то амплитуда выходных импульсов интегрирующей  $R_{ф}C_{ф}$ -цепи уменьшится в  $R_p/R_{вых}$  раз, где  $R_{вых}$  — выходное сопротивление поврежденного вентиля, подключенного к магистрали. Рекомендуется выбрать  $R_{ф} \approx 2$  кОм,  $C_{ф} \approx 0,047$  мкФ, а в качестве  $R_p$  использовать переменный резистор сопротивлением 20 кОм.

Схема устройства для управления электродвигателями постоянного тока показана на рис. 4.12 [3]. Таймер работает в режиме мультивибратора, управляющего транзисторным усилителем мощности. В зависимости от длительности импульса на выходе таймера изменяется мощность, отбираемая электродвигателем от источника питания  $U_{п}$  и, следовательно, скорость вращения ротора электродвигателя. Чем больше длительность напряжения  $U_{п}$  на выходе таймера, тем дольше открыты транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  и тем до большего напряжения зарядится конденсатор  $C_{н}$ . Когда скважность выходных импульсов таймера достигает 100 %,

скорость вращения ротора электродвигателя максимальна. Регулируется скорость переменным резистором  $R_p$ , изменяющим напряжение на входах компараторов. Количество дискретных значений скорости определяется числом использованных компараторов.

Регулятор работает следующим образом. В исходном состоянии транзисторы и диоды  $VD1, VD2$  закрыты, а напряжение на конденсаторе  $C_t$  уменьшается от своего максимального значения  $2U_n/3$  до минимального  $U_n/3$ . Конденсатор  $C_t$  разряжается через резисторы  $R_1—R_m$ , которые подключены к компараторам с низкими выходными напряжениями. Значения выходных напряжений компараторов при за-

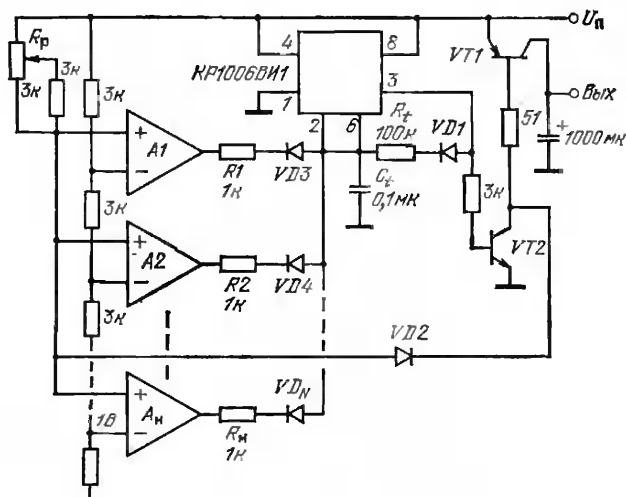


Рис. 4.12. Регулятор скорости электродвигателя ( $A1—A_m—KM597CA3$ )

крытом диоде  $VD2$  определяются напряжением на их неинвертирующих входах, т. е. сопротивлением  $R_p$ . Таким образом, время, в течение которого транзисторы закрыты, равно  $0,7R_n C_t$ , где  $R_n$ —сопротивление параллельно включенных резисторов  $R_1—R_m$  компараторов, у которых выходные напряжения около 0 В. В момент, когда на  $C_t$  напряжение равно  $U_n/3$ , выходное напряжение таймера становится равным  $U_n$  и оба транзистора открываются. Коллекторное напряжение  $VT1$  уменьшается до нуля и на неинвертирующих входах компараторов устанавливается напряжение около 0,8 В. При этом на выходах всех компараторов будут напряжения около 0 В. Чтобы выполнить это требование, напряжение на инвертирующем входе компаратора  $A_m$  должно быть больше 1 В. Сопротивление  $R_0$ , равное сопротивлению всех параллельно-соединенных резисторов  $R_1—R_m$ , определяет минимальную скорость вращения ротора электродвигателя. Положительное напряжение на выходе таймера сохраняется в течение времени  $t_1 \approx 0,7(R_t + R_n)C_t$  увеличения напряжения на конденсаторе  $C_t$  от  $U_n/3$  до  $2U_n/3$ . Затем описанный процесс повторится. Таким образом, скважность выходных импульсов таймера, равная  $R_t/(R_t +$

$+R_n$ ), может меняться от 0 (при  $R_n \gg R_t$ ) до 100% (при  $R_t \gg R_n$ ) и, следовательно, в широких пределах может регулироваться скорость вращения ротора электродвигателя. Частота выходных импульсов  $f_r \approx 1,44 / (R_n + 2R_t) C_t$  должна быть значительно больше частоты вращения ротора.

**Детектор пропадания импульсов** длительностью более 100 нс, следующих с частотой менее 1 МГц, показан на рис. 4.13. Таймер

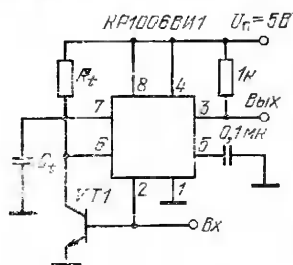


Рис. 4.13. Детектор пропадания импульсов

включен по схеме одновибратора, управляемого как по цепи триггерного входа, так и по цепям заряда время-задающего конденсатора  $C_t$ . Транзистор  $VT1$  образует дополнительную цепь управления одновибратором. Детектор работает следующим образом. При напряжении на входе около 0 В транзистор открыт и устанавливает напряжение 0,7 В на выводах 6, 7 таймера. Напряжение на выходе таймера около 5 В. При переключении входного напряжения от 0 до  $U_n$  транзистор закрывается и напряжение на конденсаторе  $C_t$  увеличивается от исходного значения равного 0,7 В, стремясь к 5 В. В момент, когда напряжение на  $C_t$  увеличится до  $2U_n/3 \approx 3,3$  В, выходное напряжение таймера изменится от 5 В до 0. Время нарастания выходного напряжения от 0,7 до 3,3 В равно  $R_t C_t$ . Если на вход устройства поступает последовательность импульсов с частотой  $2/R_t C_t > f_n > 1/R_t C_t$ , то напряжение на  $C_t$  не успевает увеличиться до  $2U_n/3$  и  $C_t$  разряжается каждым импульсом. Однако, как только интервал между импульсами больше  $R_t C_t$ , т. е. либо один импульс пропал, либо уменьшилась частота импульсов, напряжение на конденсаторе успевает увеличиться до  $2U_n/3$  и выходное напряжение таймера изменяется от  $U_n$  до 0 В. Если частота входных импульсов  $3/R_t C_t > f_n > 2/R_t C_t$ , то детектор реагирует на пропадание только двух импульсов подряд. Таким образом, для работы в режиме детектора пропадания импульса значение  $R_t C_t$  должно выбираться из условия  $2/f_n > R_t C_t > 1/f_n$ . Устройство работает в диапазоне напряжения питания 5—15 В и качество детектирования не зависит от изменения  $U_n$ .

## 5. Источники вторичного электропитания

В микроэлектронной аппаратуре многие функционально законченные узлы выполняются на нескольких ИС или БИС, потребляющих небольшую мощность, но требующих различные значения напряжения питания. Например, АЦП последовательного приближения, включающий ЦАП, регистр последовательного приближения, компаратор, усилитель выборки — хранения требуют три напряжения питания: 5 В (или 9 В) для цифровых ИС

и  $\pm 15$  В для АИС. Избежать использования нескольких источников в функциональных узлах такого типа, перейдя к одному питанию (например, 5 В), позволят простые преобразователи напряжений на таймерах. Такие преобразователи состоят из нескольких элементов и могут быть включены в общую с функциональным узлом конструкцию (плату или модуль).

В описываемых ниже преобразователях и стабилизаторах напряжений используется общий принцип работы — исходное напряжение питания таймера 5—15 В преобразуется в требуемое отрицательное или положительное напряжение с помощью диодно-емкостной или индуктивно-емкостной цепи.

### 5.1. Диодно-емкостные преобразователи

Этот тип преобразователей позволяет получить напряжение питания с нестабильностью менее 5% при выходном токе около нескольких десятков миллиампер. Простейшая структура преобразователя (рис. 5.1) по-

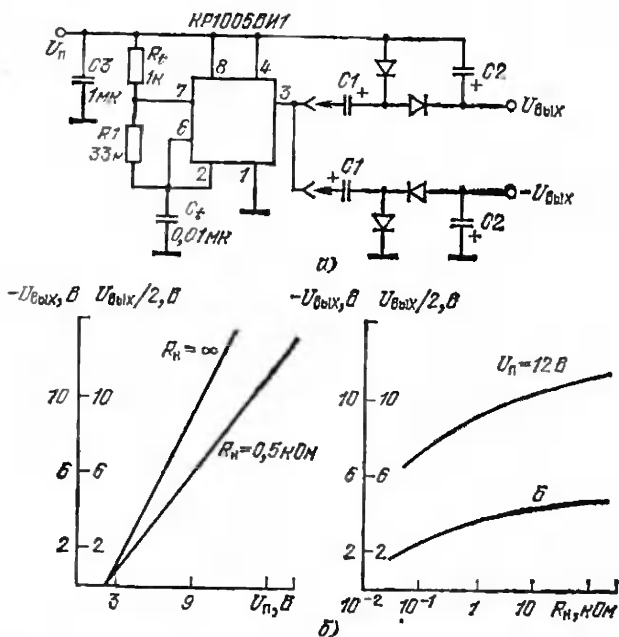


Рис. 5.1. Простейший диодно-емкостный преобразователь (а) и зависимости его выходных напряжений от  $U_n$  и  $R_n$  (б)



строена на таймере, включенном по схеме мультивибратора [31]. Конденсатор  $C3$  защищает входную цепь питания от коротких выбросов напряжения, возникающих в выходной цепи. В зависимости от вида диодно-емкостной цепи, подключаемой к выходу таймера, выходное напряжение будет отрицательным или положительным (рис. 5.1,а). Энергия запасается в конденсаторах  $C1, C2$  во время импульса (при получении  $U_n$ ) или паузы (при получении  $-U_{\text{вых}}$ ), а затем, соответственно, во время паузы или импульса передается в нагрузку. Благодаря

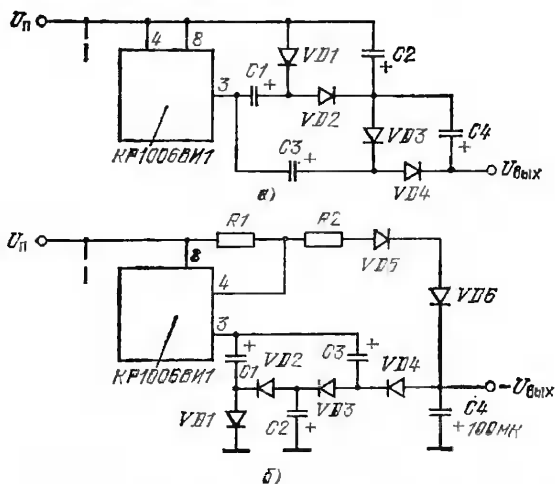


Рис. 5.2. Высоковольтные диодно-емкостные преобразователи с положительным (а) и отрицательным (б) выходными напряжениями

этому выходные напряжения поддерживаются на уровнях  $|-U_{\text{вых}}| \approx U_n$  и  $U_{\text{вых}} \approx 2U_n$ . Для указанных в схеме параметров элементов и  $C_1 = C_2 = 100$  мкФ зависимости выходного напряжения от напряжения питания таймера и сопротивления нагрузки приведены на рис. 5.1,б.

Чтобы получить значения выходного напряжения  $|-U_{\text{вых}}| \approx 2U_n$  или  $U_{\text{вых}} \approx 3U_n$  при тех же значениях  $U_n$ , что используются в схеме на рис. 5.1,а, целесообразно применять вдвоенные диодно-емкостные цепи (рис. 5.2).

В преобразователе на рис. 5.2,а при поступлении среза выходного импульса таймера напряжение в точке соединения диодов  $VD1, VD2$  равно  $U_n - U_d$ , где  $U_d$  — падение напряжения на открытом диоде. При выходном импуль-

се положительной полярности конденсатор  $C2$  заряжается до напряжения, равного  $2(U_n - U_d)$ , т. е. эта часть структуры работает так же, как схема на рис. 5.1,а при формировании напряжения  $U_{\text{вых}}$ . Через цепь  $C3, D4$  выходной конденсатор  $C4$  заряжается до напряжения  $U_n - U_d$  по отношению к потенциалу в точке соединения диодов  $VD2, VD3$ . Поэтому максимальное результирующее напряжение на выходе такого преобразователя равно  $3(U_n - U_d)$ . Чтобы получить напряжение более  $3U_n$ , необходимо подключить третью диодно-емкостную цепь к выходу таймера.

Недостатком описанных выше структур диодно-емкостных преобразователей является сильная зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки (рис. 5.1,а). Поэтому требуемое выходное напряжение может быть установлено регулировкой  $R1$  или  $R_i$  только после подключения реальной нагрузки. Чтобы устранить этот недостаток, вводят обратную связь с выхода на один из управляющих выводов (4 или 5) таймера для прекращения заряда выходного конденсатора, как только будет достигнуто требуемое значение  $U_{\text{вых}}$ . Возможное включение такой регулирующей обратной связи в схему показано на примере преобразователя положительного напряжения в отрицательное, использующего вдвоенную диодно-емкостную цепь на выходе таймера (рис. 5.2,б). Цепь обратной связи образована элементами  $R1, R2, VD5, VD6$  [32]. При поступлении фронта выходного импульса таймера конденсатор  $C1$  заряжается через  $VD1$ . При поступлении среза выходного импульса таймера заряд от  $C1$  передается через  $D2$  в  $C2$ . При следующем фронте выходного импульса таймера вновь заряжается  $C1$ , а заряд от  $C2$  передается в  $C3$  через  $VD3$ . В результате этого амплитуда напряжения, поступающего через  $VD4$  на  $C4$ , удваивается. Если выполняется равенство  $R_1 = R_2$ , то, например, при  $U_n = 15$  В получим  $U_{\text{вых}} = -15$  В, так как в этом случае напряжение  $U_4$  на выводе 4 равно 0 В и прекращается генерирование таймером импульсов, а следовательно, и подзаряд  $C4$ . Как только конденсатор  $C4$  зарядится до напряжения  $-14$  В,  $U_4$  увеличится до 0,5 В и мультивибратор вновь запустится, уменьшая напряжение на  $C4$  до  $-15$  В и т. д. Изменяя соотношение сопротивлений  $R1, R2$ , можно установить любое значение  $U_{\text{вых}}$  в диапазоне от 0 до  $-25$  В, обеспечивая ток в нагрузку до 30 мА при нестабильности  $U_{\text{вых}}$  в пределах 2%. Для получения такой

нестабильности достаточно выбрать емкости конденсаторов  $C1—C3$  более 20 мкФ.

Аналогичную цепь обратной связи, фиксирующей выходное напряжение на требуемом уровне, можно построить и для преобразователя на рис. 5.2,а. Если вывод 4 таймера используется для управления работой мультивибратора — включения напряжения  $U_{\text{вых}}$ , то цепь обратной связи можно подключить к выводу 5 таймера. Однако независимо от места подключения цепи обратной связи к таймеру остается неизменным принцип стабилизации выходного напряжения. Заряд выходного конденсатора прекращается после достижения выходным напряжением значения (определяемого параметрами элементов цепи обратной связи), при котором изменяется режим работы мультивибратора.

Выходная мощность  $P_{\text{вых}}$  источников питания, построенных на диодно-емкостных цепях, ограничена допустимой мощностью, рассеиваемой корпусом таймера. Для таймера в металлокерамическом корпусе выходное напряжение и сопротивление нагрузки должны устанавливаться с таким расчетом, чтобы получить  $P_{\text{вых}} < 0,3$  Вт, а для пластмассового корпуса  $P_{\text{вых}} < 0,2$  Вт.

## 5.2. Индуктивно-емкостные преобразователи

Источники питания с индуктивно-емкостной цепью на выходе целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо обеспечить стабилизированное напряжение питания мощностью  $P_{\text{вых}} > 0,5$  Вт при нестабильном исходном напряжении  $U_{\text{п}}$  таймера. Например, при питании прецизионных АИС от общих с цифровыми ИС источников напряжения. В таких стабилизаторах таймер управляет импульсным усилителем на транзисторах и, благодаря этому, максимальная выходная мощность устройства определяется допустимой мощностью, рассеиваемой внешним выходным транзистором.

Принцип преобразования напряжения питания таймера в положительное или отрицательное демонстрируется рис. 5.3 [19]. Транзистор работает в ключевом режиме, т. е. закрыт в течение длительности  $t_1$  импульса на выходе мультивибратора и насыщен в течение  $t_2$  паузы (см. гл. 3). Когда транзистор насыщен, напряжение на его коллекторе равно  $U_{\text{п}} - U_{\text{в}}$ , где  $U_{\text{п}}$  — падение напряжения на насыщенном транзисторе. Затем транзистор закрывается и энергия, накопленная в индуктив-

ности за время  $t_2$ , тратится на поддержание тока в контуре индуктивность — диод — конденсатор. Временные диаграммы изменения выходных напряжения и тока в нагрузке при формировании положительного (рис. 5.3,а) и отрицательного (рис. 5.3,б) напряжений питания описывают работу выходных цепей индуктивно-емкостных преобразователей на рис. 5.4 и 5.5. Используемая в этих схемах регулирующая обратная связь с выхода на вы-

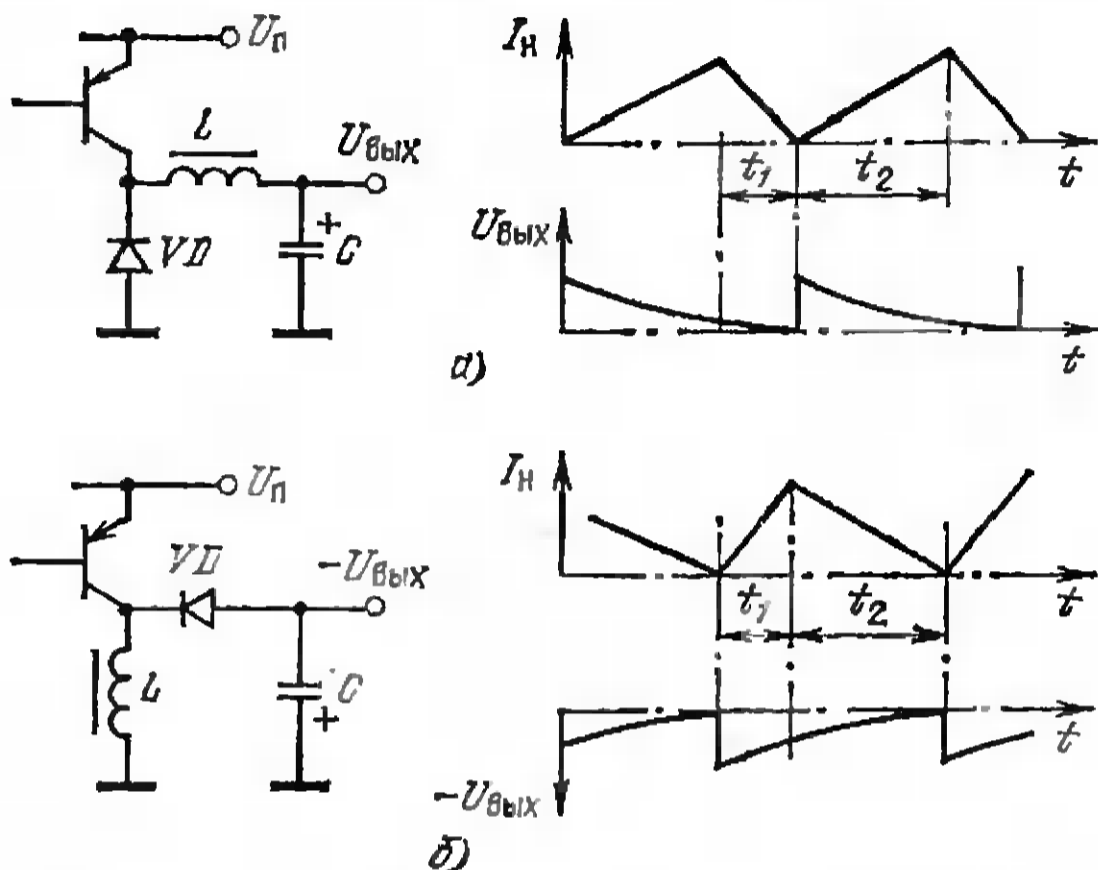


Рис. 5.3. Схемы получения положительного (а) и отрицательного (б) выходных напряжений в индуктивно-емкостных преобразователях

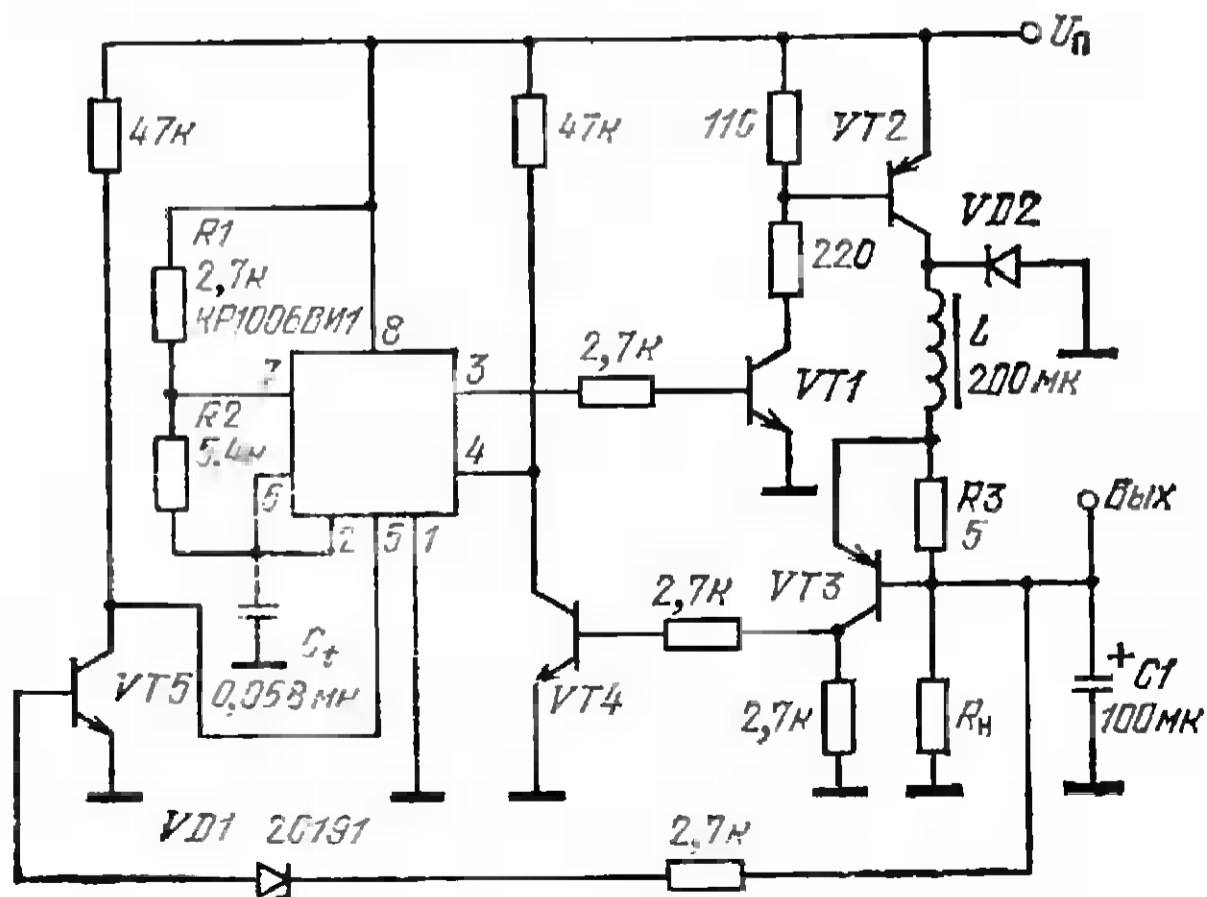


Рис. 5.4. Мощный стабилизатор положительного напряжения

воды 4, 5 или 6 таймера позволяет установить амплитуду колебаний выходного напряжения около 0,1 В относительно его среднего значения. Значения  $C_B$ ,  $L$  и  $t_2$  следует выбирать такими, чтобы за время  $t_1$  в выходную цепь передавалась большая энергия, чем затрачивается на поддержание требуемого напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  на нагрузке  $R_H$  за время  $t_2 \geq LI_{\text{В}}/U_{\text{П}}$  [19].

Среди известных стабилизаторов положительного напряжения, спроектированных на основе таймера, наиболее удачной является структура на рис. 5.4 [33]. Она содержит цепи регулирующей обратной связи и защиты выходного мощного транзистора от короткого замыкания. Таймер включен по схеме мультивибратора, генерирующего прямоугольные выходные сигналы, управляющие работой транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ . При высоком выходном напряжении таймера транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  насыщены в течение времени  $t_1 = 0,7(R_1 + R_2)C_1$  и ток через индуктивность  $L$  поступает в нагрузку  $R_H$  и выходной конденсатор  $C1$ . При низком выходном напряжении таймера транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  закрыты в течение  $t_2 = 0,7R_2C_1$  и в нагрузку отдается энергия, накопленная в  $L$  и  $C1$ . Пока выходное напряжение меньше напряжения  $U_{\text{СТ}}$  на открытом стабилитроне  $VD1$ , транзистор  $VT5$  закрыт и не влияет на работу таймера. Как только вы-

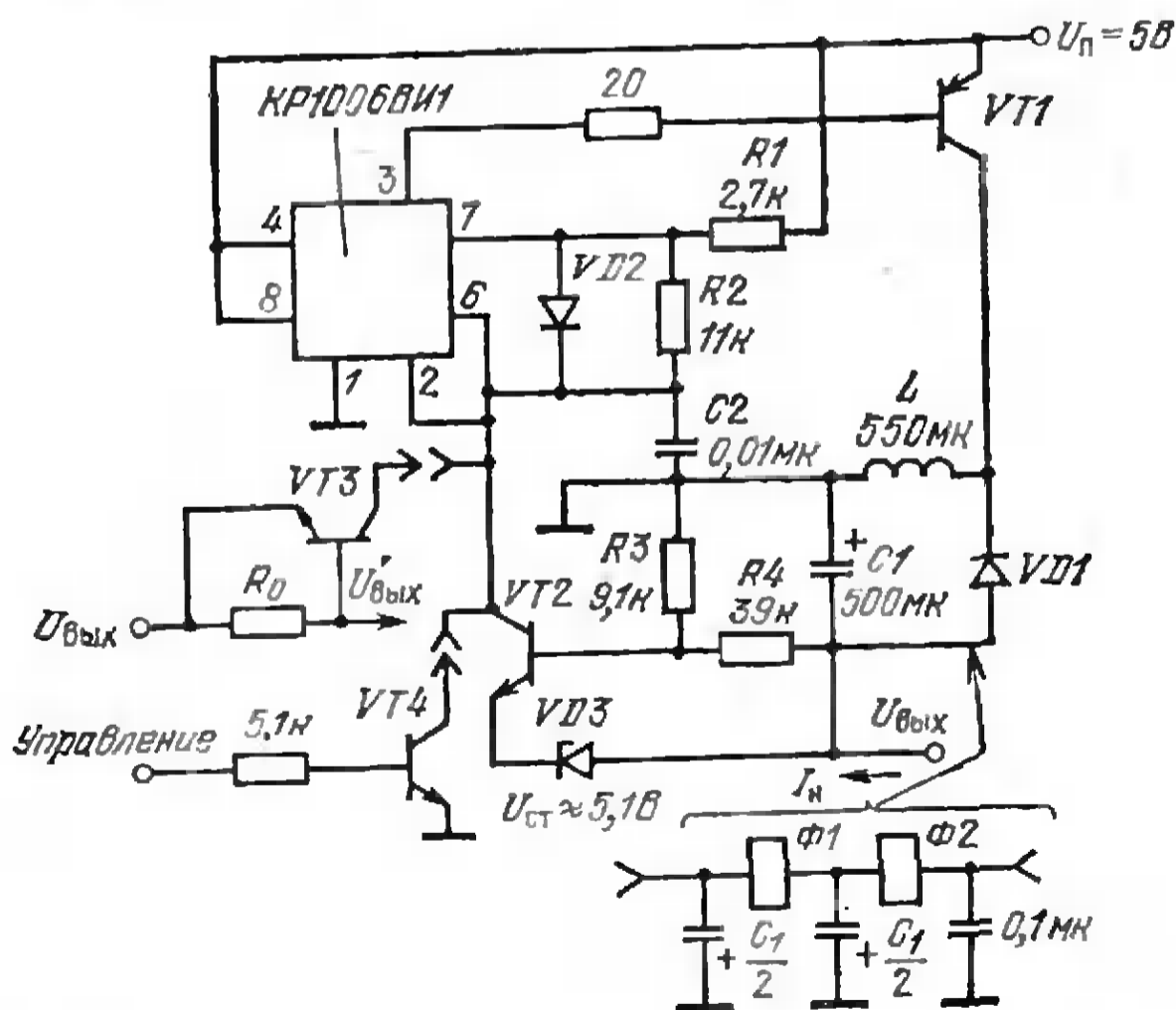


Рис. 5.5. Мощный стабилизатор с отрицательным выходным напряжением

полняется неравенство  $U_{\text{вых}} > U_{\text{ст}} + U_{\text{эб}}$ , транзистор  $VT5$  открывается и напряжение на выводе 5 уменьшается до 0,1 В. Вследствие этого напряжение на выходе таймера изменяется от  $U_{\text{п}}$  до 0. Таким образом модулируется длительность времени потребления нагрузкой мощности от источника питания  $U_{\text{п}}$ . Если исключить цепь обратной связи, то среднее значение выходного напряжения  $U_{\text{вых}} \approx t_1 U_{\text{вх}} f_{\Gamma}$ ,  $f_{\Gamma}$  — рабочая частота мультивибратора. Для защиты выходного транзистора  $VT2$  от перегрузки по току введена цепь обратной связи на транзисторах  $VT3$ ,  $VT4$ . Эта цепь ограничивает максимальный ток через  $VT2$  на уровне  $0,7 \text{ В}/R_3$ . Если падение напряжения на  $R_3$  при увеличении тока в нагрузке становится больше 0,7 В, транзисторы  $VT3$ ,  $VT4$  насыщаются. Напряжение на выводе 4 и на выходе таймера устанавливается около 0,1 В, и транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$  закрываются. Генерирование таймером импульсов возобновится только после того, как будут устранены причины перегрузки по току. Для защиты  $VT2$  от перегрузок по напряжению в схему введен диод  $VD1$ , ограничивающий отрицательные выбросы напряжения на коллекторе  $VT2$  на уровне  $-1$  В. При указанных на схеме параметрах элементов выходное напряжение равно 10 В при изменении  $U_{\text{п}}$  в диапазоне 12—16,5 В и выходном токе 100 мА, а пульсации  $U_{\text{вых}}$  и его относительная нестабильность при изменении  $U_{\text{п}}$  и  $R_{\text{н}}$  не превышают 1%, КПД стабилизатора 75%.

Для работы большинства современных БИС ЦАП, АЦП и некоторых микропроцессоров недостаточно обычного для современной микроэлектронной аппаратуры напряжения 5 В, а требуется еще отрицательное стабильное напряжение. Это напряжение можно получить с помощью схемы преобразователя, показанной на рис. 5.5 [34]. Транзистор  $VT2$  и стабилитрон  $VD3$  образуют цепь, регулируемую скважность выходных импульсов мультивибратора. Когда падение напряжения на резисторе  $R4$  достигает величины  $U_{\text{ст}} + U_{\text{эб}}$ , транзистор  $VT2$  открывается, напряжение на его коллекторе уменьшается до 0,1 В, выходное напряжение таймера изменяется от 0,1 В до  $U_{\text{п}}$ , и закрывается транзистор  $VT1$  на время  $t_1 \approx 0,7(R_1 + R_2)C_2$ . Значение выходного напряжения стабилизатора  $U_{\text{вых}} = -(U_{\text{ст}} + U_{\text{эб}})(1 + R_3/R_4)$ . Емкость  $C1$  следует выбирать исходя из допустимого значения пульсаций  $\Delta U_{\text{вых}}$  выходного напряжения  $C_1 \approx I_{\text{н}} t_2 / \Delta U_{\text{вых}}$ , где  $I_{\text{н}}$  — отдаваемый в нагрузку ток, а  $t_2 \approx 0,7 R_2 C_2$  — вре-

мя, в течение которого транзистор  $VT1$  открыт. Для приведенных на схеме параметров элементов при  $U_n=5$  В и  $I_n=200$  мА получим  $U_{\text{вых}}=-7$  В, КПД около 60%,  $\Delta U_{\text{вых}}/U_{\text{вых}} \approx 1\%$ , подавление нестабильности  $U_n$  равно 30 дБ. Максимальный КПД в таком преобразователе получается при  $t_1/t_2 \approx U_n/|U_{\text{вых}}|$ . Недостаток этого преобразователя, как и показанного на рис. 5.4, в том, что в выходном напряжении содержатся короткие выбросы напряжения большой амплитуды, которые могут существенно ухудшить точность работы аналоговых БИС, питаемых таким источником. Чтобы устранить высокочастотные выбросы, необходимо в участок цепи, соединяющей  $VD1$  и  $C1$ , ввести ферритовые кольца  $\Phi1$ ,  $\Phi2$ , как показано на рис. 5.5.

Защитить преобразователь от повреждения при замыкании его выхода на землю или шину  $U_n$  можно, включив в схему транзистор  $VT3$ . Сопротивление резистора  $R_0=0,7$  В/ $I_{n \text{ макс}}$ , где  $I_{n \text{ макс}}$  — максимально допустимый выходной ток. Если необходимо выключить источник питания или только отключить отрицательное напряжение от нагрузки, то можно ввести в схему транзистор  $VT4$ . При напряжении на базе этого транзистора больше 1 В, он насыщается, генерирование таймером импульсов прекращается, транзистор  $VT1$  закрывается, а нагрузка оказывается подключенной через диод  $VD1$  к земле.

### 5.3. Специализированные источники питания

Преобразователь однополярного напряжения в двухполярное необходим, когда в устройство, содержащее цифровые ИС, питаемые источником с напряжением 5—15 В, требуется добавить несколько АИС. Если достаточен выходной ток около 10 мА, то можно воспользо-

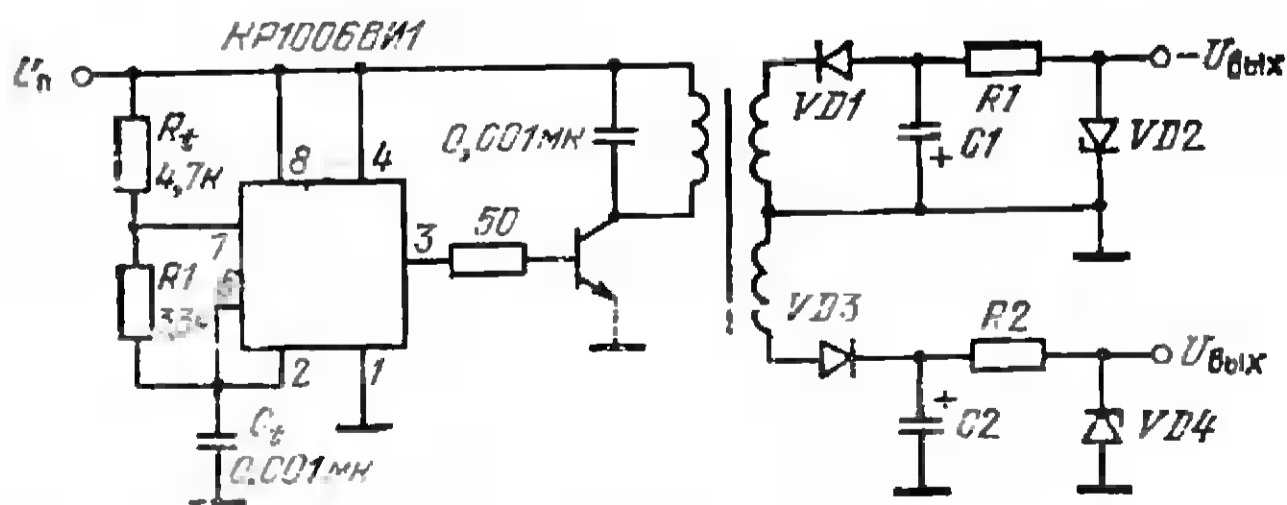


Рис. 5.6. Преобразователь однополярного напряжения в двухполярное

ваться схемой на рис. 5.6. Мультивибратор на таймере генерирует импульсы с частотой 100 кГц и скважностью 75%. Импульсный трансформатор в цепи коллектора транзистора с простейшими выходными выпрямителем  $VD1$ ,  $C1$  и стабилизатором  $R1$ ,  $VD2$  формирует на стабилитроне  $VD2$  отрицательное напряжение питания. Положительное напряжение питания формируют аналогичные цепи  $VD3$ ,  $C2$  и  $R2$ ,  $VD4$ . Если нестабильность выходного напряжения преобразователя должна быть меньше 1%, выходные стабилизаторы  $R1$ ,  $VD2$  и  $R2$ ,  $VD4$  можно заменить полупроводниковыми стабилизаторами типа 142ЕН1 или 142ЕН2 или воспользоваться дополнительным усилителем мощности. Требуемые напряжения  $\pm U_{\text{вых}}$  устанавливаются выбором соответствующих стабилитронов  $VD2$  и  $VD4$ .

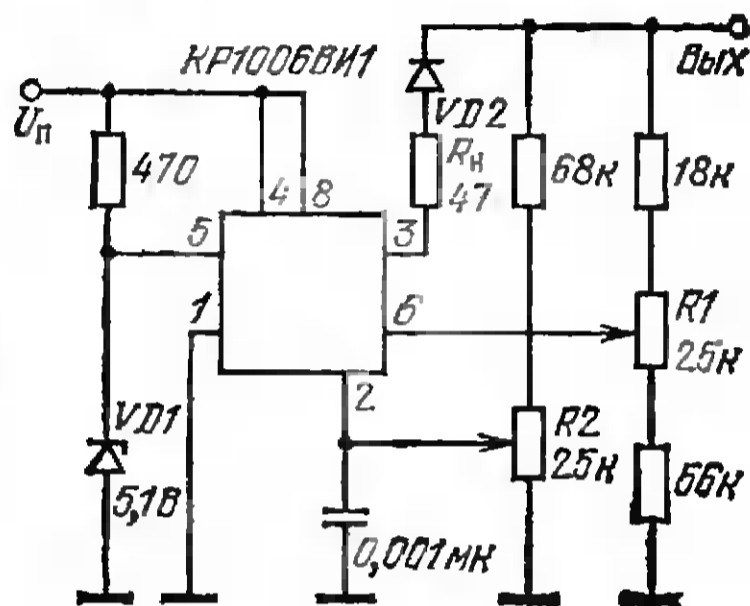


Рис. 5.7. Устройство для подзаряда батарей

Устройство для подзаряда с регулируемым диапазоном выходного напряжения можно построить на одном таймере (рис. 5.7) [35]. Стабилитроном  $VD1$  устанавливается напряжение меньше  $2U_{\text{п}}/3$  на выводе 5 таймера, что необходимо для обеспечения широкого диапазона регулирования  $U_{\text{вых}}$ . Потенциометром  $R1$  задается максимальное напряжение, до которого может быть подзаряжена батарея. Минимальное напряжение батареи, при котором устройство переходит в режим ее подзаряда, определяется потенциометром  $R2$ . Резистор  $R_{\text{н}}$  ограничивает выходной ток таймера, равный 200 мА. Диод  $VD2$  защищает батарею от разряда через выходную цепь таймера, когда выключено  $U_{\text{п}}$ . Конденсатор устраняет влияние колебаний во время переходного процесса установления выходного напряжения таймера. Такое устройство может быть подключено к батарее постоянно.

## 6. Таймеры в автомобильной и бытовой электронике

С момента выпуска первых полупроводниковых таймеров и до настоящего времени они остаются одними



из наиболее популярных среди радиолюбителей. Особенно широкое распространение получили таймеры в автомобильной электронике. Их используют во многих измерительных и управляющих электронных устройствах автомобиля — электронное зажигание, автомобильные сторожа, измерители скорости движения автомобиля и числа оборотов вала мотора, регуляторы напряжения, переключатели частоты работы стеклоочистителей. Таймеры используют в разнообразных устройствах бытовой автоматики — от «электронного ключа» входной двери до приборов управления радио и телеаппаратурой и электронных игр. Радиолюбители строят на таймерах синтезаторы музыкальных фраз, включаемые вместо телефонного звонка или звонка входной двери, электронные ключи Морзе, формирователи кодов опознавания, автоматически выдаваемых в эфир. Фотолюбители с помощью таймеров могут спроектировать простые устройства контроля и управления процессом создания высококачественных фотоснимков.

### 6.1. Автомобильная электроника

**Электронное зажигание**, упрощенная схема которого для легковых автомобилей (рис. 6.1) содержит два таймера; *D1* работает в режиме одновибратора, а *D2* в режиме управляемого мультивибратора [36]. Управляется устройство двухпозиционными переключателями, что позволяет полностью отключить его при нормальной работе собственного зажигания автомобиля. Питание на устройство подается одновременно с подключением его выхода к распределительной цепи зажигания. Одновибратор на таймере *D1* запускается выходным сигналом с катушки зажигания, обеспечивая синхронную работу устройства с прерывателем системы зажигания. Пока на выходе таймера *D1* поддерживается низкое напряжение, мультивибратор на *D2* генерирует импульсы с частотой, равной 2 кГц. На выходе усилителя мощности (УМ), нагруженном на трансформатор, развивается ток до 3 А, если напряжение аккумулятора превышает 8 В. Трансформатор с выпрямительным мостом на выходе преобразует низкое напряжение питания в первичной обмотке в высокое выходное напряжение около 500 В. За время формирования одновибратором одиночного импульса на выходе *D1* устанавливается высокое напряжение, которое открывает

тринистор. Происходит уменьшение большого анодного напряжения тринистора, и мощный импульс длительностью до 0,5 мс проходит через конденсатор  $C1$  в цепь зажигания. На время передачи энергии в нагрузку, мультивибратор запирается положительным выходным напряжением  $D1$ . Сигнал, отключающий мультивибратор, формирует цепь на транзисторе  $VT1$ . Эта цепь

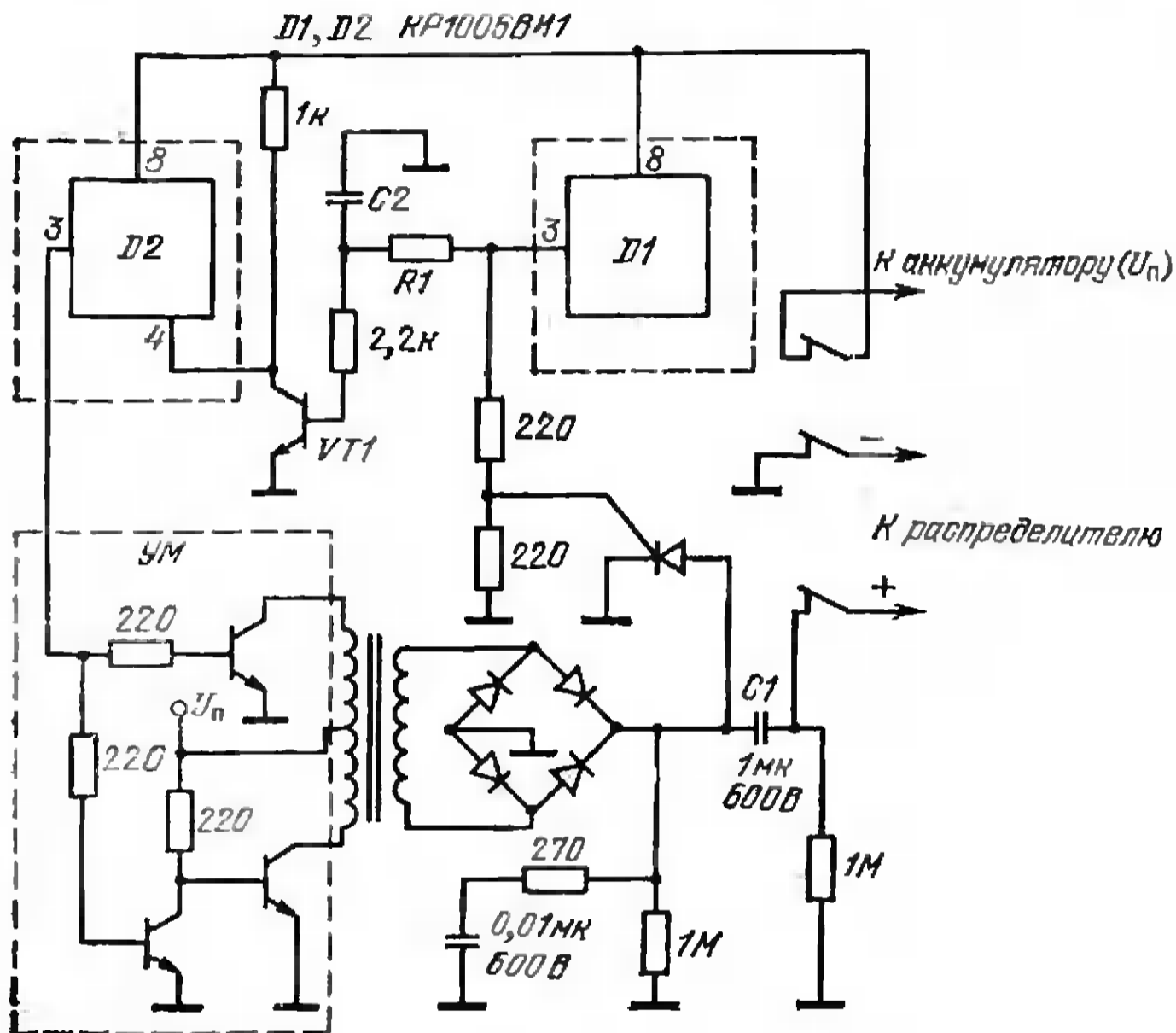


Рис. 6.1. Электронное зажигание

должна передавать сигнал выключения мультивибратора, длительность которого на 30% больше, чем время сохранения положительного напряжения на выходе  $D1$ . Дополнительную задержку сигнала обеспечивает цепь  $R1, C2$ . Выключение мультивибратора необходимо для устранения его влияния на время подачи мощного импульса в свечу зажигания. При первых срабатываниях электронного зажигания энергия импульса запуска составляет 25—30% от полной энергии, достигаемой при многократных включениях. Это объясняется тем, что после выключения тринистора только часть энергии из нагрузки возвращается в  $C1$  и при первых включениях зажигания требуется значительное время на пол-

ное восстановление энергии, затрачиваемой выходной цепью на возбуждение нагрузки. Если же интервалы подключения устройства не достаточно велики, то в первых тактах его работы затраченная энергия не успевает восстановиться. Благодаря применению таймеров генерируемые устройством сигналы практически не зависят от колебаний напряжения аккумулятора автомобиля.

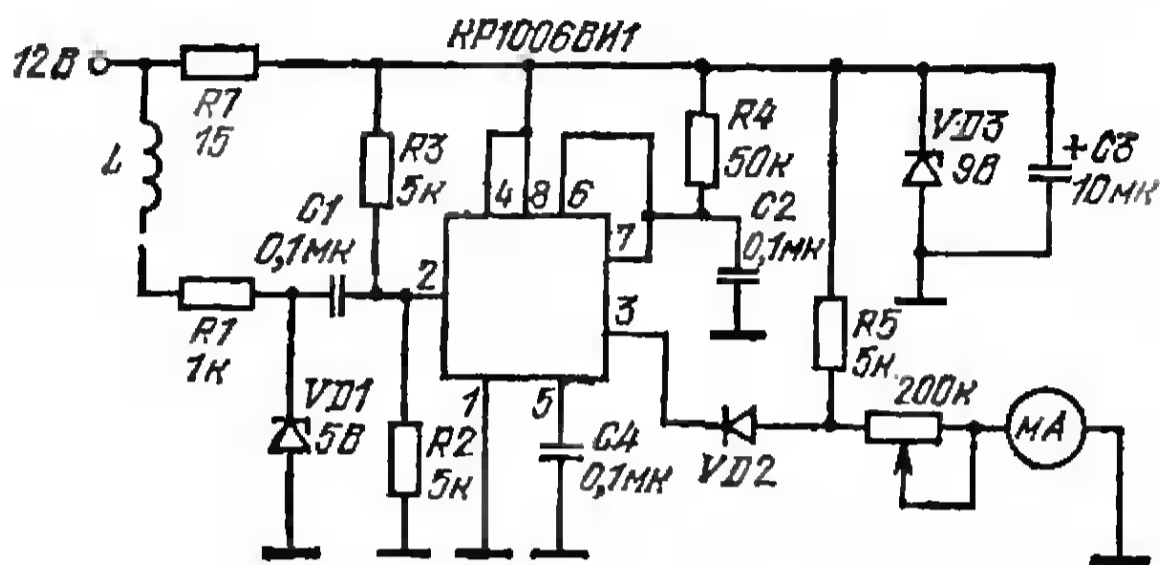


Рис. 6.2. Тахометр

**Тахометр**, позволяющий измерить число оборотов вала в двигателе автомобиля, можно построить на таймере, если использовать в качестве датчика сигнала выходы одной из обмоток  $L$  генератора (рис. 6.2). Индуцируемые в обмотке  $L$  сигналы формируются цепью  $R1, VD1$  для ограничения амплитуды импульсов до 5 В и поступают на триггерный вход таймера через конденсатор  $C1$ . Резистор  $R7$  и стабилитрон  $VD3$  формируют напряжение питания таймера, практически не зависящее от колебаний напряжения аккумулятора. Конденсатор  $C3$  шунтирует высокочастотные выбросы, попадающие в цепь питания таймера. Падение напряжения на стабилитроне  $VD1$  должно быть в два раза меньше, чем падение напряжения  $U_{D3}$  на  $VD3$ . В этом случае изменение напряжения на выводе 2 таймера находится в пределах  $0-U_{D3}$ , что необходимо для его нормальной работы (см. гл. 1). При подаче сигнала на триггерный вход таймера на его выходе устанавливается высокое напряжение на время  $1,1R_4C_2$ , в течение которого через микроамперметр течет ток, равный  $U_{D3}/(R_5+R_6)$ . Затем выходное напряжение таймера падает до 0,1 В и, пока на входе устройства не появится следующий импульс, ток в микроамперметре практически отсутствует.

Следовательно, чем больше число оборотов вала, тем больше среднее время поддержания тока в микроамперметре и тем дальше по шкале отклонится стрелка. Таким образом, число оборотов вала в секунду можно определить, отградуировав соответствующим образом шкалу микроамперметра. Для этого, заземлив катод диода  $VD2$ , устанавливается в нуль стрелка микроамперметра. Затем, отключив катод диода  $VD2$  от вывода 3, устанавливается максимальное отклонение стрелки микроамперметра регулировкой потенциометра [4]. В отградуированном таким образом микроамперметре максимальное отклонение стрелки будет соответствовать  $n=1/R_4C_2$  оборотов в секунду.

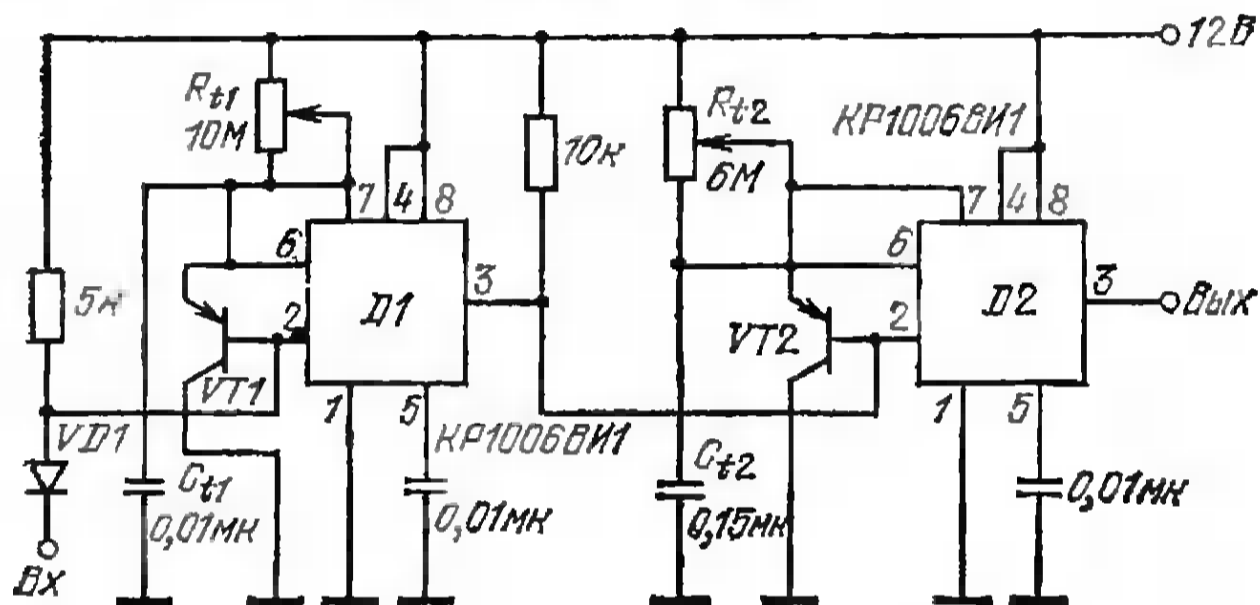


Рис. 6.3. Сигнализатор превышения скорости

Сигнализатор превышения скорости движения автомобиля строится на двух таймерах (рис. 6.3). Датчик входных сигналов может состоять из магнита и катушки индуктивности  $L$ , подключаемой ко входу схемы сигнализатора через цепь формирователя, аналогичную показанной на рис. 6.2 (цепь  $R1, C1, VD1$ ). Магнит, прикрепленный к тормозному барабану переднего колеса автомобиля, должен иметь минимальные размеры, чтобы не вызвать чувствительного разбаланса колеса. Вместе с тем размер магнита и его расстояние от катушки  $L$ , прикрепленной к тормозному щиту, должны быть достаточными, чтобы индуцировать в  $L$  ток, необходимый для управления  $D1$ .

Сигнализатор работает следующим образом. При подаче на вход короткого импульса амплитудой 8—12 В напряжение на выводе 2 таймера  $D1$  уменьшается до 4 В, а на его выходе устанавливается напряжение около 12 В. Хотя напряжение на выводе 2  $D1$  и

принимает сразу свое исходное значение, транзистор  $VT1$  закрывается и на выходе  $D1$  сохраняется высокий уровень, пока напряжение на конденсаторе  $C_{11}$  не увеличится до 8 В. Необходимое для заряда  $C_{11}$  время  $T_{н1} = (1-2)R_{11}C_{11}$  зависит от исходного напряжения на выводе 2. С выхода  $D1$  сигнал поступает на  $D2$ , включенный по схеме, аналогичной входной, но имеющей  $T_{н2} \approx 1,4R_{12}C_{12} > R_{11}C_{11}$ . Поэтому, пока частота входных импульсов таймера  $D1$  меньше установленной частоты  $f_y = 1/2\pi T_{п1}$ , напряжение на выводах 6, 7 таймера  $D2$  не успевает увеличиться до 8 В и напряжение на выходе сигнализатора поддерживается равным 12 В. Однако, как только частота входных импульсов сигнализатора  $f_{вх}$  становится больше  $f_y$ , напряжение на  $C_{11}$  не успевает увеличиться до 8 В и на выходе  $D1$  устанавливается напряжение 12 В на время  $t_3 > T_{н1}$ . Если  $t_3 > T_{н2}$ , то напряжение на  $C_{12}$  успевает увеличиться до 8 В и тогда выходное напряжение сигнализатора уменьшается до 0,1 В. Последнее означает, что скорость автомобиля превысила установленную скорость  $v_{max}$ . Подключив между выходом сигнализатора и цепью его питания лампочку или другое индикаторное устройство, выведенное в салон автомобиля, можно обеспечить сигнализацию превышения установленной скорости движения.

Необходимые параметры элементов схемы могут быть вычислены исходя из размеров колеса и желаемой максимальной скорости  $v_{max}$  движения автомобиля. Например, для колеса диаметром  $D$  сигнализатор сработает при  $f_y \approx v_{max}/3,6\pi D$ , где  $v_{max}$  измеряется в км/ч, а  $D$  — в м. Параметры  $R_{11}$  и  $C_{11}$  можно определить из равенства  $T_{н1} = R_{11}C_{11} = 3,6\pi D/v_{max}$ , а затем  $R_{12}$  и  $C_{12}$  выбрать из условия  $R_{12}C_{12} > 0,7R_{11}C_{11}$ . Тогда  $R_{11}$  задает скорость, превышение которой зафиксировано, а резистор  $R_{12}$  устанавливает задержку  $T_{н2}$  срабатывания сигнализатора. Последнее необходимо, чтобы избежать включения индикатора при непродолжительных превышениях установленной максимальной скорости, например при обгонах.

**Электронный сторож** — простейшее устройство, обеспечивающее надежную защиту автомобиля, можно построить на двух таймерах (рис. 6.4). Устройство подключается к аккумулятору автомобиля переключателем  $S1$ , размыкающим цепь зажигания. В исходном состоянии разомкнуты переключатели — датчики  $S4$  и пере-

ключатель  $S_2$ , вмонтированный в переднюю дверь около сидения водителя, и замкнуты  $S_3$  и  $S'_3$ , включающие устройство в режим «сторожа». Таймер  $D_1$  служит для двух целей, во-первых, он предохраняет устройство от срабатывания, пока водитель не покинул автомобиль, и, во-вторых, обеспечивает задержку срабатывания таймера  $D_2$  на время  $1,1R_{11}C_{11}$ , необходимое водителю для отключения сторожа. Перед тем как покинуть автомобиль, водитель открывает дверь и переключатель  $S_2$  замыкается, однако это не приводит к срабатыва-

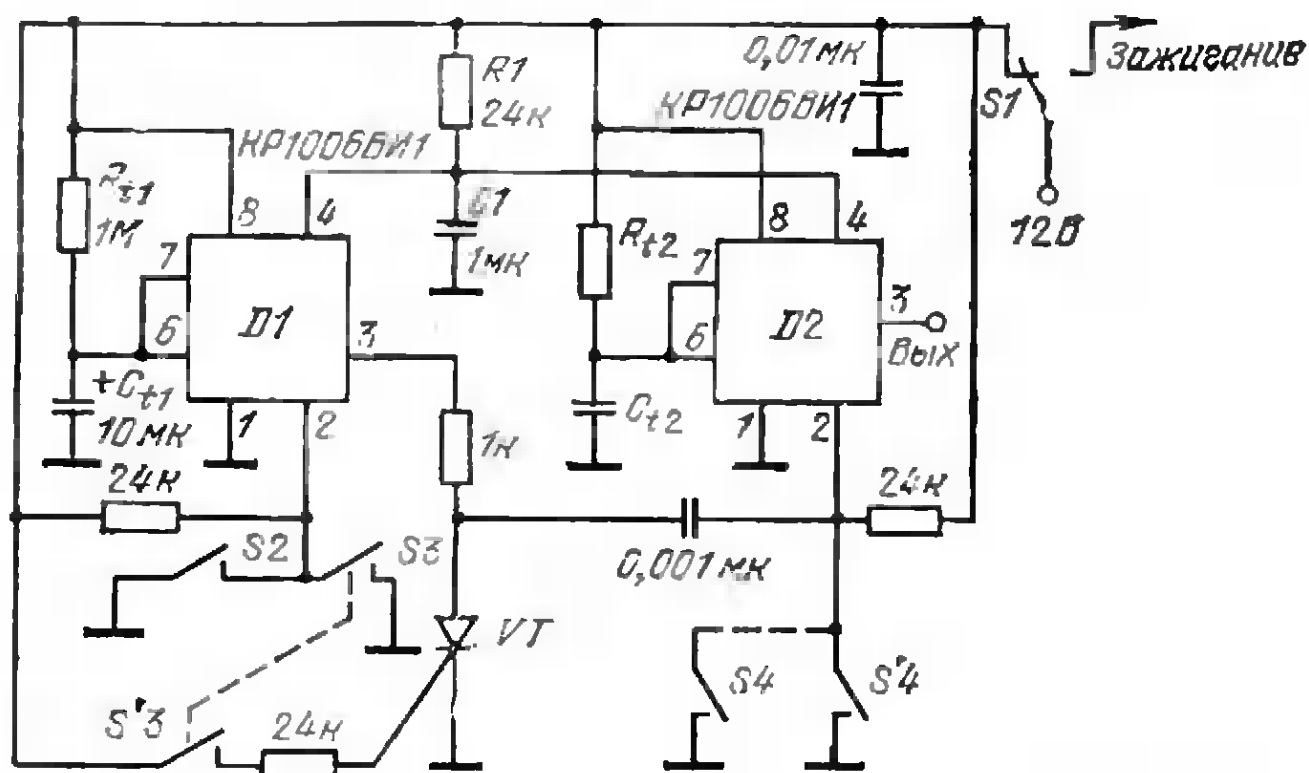


Рис. 6.4. Электронный сторож

нию сигнализации, поскольку  $S_3$  и  $S'_3$  замкнуты и возможные импульсы с выхода  $D_1$  шунтируются триодом  $VT$  и не проходят на триггерный вход  $D_2$ . Затем водитель размыкает переключатели  $S_3$  и  $S'_3$ , транзистор больше не шунтирует импульсы с выхода таймера  $D_1$ , но одновибратор на таймере  $D_1$  не запускается, так как остается замкнутым ключ  $S_2$ . Когда водитель покинул автомобиль и захлопнул дверь,  $S_2$  разомкнулся и устройство заработало в режиме «сторожа». Это значит, что при замыкании  $S_2$  или любого из переключателей — датчиков  $S_4$ , вмонтированных в двери, капот, багажник и т. д., таймер  $D_2$  сформирует на выходе импульс запуска звуковой сигнализации автомобиля на время  $1,1R_{12}C_{12}$ . Для приведенного на схеме одновибратора на таймере  $D_2$  может быть получена продолжительность звукового сигнала до нескольких минут, что во многих случаях оказывается доста-

точным и не приводит к разрядке аккумуляторов автомобиля.

Когда водитель возвращается в автомобиль, он открывает переднюю дверь и переключатель  $S2$  замыкается. Вследствие этого на выводе 2 таймера  $D1$  формируется срез положительного импульса и первый одновибратор формирует на выходе импульс амплитудой

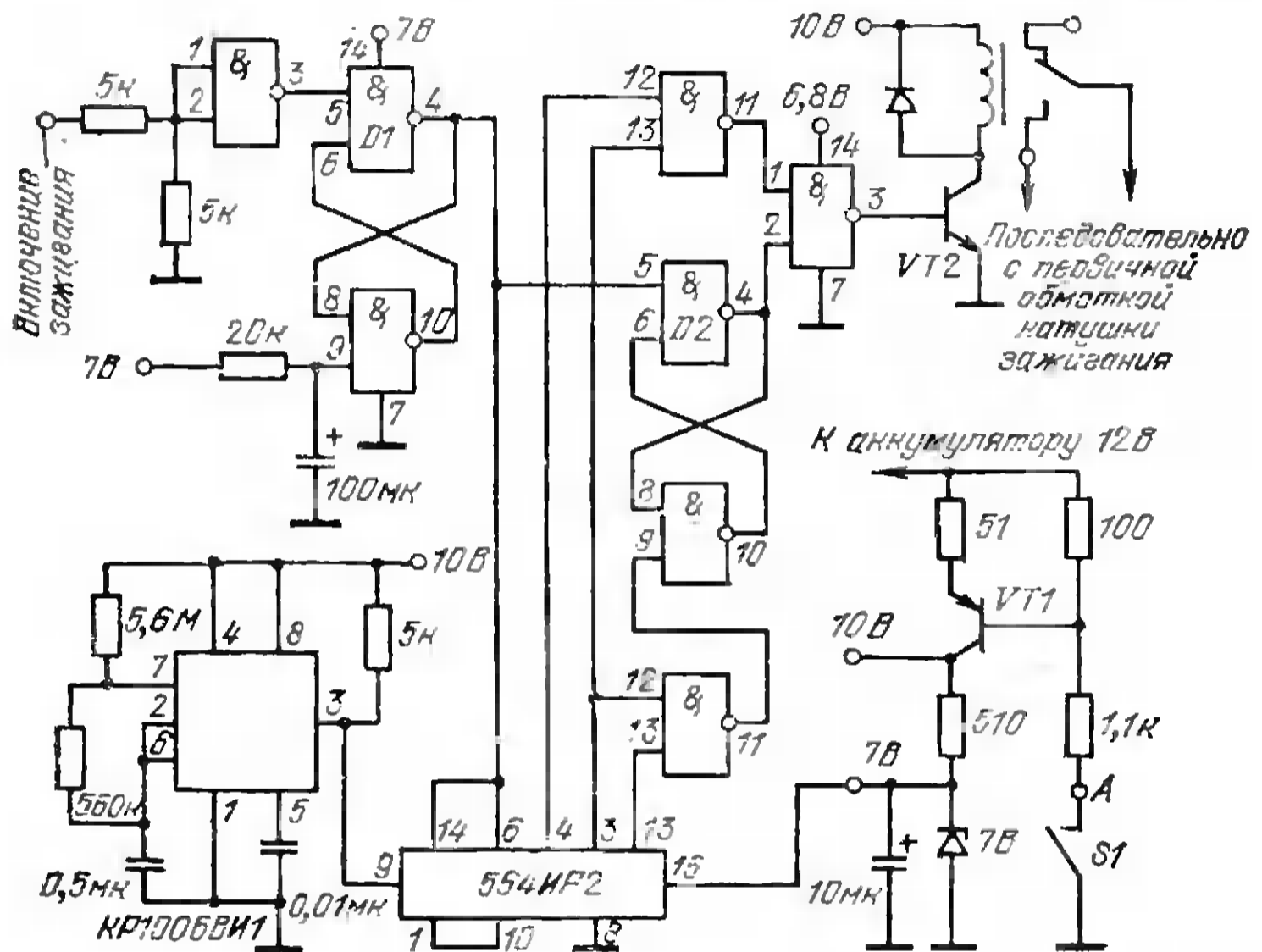


Рис. 6.5. Имитатор неисправности двигателя автомобиля ( $D1, D2$ —564ЛА7)

$U_{п}$  и длительностью  $1,1R_{т1}C_{т1}$ . Если  $S3$  остается разомкнут, то по истечении этого времени срез положительного импульса с выхода  $D1$  запустит одновибратор на  $D2$  и, следовательно, сработает звуковая сигнализация. Чтобы этого не произошло, водитель в течение времени  $1,1R_{т1}C_{т1}$  должен замкнуть  $S3$ , благодаря чему будет открыт транзистор и импульс с выхода  $D1$  не пройдет в цепь запуска второго одновибратора. Для приведенных на схеме значений  $R_{т1}, C_{т1}$  это время равно 10 с. Если же водитель по каким-то причинам не замкнул  $S3, S'3$ , то выключить звуковой сигнал можно только разомкнув  $S1$ . Использование таймера  $D1$  позволяет избежать применения легко доступной цепи внешнего включения защиты, используемой в анало-

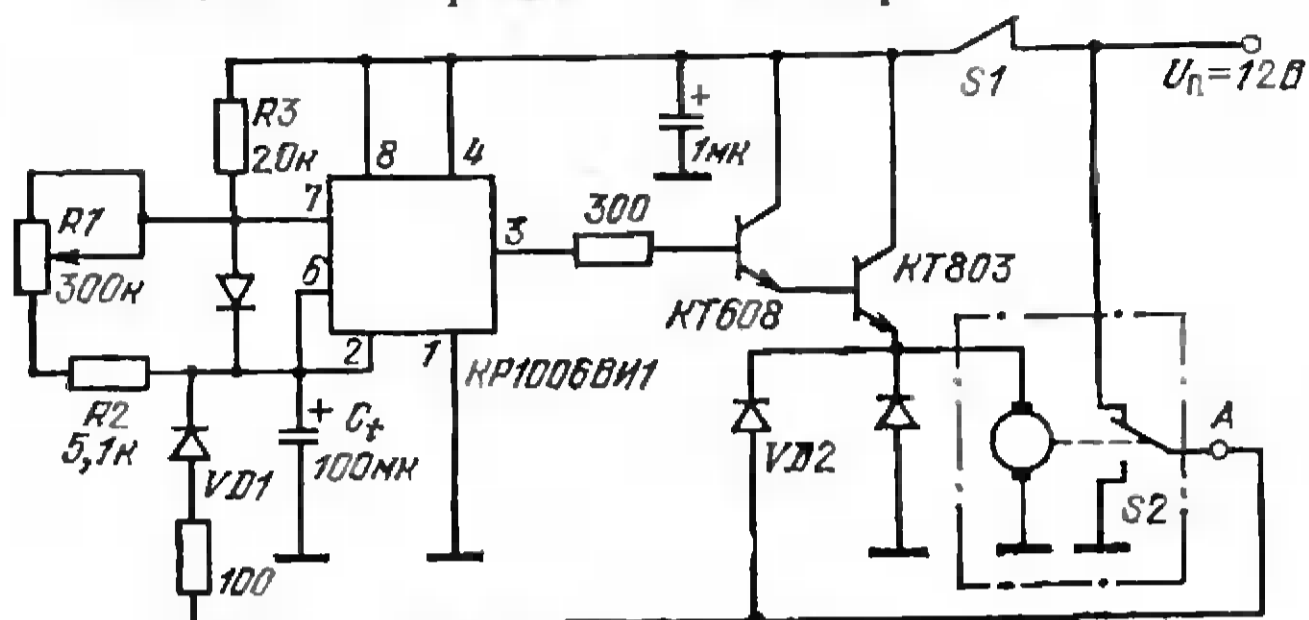
гичных устройствах и располагаемой под крыльями, на днище автомобиля и т. д. Цепь  $R1, C1$  обеспечивает общий сброс таймеров, т. е. установку их выходного напряжения в нуль, при включении питания устройства переключателем  $S1$ .

**Имитатор неисправности двигателя** (рис. 6.5) защищает автомобиль от угона, если водитель не включил охранную сигнализацию [37]. Устройство обеспечивает нормальный запуск двигателя, а спустя 12 с размыкает цепь катушки зажигания, в результате чего двигатель глохнет. Через 4 с цепь катушки замыкается и двигатель можно снова запустить, но уже только на 10 с. После двух неудачных попыток, похититель, отъехав на небольшое расстояние, оставит по его мнению неисправный автомобиль. Устройство включается замаскированным переключателем  $S1$ . Некурящие водители могут замаскировать  $S1$  в зажигалке, провод которой отключается от аккумулятора и соединяется со схемой в точке  $A$ . Для дополнительной защиты можно выключатель зажигания соединить последовательно с переключателем  $S1$ . Схема защиты включается при заземлении точки  $A$ . При включении зажигания срабатывает триггер  $D1$  и импульсы с выхода таймера поступают на сдвигающий 8-разрядный регистр. Спустя 12 с, т. е. после приема шести импульсов, вентили НЕ—И открывают  $VT2$ , размыкается реле и двигатель глохнет. После того как в регистр поступят еще два импульса от таймера, вентили НЕ—И закроют  $VT2$  и запуск двигателя можно возобновить. Когда похититель включает зажигание в третий раз, то срабатывает триггер  $D2$  и запуск двигателя блокируется до замыкания  $S1$ . Подключив выводы 5 и 12 сдвигающего регистра к дополнительному двухходовому вентилю НЕ—И, управляющему звуковым или световым сигналом, через 60 с можно получить сигнал тревоги. Потребляемый устройством ток в режиме сторожа не превышает 10 мА.

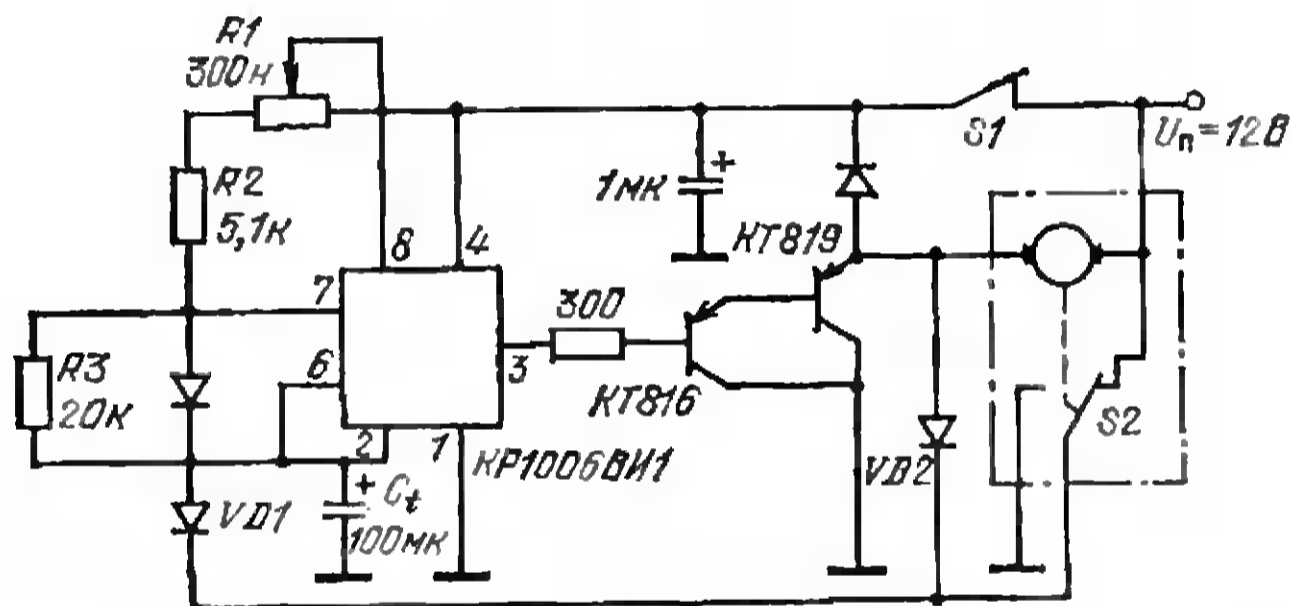
**Управление работой стеклоочистителей.** Для получения регулируемой задержки между циклами работы щеток стеклоочистителей автомобиля применяется таймер с обратной связью по цепи сигнала, поступающего с кулачкового переключателя, расположенного на валу электродвигателя стеклоочистителей (рис. 6.6). Таймер использует этот сигнал для синхронизации времени задержки с положением щеток. Максимальное время задержки составляет 22 с, что вполне достаточно при



сильном тумане или морозящем дожде. Время задержки регулируется потенциометром  $R1$  и может быть уменьшено до нуля, а точнее до значения задержки стандартного стеклоочистителя, рассчитанного на сильный дождь [38]. При включенном устройстве ( $S1$  замкнут) выходное напряжение таймера около 12 В, на



а)



б)

Рис. 6.6. Регулирование ритма работы «дворников» автомобиля с постоянно заземленным (а) и постоянно подключенным к аккумулятору (б) двигателем стеклоочистителя

двигатель стеклоочистителя через составной транзистор подано питание и кулачковый переключатель  $S2$  заземляет точку  $A$ . Когда щетки отклонятся от своего начального положения примерно на  $5^\circ$ , кулачковый переключатель соединит точку  $A$  с напряжением питания  $U_{п}$ . Это напряжение через диод  $VD1$  подается на пороговый вход таймера и, когда оно станет больше  $2U_{п}/3$ , выходное напряжение таймера упадет до нуля. Однако работа двигателя не прекращается, так как на него напряжение питания подается через диод  $VD2$ . Когда щетки достигнут максимального отклонения и начнут

двигаться к своему начальному положению,  $S2$  переключается и заземляет точку  $A$ . Теперь двигатель прекращает работу на время уменьшения напряжения на конденсаторе  $C_1$  от  $U_{\text{п}}$  до  $U_{\text{п}}/3$ . Это время  $t_3 = 1,5R_1C_1$ , где  $R_1 = R_1 + R_2 + R_3$ . Через время  $t_3$  на выходе таймера вновь устанавливается высокое напряжение, запускается двигатель стеклоочистителя и повторяется описанный цикл работы устройства. Показанная на рис. 6.6,а

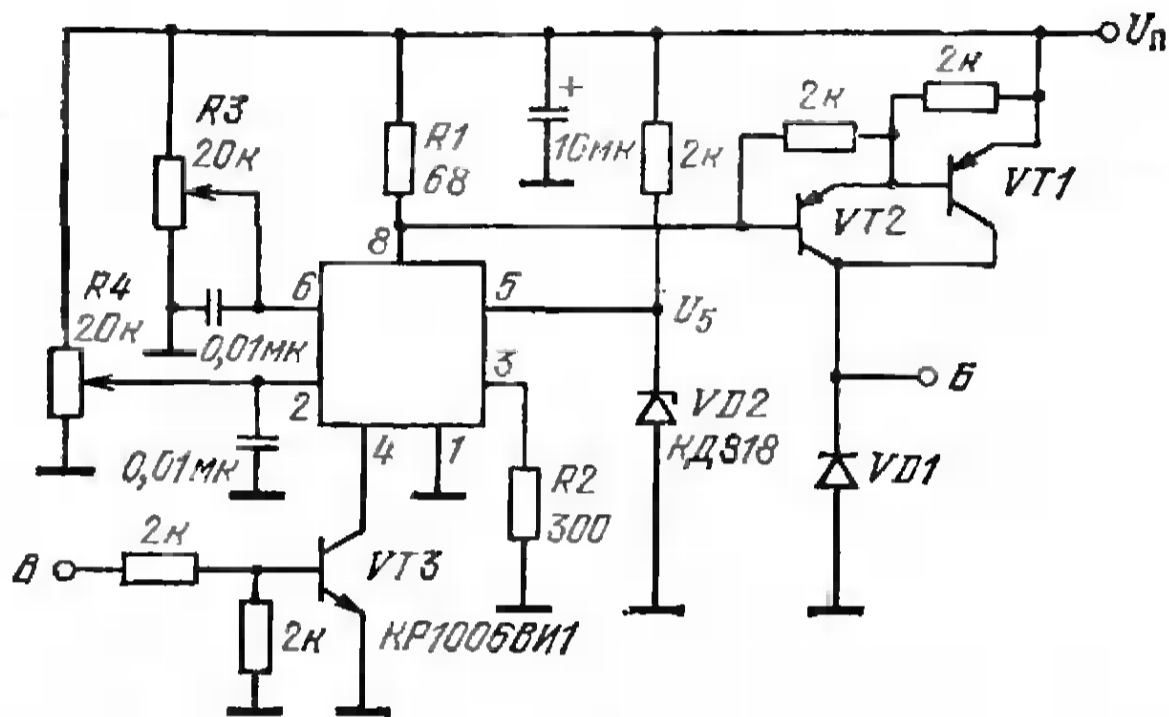


Рис. 6.7. Автомобильный регулятор напряжения

схема применяется в автомобиле с постоянно заземленным выводом двигателя стеклоочистителя. Если один вывод двигателя постоянно соединен с положительным полюсом источника питания, то можно воспользоваться схемой, показанной на рис. 6.6,б, работа которой идентична работе первой схемы.

**Автомобильный регулятор напряжения.** Используя таймер и мощный транзистор, можно построить регулятор напряжения аккумулятора (рис. 6.7) [39]. Сопротивление резистора  $R1$  выбирается с таким расчетом, чтобы составной транзистор  $VT1, VT2$  оставался закрытым при напряжении  $U_3 \approx 0$  на выходе таймера, т. е.  $R_1 I_{\text{пв}} < 1$  В, где  $I_{\text{пв}}$  — ток, протекающий через  $R1$  при  $U_3 \approx 0$ . Когда напряжение аккумулятора уменьшится настолько, что на выводе 2 напряжение  $U_2 < U_5/2$ , напряжение  $U_3$  изменяется от 0 до  $U_{\text{п}} - 2U_{\text{эб}}$ . В этом режиме работы схемы ток через  $R1$  должен быть достаточным, чтобы открылся составной транзистор. Следовательно, сопротивление  $R2$  должно определяться из условия  $(U_{\text{пв}} - 2U_{\text{эб}}) R_1 / 2U_{\text{эб}} > R_2$ , где  $2U_{\text{эб}} \approx 1,6$  В — суммарное падение напряжения на эмиттер-

но-базовых переходах  $VT1$  и  $VT2$ ;  $U_{\text{нн}}$  — номинальное напряжение аккумулятора. Через открытый составной транзистор ток поступает в обмотку реле (подключенную к точке  $B$ ), замыкающего выход генератора с положительной клеммой аккумулятора. Диод  $VD1$  включен в коллекторную цепь составного транзистора для подавления отрицательного выброса напряжения, который возникает при выключении составного транзистора. При отсутствии в схеме диода  $VD1$  транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  могут выйти из строя из-за чрезмерного напряжения между их коллекторами и эмиттерами. Максимальное напряжение на аккумуляторе, при котором он отключается от генератора, задается резистором  $R3$ . Напряжение на выводе  $b$  устанавливается на  $0,5\text{—}1$  В меньше напряжения  $U_5$ . Минимальное напряжение аккумулятора задается резистором  $R4$  так, чтобы  $U_2 \approx U_5/2$ . Для отключения устройства от аккумулятора при включении стартера в схему введен транзистор  $VT3$ . Точка  $B$  подключается к системе зажигания так, чтобы при включении стартера транзистор  $VT3$  открывался (например,  $U_B > 2$  В подается в точку  $B$ ). В этом случае транзистор насыщается, на выводах  $4$  и  $3$  таймера устанавливается низкое напряжение и составной транзистор закрыт. После запуска двигателя и выключения стартера регулятор напряжения вновь включается.

## 6.2. Бытовая электроника

**Таймеры в телефонии.** В современных телефонных линиях тратится значительная (часто бесполезно) мощность на работу телефонного звонка в течение вызова абонента. Существенно уменьшить эту мощность позволяет использование оптронной пары диод — транзистор, включенной между двухпроводной телефонной линией и вызывным устройством (рис. 6.8,а) [40].

Устройство работает следующим образом. Сигнал вызова амплитудой  $U_B \approx 100$  В и частотой 20 Гц (или любой другой, используемой в данной АТС) поступает через конденсатор  $C1$  на выпрямительный диодный мост. Емкость  $C1$  необходимо выбирать так, чтобы переменный ток, протекающий через этот конденсатор, обеспечивал нормальную работу оптрона. Если входной рабочий ток оптрона  $I_{\text{ор}}$ , то сопротивление конденсатора на частоте вызова  $f_B$  должно быть  $1/2\pi f_B C1 \approx$

$\approx U_{в}/I_{ор}$ . Для приведенных на схеме значений параметров элементов  $I_{ор} \approx 10$  мА. На выходе диодного моста частота сигнала удваивается. С выхода оптронной пары сигнал, частота которого равна  $2f_{в}$ , поступает в цепь сброса таймера, работающего в режиме мультивибратора. Собственная частота выходного сигнала таймера в зависимости от желаемого абонентом тона

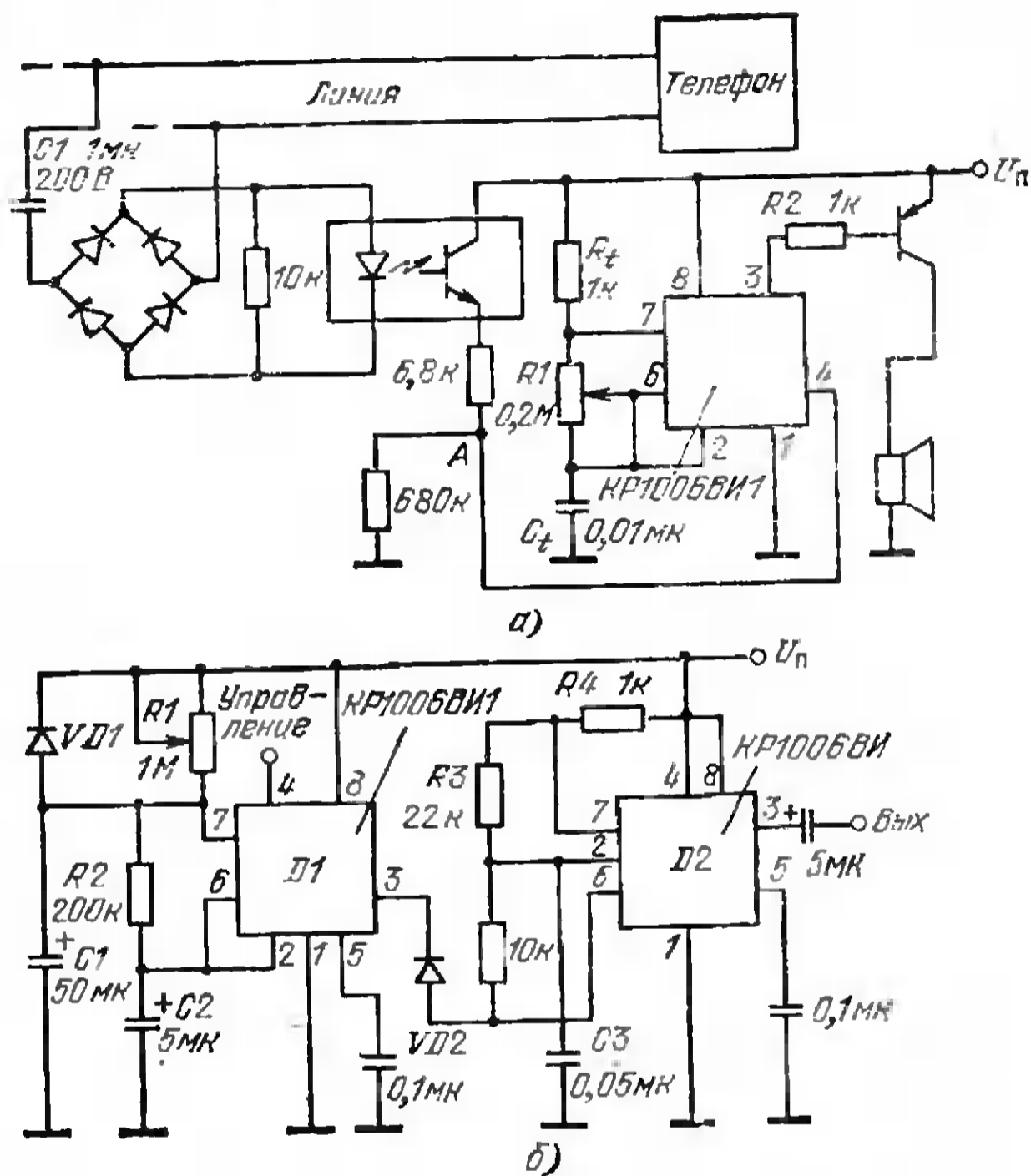


Рис. 6.8. Вызывное устройство (а) и генератор тональных посылок (б) для него

звуча устанавливается  $R1$ . Выходной сигнал таймера можно без дополнительного усиления (через разделительный конденсатор) подать на небольшой громкоговоритель. Если получаемой от таймера мощности недостаточно, то к выходу подключают дополнительный усилитель (см. рис. 6.8,а). Резистор  $R2$  можно использовать для регулировки громкости звукового сигнала. При отсутствии вызова устройство потребляет от источника питания  $I_{п} \approx 10$  мА.

Чтобы получить периодический сигнал вызова, показанную на рис. 6.8,а схему необходимо дополнить вторым мультивибратором, периодически выключающим генератор звукового сигнала (рис. 6.8,б). Это устройство, называемое генератором тональных посылок, подключается по цепи сброса первого таймера к точке А схемы на рис. 6.8,а. Обычный транзисторный генератор тональных посылок строится на трех времязадающих структурах, две из которых управляют длительностью посылки (начало и конец), а третья задает частоту ее заполнения. В таких генераторах длительность первой посылки, как правило, в два раза больше, чем последующих, так как начальный период заряда времязадающего конденсатора структур, формирующих посылку, больше последующих периодов. Применение таймеров (рис. 6.8,б) позволяет устранить этот недостаток. Таймер  $D1$  работает в режиме мультивибратора. Напряжение на выводе 6 поддерживается цепью  $R2, C2$  равным  $U_{\Pi}$  в течение времени больше необходимого для полного разряда конденсатора  $C1$  основной времязадающей цепи  $R1, C1$ . Благодаря этому, как для первой, так и для последующих посылок периоды выходных сигналов таймера  $D1$  одинаковы. Длительность посылки, т. е. время в течение которого сохраняется высокое напряжение на выходе таймера, равна  $1,1R_1(C_1+C_2)$ . Время между посылками, равное 0,7, определяет длительность низкого уровня напряжения на выходе  $D1$ . Для приведенных на схеме значений элементов длительность посылки равна 1 с, а интервал между посылками около 3 с. В течение посылки мультивибратор на таймере  $D2$  генерирует колебания звуковой частоты  $f_r=1,44(2R_3+R_4)C_3$ . При низком выходе  $D1$  на выводе 6 таймера  $D2$  напряжение равно  $U_{\text{д}}+0,2$  В, где  $U_{\text{д}}$  — напряжение на диоде  $VD2$ . Поэтому генерирование таймером  $D2$  звукового сигнала прекращается. Для световой индикации прохождения посылок к выходу может быть подключен световой индикатор. К выходу  $D2$  подключается динамик, возбуждаемый сигналами с частотой 600 Гц для приведенных на схеме значений внешних элементов. Генератор тональных посылок можно применить для контроля длительности телефонных разговоров или для организации периодически повторяющейся трансляции по радиосети.

Хотя в рассмотренных генераторах может регули-

роваться тон звукового сигнала и его периодичность, в любом случае это звуковой сигнал одной частоты. Вместе с тем использование таймеров позволяет строить генератор музыкального вызова, синтезированного из нескольких пачек импульсов звуковой частоты. Простейший синтезатор музыкальной фразы из популярной песни можно построить на двух таймерах и

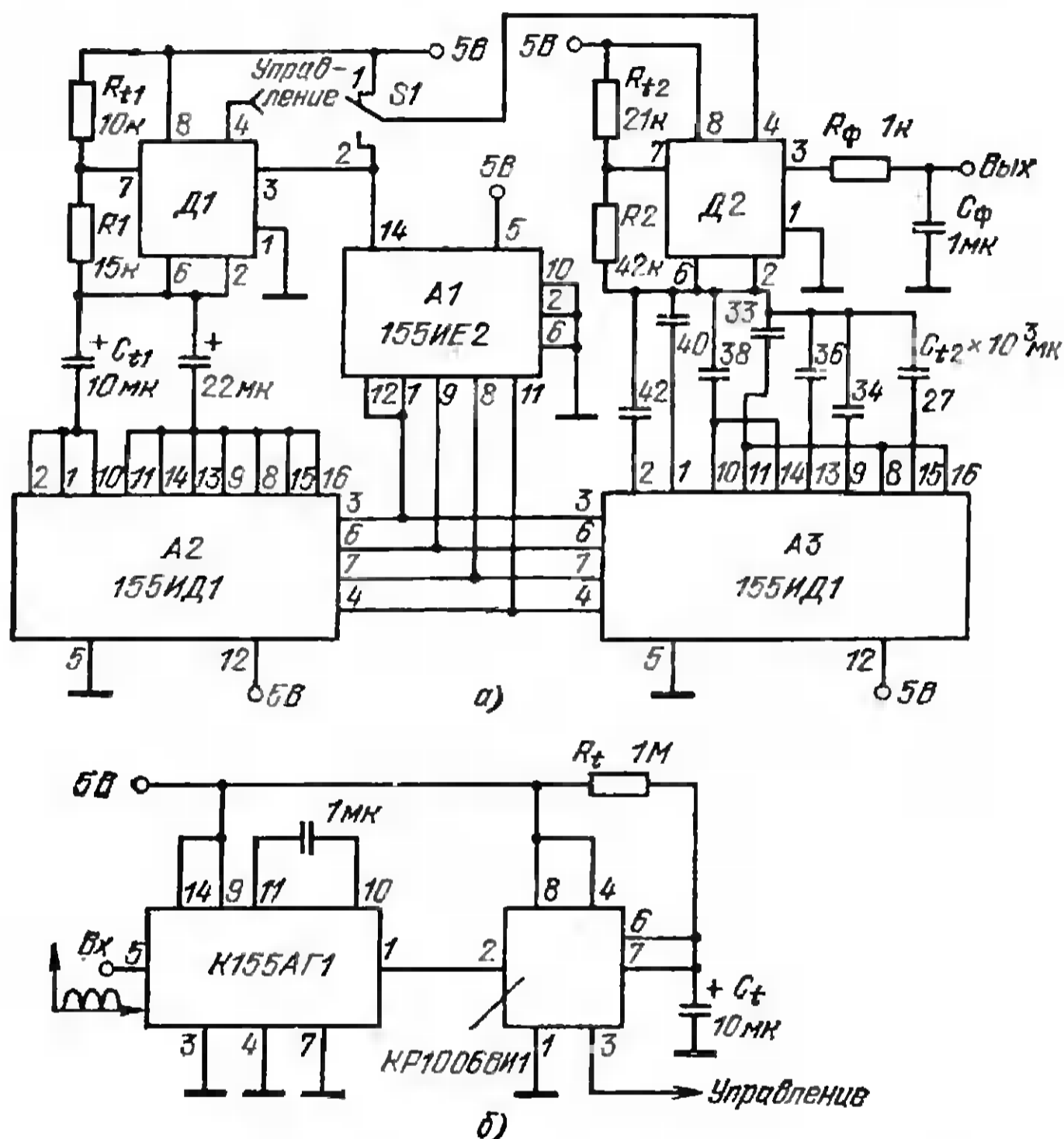


Рис. 6.9. Синтезатор музыкальной фразы (а) со схемой сопряжения (б)

трех цифровых ИС средней степени интеграции (рис. 6.9). Таймер  $D1$  генерирует тональные посылки, а таймер  $D2$  заполняет эти посылки сигналами соответствующей звуковой частоты. Показанная схема может быть использована и в качестве музыкального сигнализатора вместо дверного звонка.

Устройство работает следующим образом. При соединении входа управления таймера  $D1$  с шиной пита-

ния устройство включается и начинает периодически повторять мелодию. Количество повторений мелодии можно задать таймером, работающим в режиме мультивибратора подключив его к управляющему входу. В течение одной музыкальной фразы мультивибратор на  $D1$  генерирует импульсные посылки с частотой  $f_{\pi} = 1,44 / (R_{11} + 2R_1) C_{11}$  и управляет работой десятичного счетчика  $A1$ , формирующего на выходе 4-разрядное слово. Выходы счетчика подключены ко входам двух дешифраторов  $A2$ ,  $A3$  типа «1 из 10», первый из которых управляет длительностью формируемых  $D1$  посылок, а второй определяет частоту звуковых сигналов, генерируемых мультивибратором в пределах данной посылки. Частота генерируемых  $D2$  звуковых сигналов.  $f_{\tau} = 1,44 / (R_{12} + 2R_2) C_{12}$ . В приведенной схеме длительность первых семи нот в 2 раза больше длительности остальных. Подключив ко всем выходам  $A2$  отдельные конденсаторы, как в дешифраторе  $A3$ , можно получить различную длительность всех посылок. Если  $S1$  соединяет вывод 4 таймера  $D2$  с шиной питания, то переход между нотами осуществляется плавно. Когда требуется получить резкие переходы от одной ноты к другой, то необходимо соединить вывод 4 таймера  $D2$  с выходом  $D1$ . Выходное напряжение  $D2$  представляет собой последовательность импульсных сигналов. Поэтому, чтобы придать синтезированной музыкальной фразе более естественное звучание, необходимо удалить из нее высокочастотные гармоники. Для этого к выходу таймера подключен фильтр высоких частот, выполненный в виде  $R_{\phi}C_{\phi}$ -цепи. В обоих таймерах выводы 5 должны быть зашунтированы конденсаторами емкостью 0,01 мкФ для уменьшения действия помех по цепи питания.

Подключить синтезатор к телефонной линии можно, используя описанную выше (рис. 6.8,а) оптронную пару и приведенную на рис. 6.9,б схему сопряжения [41]. Последняя соединяется своим входом с точкой  $A$  резисторов в цепи эмиттера транзистора оптронной пары. Выходной сигнал схемы сопряжения подается на вход управления таймера  $D1$  на рис. 6.9,а. Поступающий на вход схемы сопряжения выпрямленных на двухполупериодном мосте низкочастотный синусоидальный сигнал преобразуется в прямоугольные короткие импульсы с крутыми фронтами. Таймер на рис. 6.9,б работает в режиме мультивибратора, запускаемого сре-

зом положительного входного импульса, и генерирует управляющий сигнал длительностью  $t_y \approx R_1 C_1$ . Для приведенных на рис. 6.9,б значений элементов  $t_y = 10$  с. В течение этого времени одновибратор не реагирует на входные импульсы. Формирование схемой сопряжения сигнала будет повторяться до тех пор, пока не снята трубка вызываемого абонента или не опущена трубка вызывающего телефона.

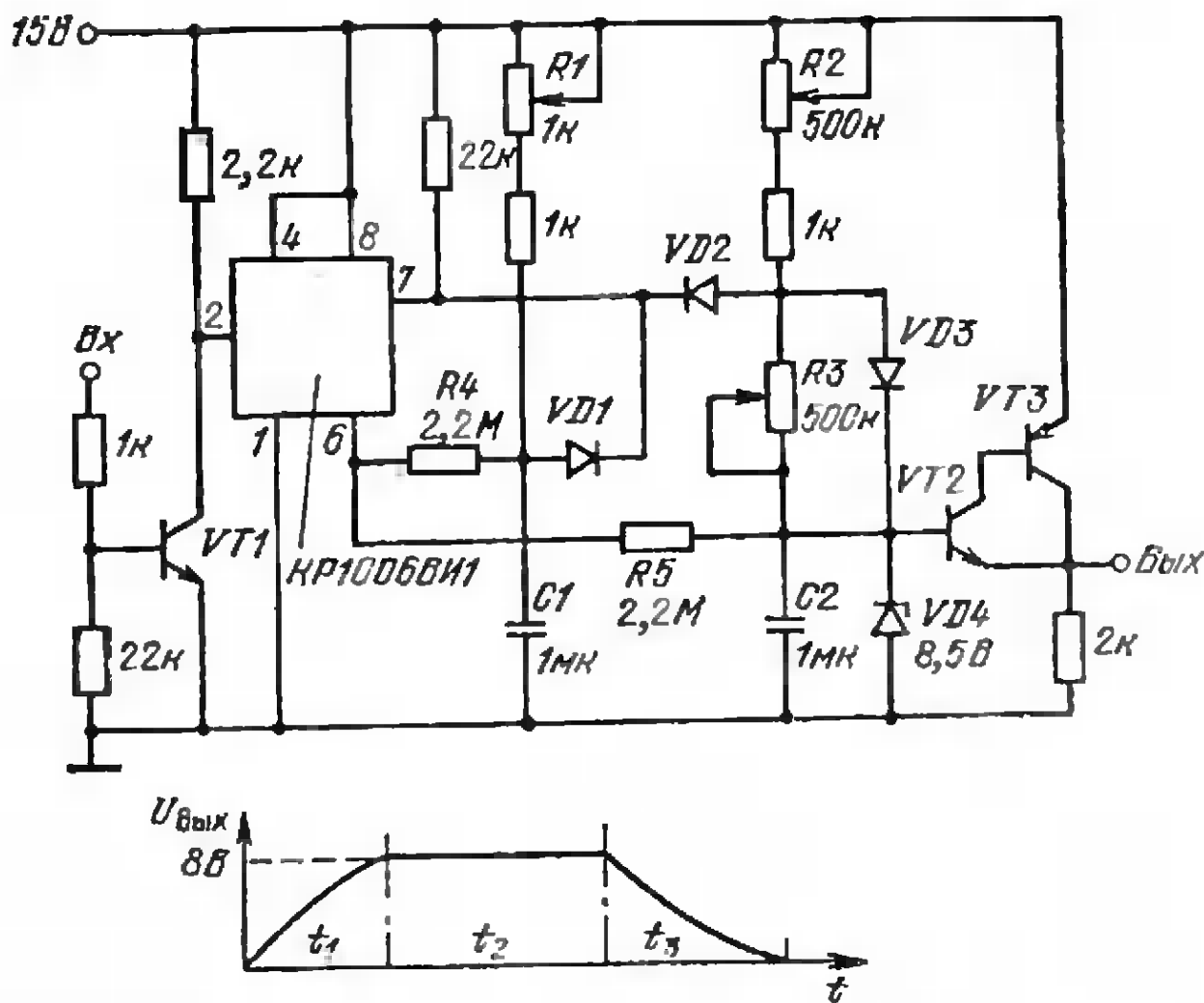


Рис. 6.10. Генератор простого трапецеидального сигнала

**Устройства для синтезаторов музыки.** Генератор трапецеидального сигнала, используемого в электронных синтезаторах музыки, показан на рис. 6.10. Устройство обеспечивает регулирование в широких пределах времени нарастания  $t_1$ , времени тона  $t_2$  и времени спада  $t_3$  трапецеидального сигнала. Генератор запускается положительными импульсами напряжения амплитудой 1 В, формируемыми на клавиатурном пульте управления синтезатора музыки. Транзистор  $VT1$  формирует из положительного управляющего фронта отрицательный, требуемый таймером. При поступлении управляющего сигнала на вход устройства нарастает напряжение на выводе 7 таймера, диоды  $VD1$ ,  $VD2$  запираются и времязадающие конденсаторы  $C1$  и  $C2$  заряжаются соответственно через  $R1$  и  $R2$ . Потенциометром  $R1$



можно регулировать  $t_2$  выходного сигнала, а потенциометром  $R2$  время  $t_1$ . Время  $t_1$  заряда  $C2$  определяется длительностью увеличения потенциала на  $C2$  до рабочего напряжения стабилитрона  $VD4$ . Конденсатор  $C1$  продолжает заряжаться, пока напряжение на выводе 6 таймера не достигнет 10 В. После этого напряжение

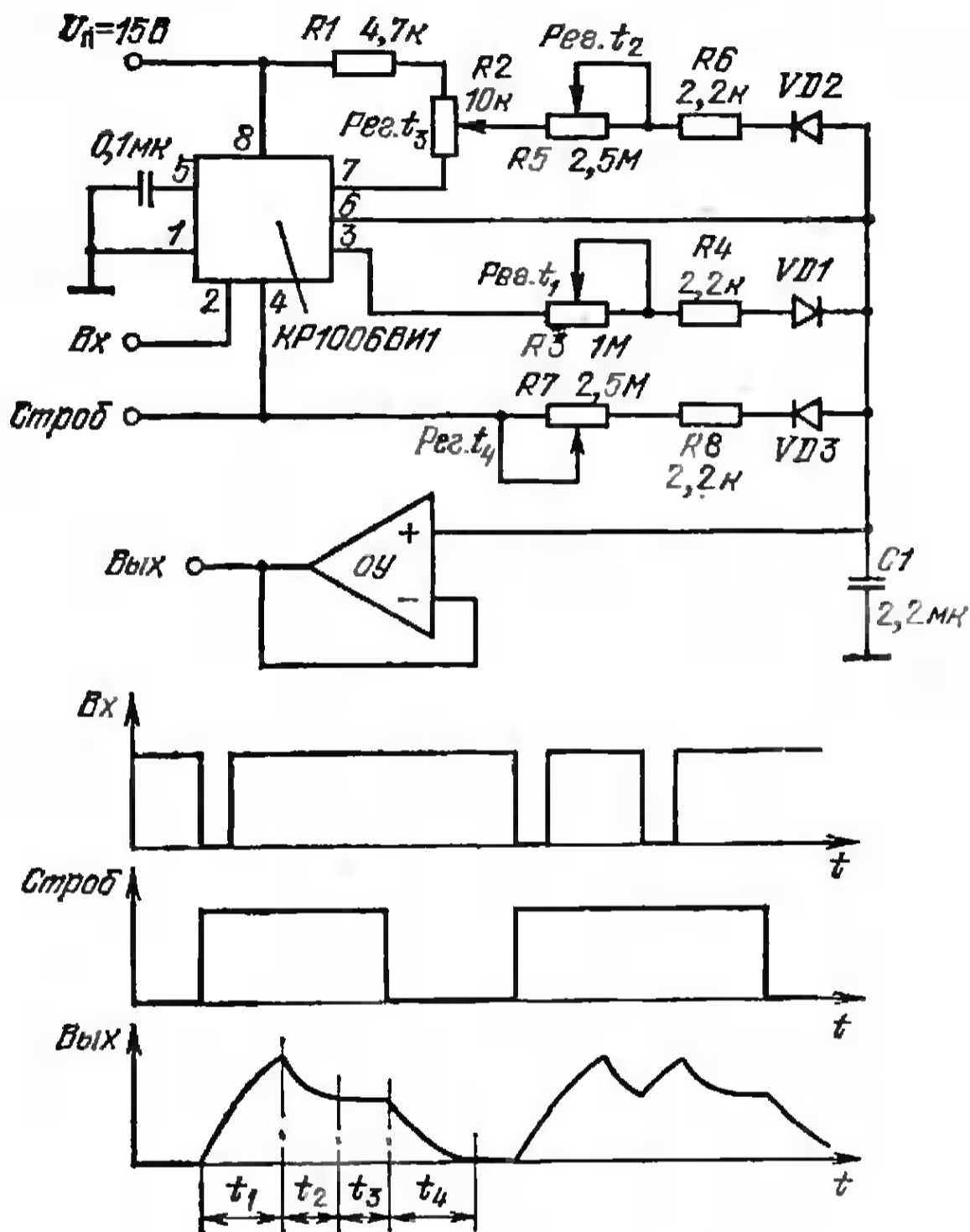


Рис. 6.11. Генератор сложного трапецидального сигнала

на выводе 7 падает до нуля и конденсаторы  $C1$  и  $C2$  разряжаются соответственно через открытые диоды  $VD1$  и  $VD2$ . Поскольку в цепь разряда  $C2$  включен резистор  $R3$ , время  $t_3$  выходного сигнала будет определяться постоянной времени цепи  $R3, C2$ . Для формирования идеального трапецидального сигнала резисторы  $R1-R3$  можно заменить генераторами регулируемого тока. Однако, как показывает опыт, отличие формируемой трапеции от идеальной на слух не воспринимается [42].

Для формирования более сложного сигнала, включающего четыре участка (экспоненциальное нарастание, начальное затухание, горизонтальный участок и экспоненциальный спад), применяют схему, показанную на рис. 6.11 [43]. Больше, чем в рассмотренной выше схеме, разнообразие форм генерируемых сигналов обеспечивается их регулировкой на всех четырех участках. Сигналы формируются в процессе перезаряда конденсатора  $C1$ . Таймер управляется двумя сигналами, поступающими с клавиатуры большинства синтезаторов—стробирующим, сохраняющим высокий потенциал и запускающим в виде отрицательных импульсов. Благодаря такой комбинации сигналов отпадает необходимость в возврате каждой клавиши в исходное состояние перед тем, как нажать на следующую.

Устройство работает следующим образом. При низком потенциале в цепи «Строб»  $C1$  разряжен. В момент подачи сигналов на вход и в цепь стробирующего сигнала, напряжение на выходе таймера изменяется от 0 до  $U_{\text{п}}$  и  $C1$  заряжается через резисторы  $R3$ ,  $R4$  и диод  $VD1$ , формируя экспоненциально нарастающую часть выходного сигнала. В этом временном интервале  $t_1$  диод  $VD2$  закрыт, поскольку напряжение на выводе 7 таймера выше, чем на  $C1$ . Диод  $VD3$  также закрыт высоким напряжением сигнала в цепи стробирующего сигнала. Когда напряжение на  $C1$  достигает 10 В, на выходах таймера напряжение уменьшается до нуля и завершается формирование интервала  $t_1$ . Диоды  $VD1$  и  $VD3$  закрываются и  $C1$  заряжается через  $VD2$  и  $R5$ ,  $R6$ , формируя время  $t_2$  начального затухания. Напряжение горизонтального участка определяется делителем  $R1$ ,  $R2$ . В течение времени  $t_3$ , можно получить повторное нарастание и начальное затухание. При переключении сигнала в цепи «строб» в исходное состояние  $C1$  разряжается через  $VD3$  и  $R7$ ,  $R8$ , формируя конечный участок экспоненциального спада длительностью  $t_4$ . Роль буферного каскада выполняет ОУ. Его входной ток должен быть минимален, чтобы  $C1$  не разряжался за время  $t_3$  формирования длительных музыкальных тонов. Поэтому целесообразно использовать ОУ 140УД8 или 544УД1 с полевыми транзисторами на входе.

**Таймеры в фотоаппаратуре.** Фотолюбитель может собрать на таймерах простые программируемые часы, вырабатывающие сигнал оповещения через заданное

время (рис. 6.12). Устройство включает три таймера, из которых  $D1$  и  $D2$  работают в режимах одновибраторов, а  $D3$  — в режиме мультивибратора. Установкой в соответствующее положение многопозиционного переключателя  $S1$  задается время, через которое вырабатывается сигнал включения мультивибратора. При замыкании переключателя  $S2$  напряжение на выводе 2 таймера  $D1$  падает до нуля и запускается первый одновибратор. В течение времени  $T_{н1} \approx 1,1R_{11}C_{11}$  на выходе  $D1$  поддерживается высокое напряжение ( $R_{11} = R_1 +$

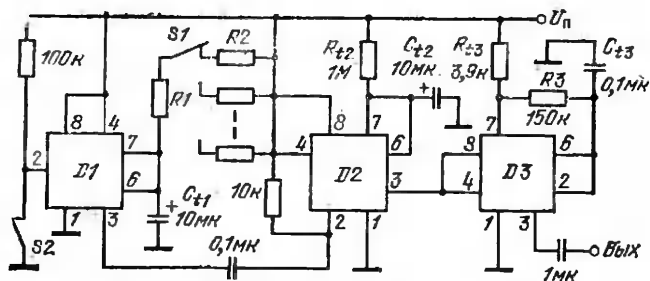


Рис. 6.12. Программируемые часы ( $D1-D3$ —КР1006ВН1)

$+R_2$ ). Через время  $T_{н1}$  на выходе таймера  $D1$  появляется срез положительного импульса и запускается одновибратор на таймере  $D2$ . Выходное напряжение второго одновибратора устанавливается равным  $U_{п}$  на время  $T_{н2} = 1,1R_{12}C_{12}$ . Для приведенных на схеме значений элементов  $T_{н2} \approx 10$  с. В течение этого времени на таймер  $D3$  подается напряжение питания и мультивибратор генерирует сигнал звуковой частоты  $f_{г} = 1,44 / (R_{13} + 2R_3) C_{13} \approx 300$  Гц. В качестве источника звука может быть использован транзисторный приемник или любой маломощный динамик. Если фотолюбителю более удобным покажется световой сигнал, то мультивибратор можно исключить из схемы, а между выходом второго одновибратора и шиной питания устройства включить лампочку от карманного фонарика.

Описанные часы с сигнализацией удобны, когда контролируемые интервалы времени достаточно велики. Вместе с тем при работе с фотоувеличителем для получения качественной фотографии часто требуется лишь на единицы или доли секунды спроектировать изобра-

жение на бумагу. Эту задачу может существенно облегчить устройство автоматического управления работой фотоувеличителя (рис. 6.13). В исходном состоянии переключатель  $S1$  разомкнут, а  $S2$  находится в положении, при котором он замыкает цепь питания лампы  $L2$  дежурного освещения рабочего места фотолюбителя. При замыкании  $S1$  на вывод 2 таймера поступает срез импульса, запускающий одновибратор. На выходе таймера формируется импульс амплитудой  $U_{\text{п}}$  и длительностью  $t_{\text{э}} = 1,1(R_t + R_{\text{ф}})C_t$ . Вследствие этого по обмотке реле протекает ток и  $S2$  переключается, замыкая цепь питания лампы  $L1$  фотоувеличителя. Время экспозиции  $t_{\text{э}}$ , т. е. продолжительность импульса на выходе таймера можно регулировать, изменяя положение переключателя  $S3$ . Если нет необходимости в плавной подстройке  $t_{\text{э}}$  (в зависимости от типа используемой фотобумаги), то переменный резистор  $R_t$  можно заменить постоянным. При использовании такого устройства

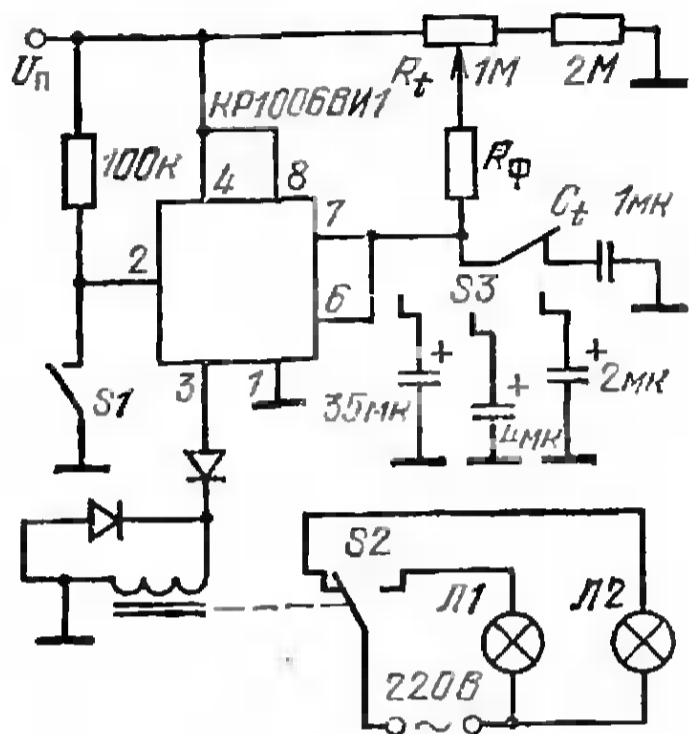


Рис. 6.13. Устройство управления фотоувеличителем

в фотоувеличителе, питаемом от сети со значительными колебаниями напряжения, не требуется громоздкий стабилизатор напряжения. Его заменит фоторезистор  $R_{\text{ф}}$ . Сопротивление  $R_{\text{ф}}$  должно уменьшаться при увеличении освещенности, а его значение выбирается из условия  $\Delta U_{\text{с}}/U_{\text{с}} \approx R_{\text{ф}}/(R_{\text{ф}} + R_t/2)$ , где  $U_{\text{с}}$  и  $\Delta U_{\text{с}}$  — напряжение в сети питания фотоувеличителя и его среднее отклонение от номинального уровня. В отсутствие освещения используется значение сопротивления  $R_{\text{ф max}}$ . Для приведенных на схеме значений элементов и  $R_{\text{ф max}} = 500$  кОм формируемые продолжительности экспозиции равны 1, 2, 4 и 35 с. Фоторезистор размещается на освещаемом фотоувеличителем участке стола и, благодаря этому, при уменьшении яркости свечения лампы  $L1$  время экспозиции увеличивается, а при увеличении яркости уменьшается. Через время  $t_{\text{э}}$ , заданное соответствующим положением  $S3$ , одновибратор возвращается в свое исходное состояние (его выходное

напряжение уменьшается до 0,1 В), а фотоувеличитель отключается и включается дежурное освещение.

В аппаратуре радиосвязи, использующей азбуку Морзе, радиолюбители могут применить электронный ключ на таймере, заменяющий обычный ключ прямой передачи (рис. 6.14). Таймер  $D1$  формирует на выходе положительные импульсы с двумя значениями длительности или, другими словами, «точки» и «тире». Если двухпозиционный переключатель замыкает обратную

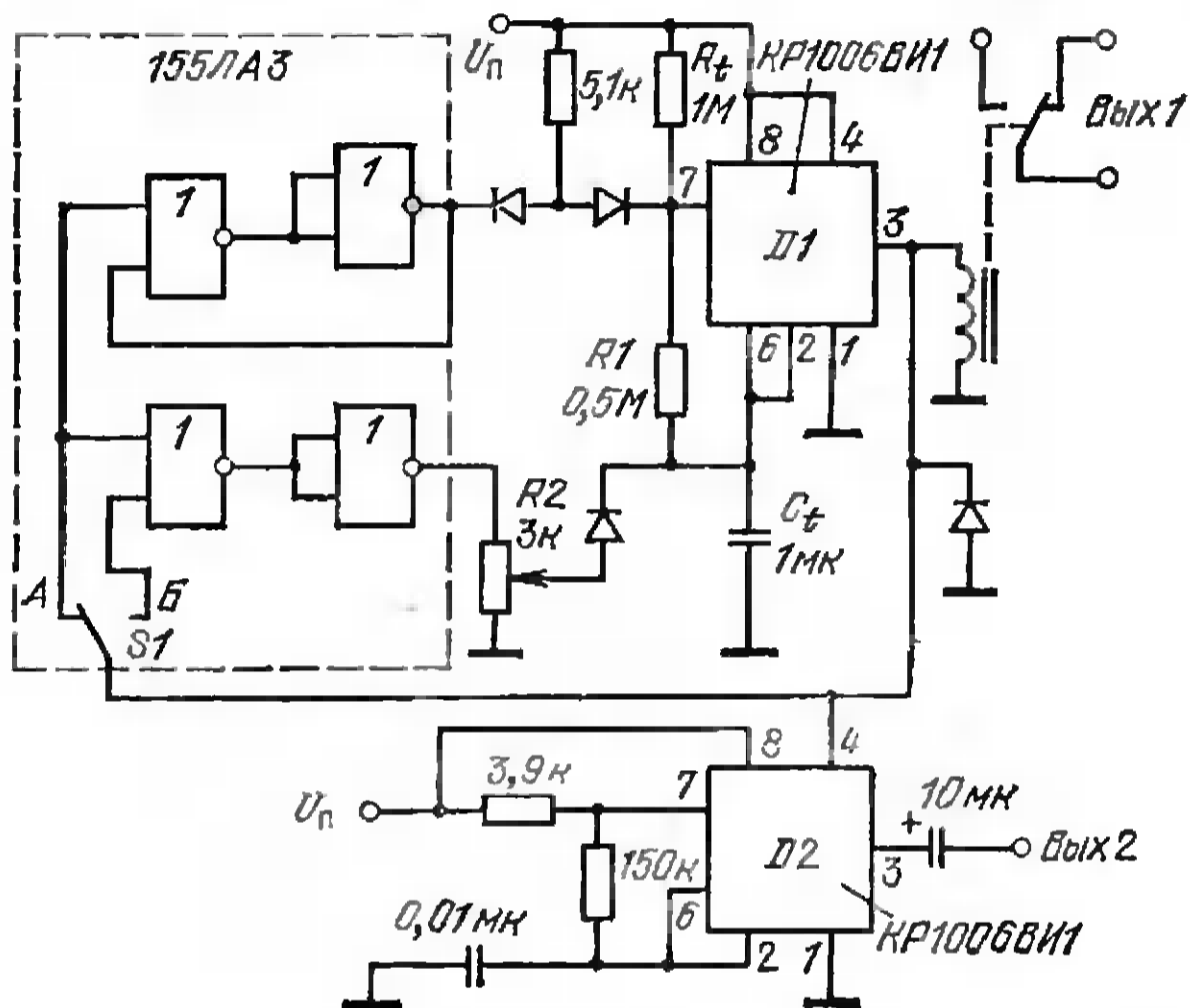


Рис. 6.14. Электронный ключ Морзе

связь с выхода таймера  $D1$  через цепь  $A$ , то на выходе формируются длинные импульсы — «тире». В другом положении переключателя  $S1$  формируются короткие импульсы — «точки». Соотношение между длительностями «точек» и «тире», генерируемых таймером, регулируется резистором  $R_t$ . Частоту выходных импульсов таймера  $D1$  можно подстраивать резистором  $R1$ , что позволяет пользоваться электронным ключом Морзе практически без подготовки и упрощает процесс обучения. Резистором  $R2$  подстраиваются абсолютные значения длительности выходных импульсов таймера  $D1$ . Нагрузкой  $D1$  является обмотка реле, срабатывающего от тока 200 мА. Выходные контакты реле подключаются ко входу передатчика вместо ключа прямой передачи. Процесс передачи контролируется с помощью тай-

мера  $D2$ , работающего в режиме мультивибратора, управляемого по цепи сброса. Мультивибратор генерирует сигналы звуковой частоты, что позволяет прослушивать выдаваемые в эфир «точки» и «тире» любой длительности. К выходу таймера  $D2$  могут быть подключены наушники или маломощный динамик от транзисторного приемника.

Устройство для защиты высококачественной аппаратуры от чрезмерных колебаний напряжения в бытовой электросети показано на рис. 6.15 [44]. В устройстве содержится собственный стабилизатор, обеспечиваю-

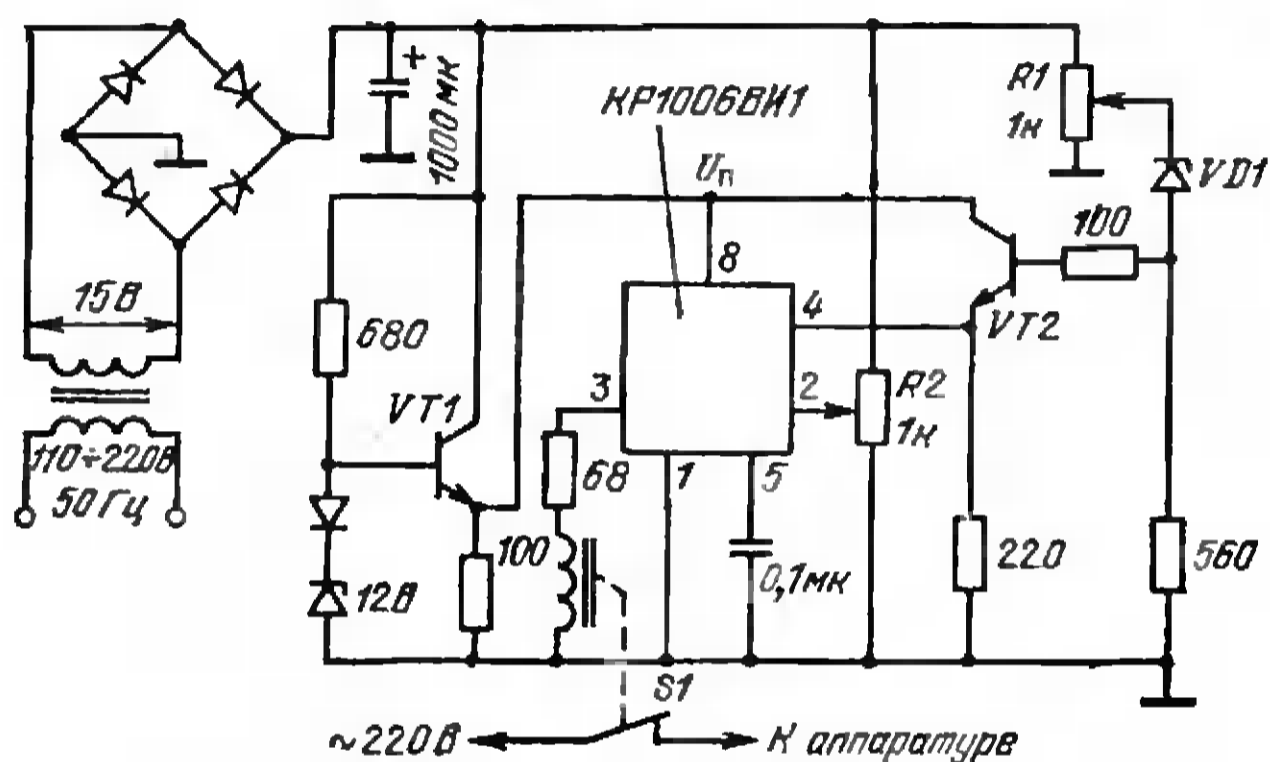


Рис. 6.15. Программируемый электронный предохранитель

щий постоянное напряжение питания таймера  $U_{п} \approx 12$  В. Это напряжение формируется транзистором  $VT1$ . Таймер выполняет функцию двухуровневого компаратора. Нижний и верхний пороги переключения выходного напряжения таймера устанавливаются потенциометрами  $R1$  и  $R2$ . Пониженное до 15 В напряжение сети с выхода выпрямителя подается на выводы 2, 4 таймера. При номинальном напряжении в электросети потенциометром  $R2$  напряжение на выводе 2 устанавливается около  $U_{п}/3$ , а потенциометром  $R1$  напряжение около 1 В — на выводе 4. В этом случае на выходе таймера напряжение  $U_3 \approx U_{п}$ , в обмотке реле протекает ток, переключатель  $S1$  замкнут и аппаратура подключена к сети. Если напряжение в сети меньше установленного потенциометром  $R1$  значения, то напряжение на эмиттере транзистора  $VT2$  уменьшается до нуля, обмотка реле обесточивается и аппаратура от-

ключается от сети. Когда напряжение в сети превышает уровень верхнего предела, установленного потенциометром  $R_2$  (т. е. напряжение на выводе 2 превышает  $U_{\text{п}}/3$ ), то  $U_3 \approx 0$  и  $S_1$  размыкается.

**Электронная «рулетка».** Генератор последовательности импульсов, частота которых уменьшается от некоторого исходного значения до нуля, используется в контрольно-измерительной технике и электронных играх (рис. 6.16). Устройство после пуска формирует пачку импульсов длительностью около 3 мс с частотой

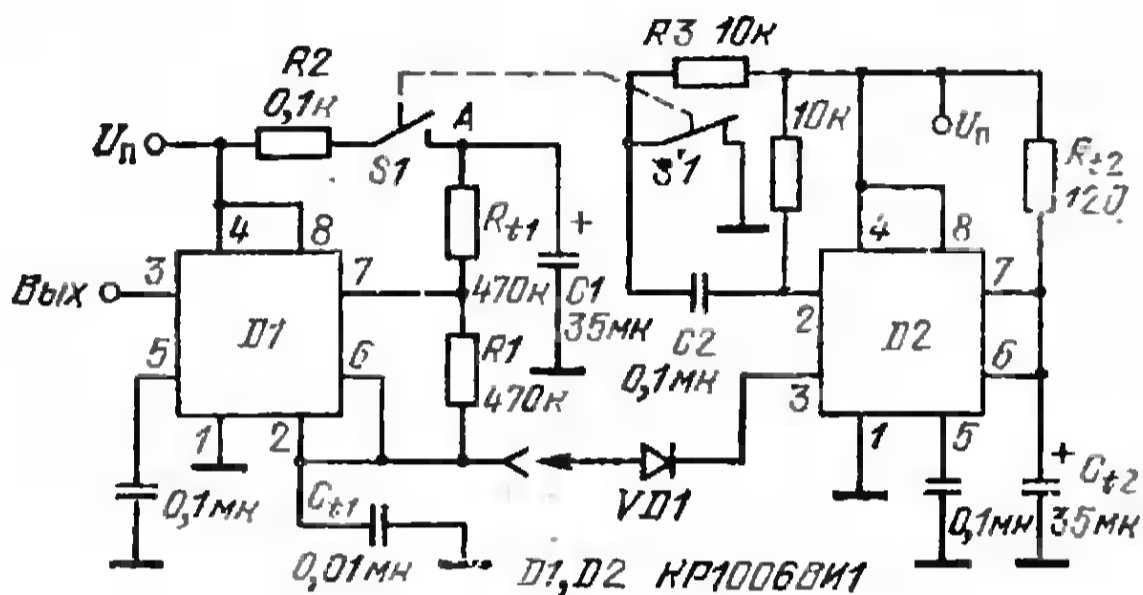


Рис. 6.16. Электронная «рулетка»

уменьшающейся от 100 Гц до нуля [45]. Подключив генератор к регистру последовательного приближения, выходы которого нагружены светодиодами, получим электронную модель кругового лото. При замкнутом переключателе  $S_1$  напряжение в точке  $A$  близко к  $U_{\text{п}}$ , так как  $R_2 \ll R_1 + R_t$ . Таймер  $D_1$ , включенный по схеме мультивибратора, генерирует импульсы с частотой  $f_t = 1,44 / (R_t + 2R_1) C_t$  и постоянной длительностью  $T_{\text{и}} = 0,7 R_2 C_t$ . Если разомкнуть  $S_1$ , то напряжение в точке  $A$  начинает уменьшаться с постоянной времени  $(R_t + R_1) C_t$ . Поскольку пороговые напряжения внутренних компараторов таймера остаются прежними, а напряжение в точке  $A$  уменьшается, то увеличивается время, в течение которого достигается пороговое напряжение  $2U_{\text{п}}/3$  второго компаратора (см. гл. 1). Чем ближе напряжение в точке  $A$  к  $2U_{\text{п}}/3$ , тем больше интервал между импульсами. Наконец, когда  $U_A \leq 2U_{\text{п}}/3$ , генерирование импульсов таймером  $D_1$  прекращается и на его выходе устанавливается высокий уровень. На длительность импульсов не влияет изменение напряжения в точке  $A$ , поскольку  $T_{\text{и}}$  определяется скоростью

разряда  $C_2$  через  $R_3$  от напряжения  $2U_{п}/3$  до  $U_{п}/3$ . Длительность периода генерирования таймером пачки импульсов  $T_{п} \approx (R_t + R_1)C_t \approx 30$  с для указанных на схеме значений элементов. Чтобы зафиксировать момент, когда генератор выдал последний импульс, целесообразно в схему описанной выше электронной рулетки ввести компаратор КМ597СА3, подключив его инвертирующий вход к выводу 5 таймера  $D1$ , а неинвертирующий — к точке  $A$ . Тогда светодиод, включенный между выходом компаратора и его положительной шиной источника питания, будет загораться за последним зажиганием соответствующего светодиода на панели лото.

Если необходимо регулировать время  $T_{п}$ , то к устройству можно подключить дополнительную схему управления (см. рис. 6.16).

Схема управления представляет собой одновибратор на таймере  $D2$ , запускаемый переключателем  $S'1$ . В исходном состоянии, когда переключатель  $S1$  замкнут,  $S'1$  разомкнут, на триггерном входе  $D2$  напряжение около  $U_{п}$ , а на его выходе сохраняется низкое напряжение. Поэтому мультивибратор на  $D1$  закрыт и не генерирует импульсы. В момент переключения  $S1$  и  $S'1$  ( $S1$  размыкается, а  $S'1$  замыкается) на резисторе  $R3$  паде-

ние напряжения увеличивается до  $U_{п}$ . Формируемый, таким образом, отрицательный перепад напряжения передается через  $C_2$  на триггерный вход  $D2$ , запуская одновибратор. В результате этого напряжение на выходе таймера  $D2$  увеличивается до  $U_{п}$ , он перестает влиять на работу  $D1$  и мультивибратор начинает генерировать импульсы. Однако через время  $1,1R_{12}C_{12}$  таймер  $D2$  возвращается в свое исходное состояние и вновь запрашивает мультивибратор.

**Измеритель уровня жидкости.** Если необходимо заблаговременно знать, что жидкость в сосуде заканчивается, можно воспользоваться сигнализатором на таймере (рис. 6.17). В качестве электродов-пробников, опускаемых в жидкость, могут быть использованы лю-

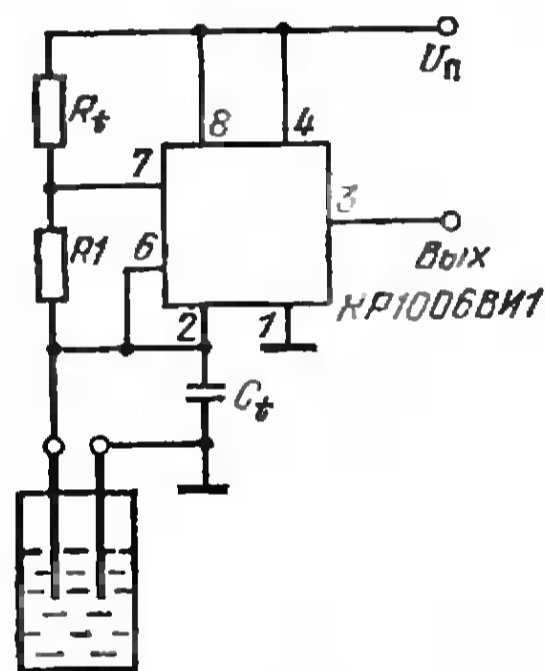


Рис. 6.17. Устройство для контроля уровня жидкости



бые два изолированных провода, оголенные концы которых опущены в жидкость на необходимую глубину. Когда сосуд заполнен, то жидкость электрически закорачивает времязадающий конденсатор, напряжение на выводах 2 и 6 равно нулю и на выходе таймера устанавливается высокое напряжение. Когда уровень жидкости становится ниже уровня концов провода, цепь, закорачивающая конденсатор  $C_1$ , разрывается и мультивибратор начинает генерировать импульсы. Чтобы получить звуковой или световой сигнал о том, что жидкость в сосуде заканчивается, необходимо к выходу таймера подключить динамик либо лампочку. Динамик подключается через конденсатор, а лампочка непосредственно между выходом таймера и цепью его питания.

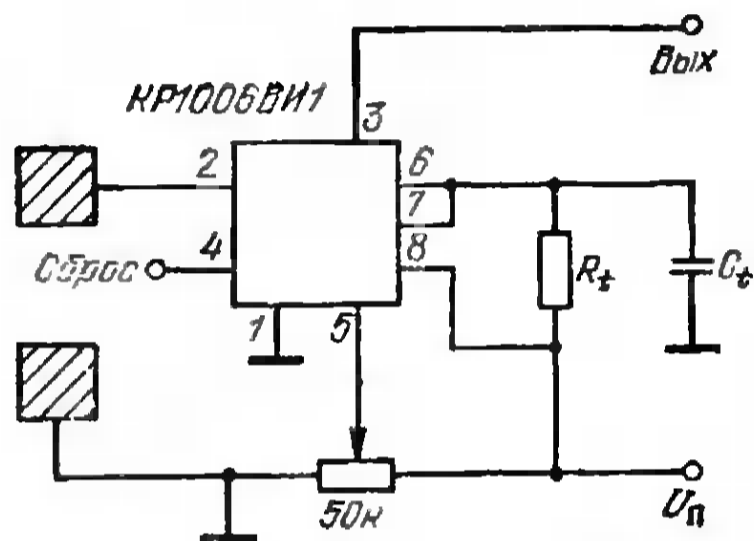


Рис. 6.18. Сенсорный ключ

человека, показан на рис. 6.18. В исходном состоянии на выходе таймера, включенного по схеме одновибратора, напряжение около 0,1 В. Прикосновение к кнопке эквивалентно подключению к выводу 2 таймера конденсатора большой емкости, вследствие чего напряжение на этом выводе уменьшается и мультивибратор начинает работать. Кнопка должна быть выполнена из металла. Например, можно приспособить не приметную шляпку гвоздя на входной двери или на ящике письменного стола. К выходу таймера может быть подключено электромагнитное реле, управляющее положением задвижки замка. Постоянную времени цепи  $R_1C_1$  целесообразно установить достаточно большой (2—5 с), чтобы, во-первых, избежать ложного срабатывания мультивибратора в течение прикосновения к кнопке, а во-вторых, успеть открыть дверь. Длительность выходного импульса можно изменять переменным резистором в цепи вывода 5. Через время  $R_1C_1$  на вывод 4 таймера целесообразно подать сигнал общего сброса, чтобы избежать неоднозначности установки

непосредственно между выходом таймера и цепью его питания. Тон генерируемого сигнала и частоту миганий лампочки можно установить, подбирая значения параметров внешних элементов (см. гл. 3).

Сенсорный ключ, срабатывающий от прикосновения к кнопке руки

выходного напряжения устройства при частых касаниях кнопки и малых  $R_1C_1$ . Это можно сделать, подключив между выводами 3 и 4 второй одновибратор, формирующий короткий отрицательный импульс в цепь сброса через время  $R_1C_1$ . Если исключить из схемы конденсатор  $C_1$ , то устройство будет возвращаться в исходное состояние в момент устранения касания кнопки. Чтобы избежать ложного срабатывания такого ключа в производственных помещениях с высоким уровнем электромагнитных помех, целесообразно использовать сдвоенную кнопку, у которой заземлена вторая металлическая площадка, а вывод 2 подключить к  $U_{\text{п}}$  через резистор 10 МОм. Расположив обе металлические пластинки рядом, можно прикосновением ладони к обоим контактам кнопки запустить одновибратор.

## 7. Устройства частного назначения

В этой главе объединены схемы на таймерах, которые по выполняемым ими функциям не могут быть однозначно отнесены к рассмотренным выше видам устройств.

### 7.1. Преобразователи аналоговых величин во временные интервалы

Преобразователь напряжения в частоту можно построить на одном таймере, заменив времязадающий резистор  $R_1$  генератором тока, регулируемого напряжением (рис. 7.1). Эта схема используется для преобразования в частоту положительного напряжения, изменяющегося в диапазоне 0—10 В [46]. Во время заряда  $C_1$  напряжение на нем изменяется в соответствии с выражением  $U_c = U_{\text{п}}/3 + I_2t/C_1$ . За время, равное  $C_1U_{\text{п}}/3I_2$ , конденсатор заряжается до  $U_c = 2U_{\text{п}}/3$ . Транзисторы  $VT1—VT3$  включены по схеме отражателя тока, поэтому  $I_1 = I_2$ . Преобразование входного напряжения в ток  $I_1 = U_{\text{вх}}/R_2$  обеспечивают ОУ с транзистором  $VT4$  в цепи обратной связи. Частота выходного сигнала, определяемая продолжительностью заряда  $C_1$  током  $I_2$ ,  $f_{\text{г}} = 3U_{\text{вх}}/2U_{\text{п}}R_2C_1$ . При изменении входного напряжения от 0 до 10 В и номиналах элементов, приведенных на схеме, ток заряда  $C_1$  изменяется от 0 до 1 мА и поэтому  $f_{\text{г}} = 10^3 U_{\text{вх}}$  Гц, где  $U_{\text{вх}}$  — в В.

Экспериментальная характеристика преобразования напряжения в частоту и его погрешность  $\Delta$  показаны на рис. 7.1,б. На высокой частоте погрешность преобразования увеличивается из-за конечного времени разряда  $C_1$  внутренней цепью таймера. На низких частотах (при малых токах  $I_1$  и  $I_2$ ) уменьшаются коэффициенты передачи токов  $h_{21\beta}$  транзисторов и сказывается влияние входных токов внутренних компараторов таймера, поэтому погрешность преобразования также увеличивается.

Существенно уменьшить влияние на величину  $\Delta$  коэффициентов  $h_{21э}$  их разбросов и температурной зависимости можно, используя более совершенный отражатель тока, показанный на рис. 7.1, в. Действие нестабильности  $h_{21э}$  в таком отражателе тока уменьшается в  $h_{21э}^2$  раз, а в примененном в схеме только в  $h_{21э}$  раз. На низких частотах (менее 100 Гц) можно дополнительно уменьшить погрешность преобразования, используя цепь регулировки смещения нуля

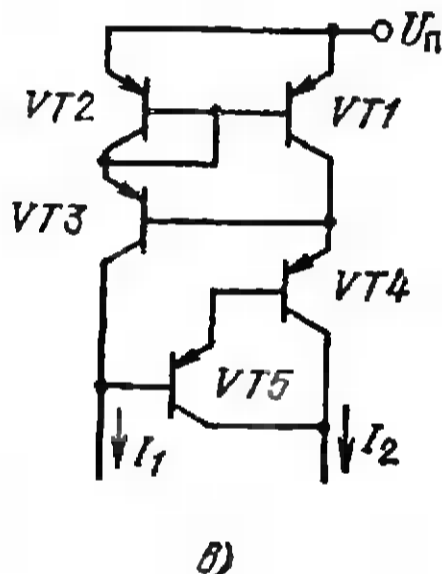
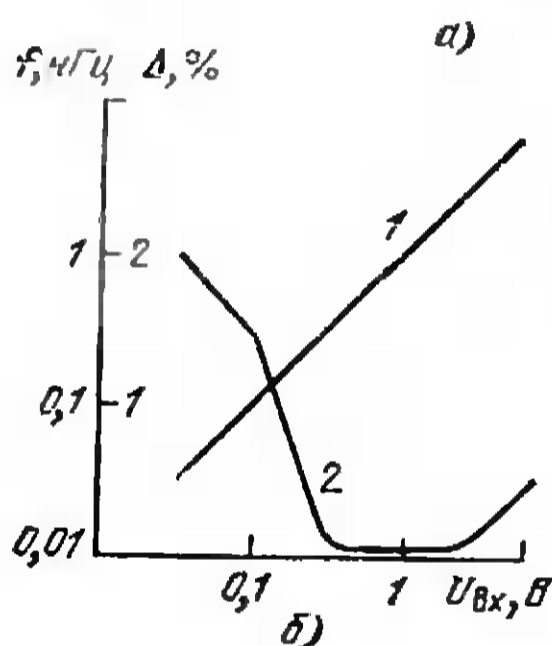
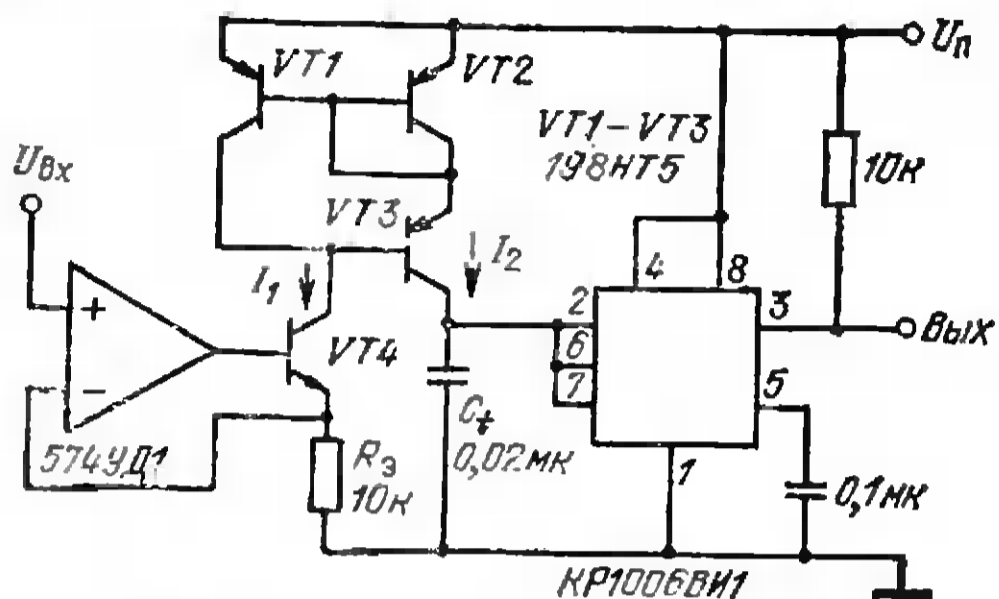


Рис. 7.1. Быстродействующий преобразователь напряжение — частота (а), зависимость частоты (1) и ошибки преобразования (2) от входного напряжения (б) и отражатель тока (в), уменьшающий ошибку при малых  $I_1$ ,  $U_{вх}$

ОУ для компенсации входных токов таймера. Для работы в диапазоне частоты 1—100 кГц, чтобы избежать увеличения погрешности на высоких частотах, лучше уменьшать емкость  $C_1$  до 0,002 мкФ, чем сопротивление  $R_3$ . Однако, если использовать быстродействующий ОУ 574УД1 или 154УД3 с большой скоростью нарастания выходного напряжения, то небольшую среднюю погрешность преобразования (около 1%) можно сохранить и при меньших сопротивлениях  $R_3$ .

Для получения средней погрешности преобразования менее 1% применяют схему с полевым транзистором в цепи обратной связи с выхода таймера на вход ОУ (рис. 7.2). Эта схема используется для преобразования отрицательного напряжения, изменяемого в диапазоне 0 ÷ -10 В. В отличие от рассмотренной выше, в последней схеме времязадающей цепью управляет не внутренний разрядный транзистор таймера, а ОУ, работающий в режиме генератора пило-

образного напряжения. При высоком уровне выходного напряжения таймера транзистор  $VT1$  закрыт и выходное напряжение ОУ линейно нарастает со скоростью  $U_{вх}/R_1C_1$  от 0 до  $2U_{п}/3$  В. Как только напряжение на выводах 6 таймера и ОУ достигнет  $2U_{п}/3$  выходное напряжение таймера становится равным 0,1 В. Транзистор  $VT1$  открывается и на выводах 6 таймера и ОУ напряжение уменьшается до  $U_6 = |U_{вх}|R_{от}/R_1$ , где  $R_{от}$  — сопротивление открытого полевого транзистора. Чтобы исключить влияние разброса и сильной температурной зависимости сопротивления на точность преобразования, необходимо использовать такой полевой транзистор, у которого при  $U_{вх} = -10$  В напряжение  $U_6 \leq 20$  мВ. В этом случае ошибку, вы-

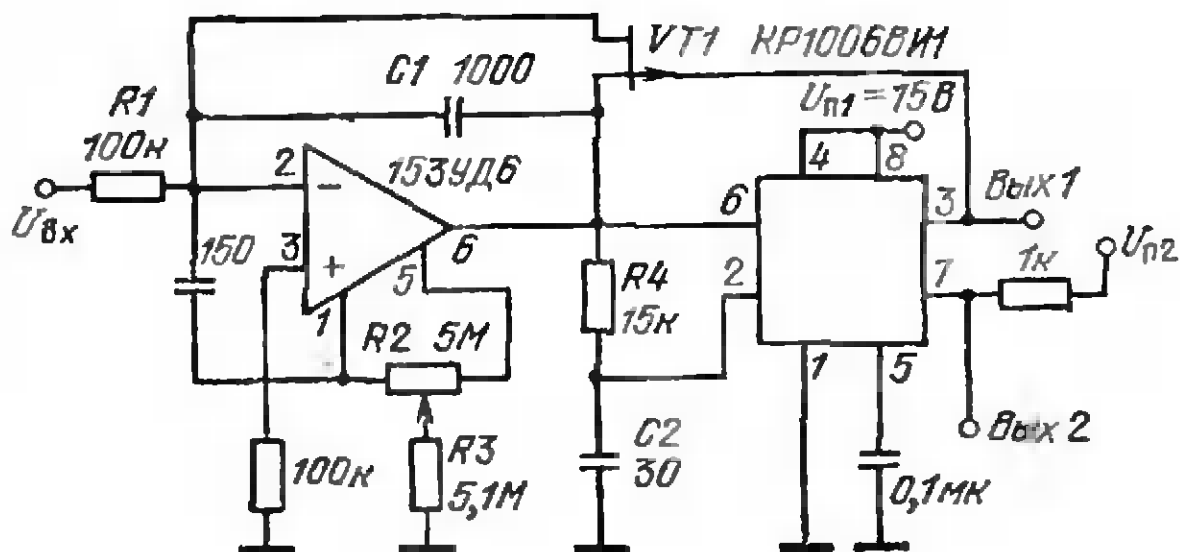


Рис. 7.2. Прецизионный преобразователь напряжение — частота

званную действием  $U_6$ , можно скомпенсировать цепью регулировки смещения нуля ОУ (резисторы  $R_2, R_3$ ). В момент переключения напряжения  $U_6$  от  $2U_{п}/3$  до 0, выходное напряжение таймера вновь становится равным  $U_{п}$ , транзистор  $VT1$  закрывается и повторяется описанный выше процесс. Цепочка  $R_4, C_2$  формирует на выводе 2 таймера перепад напряжения, сдвинутый по времени на 500 нс относительно перепада, формируемого на выводах 6 таймера и ОУ. Это необходимо для того, чтобы напряжение на выходе ОУ успело достичь своего минимального значения, прежде, чем транзистор  $VT1$  закроется и начнется новый цикл заряда конденсатора  $C_1$ . При отсутствии цепи  $R_4, C_2$  точность преобразования может существенно ухудшиться. Частота генерируемых преобразователем импульсов рассчитывается из выражения  $f_{г} = 3|U_{вх}|/2U_{п}R_1C_1$ . Максимальную точность преобразования можно обеспечить при использовании прецизионного источника питания  $U_{п1}$ . Если получить напряжение  $U_{п1}$  со стабильностью 1% не представляется возможным, то можно вывод 5 таймера зашунтировать стабилитроном 2С191 с  $U_{ст} \approx 9,1$  В. В этом случае пороговое напряжение срабатывания компараторов таймера не зависит от  $U_{п1}$ , а частота генерируемых выходных импульсов  $f_{г} = |U_{вх}|/U_{ст}R_1C_1$ . Чтобы использовать схему для преобразования положительного напряжения в частоту, достаточно заменить  $p$ -канальный полевой транзистор  $n$ -канальным.

В отличие от схемы на рис. 7.1, формирующей импульсы амплитудой  $U_{п}$ , в последней схеме можно получать выходные сигналы амплитуды до 15 В, используя вывод 7. Это позволяет работать непосредственно как на КМОП ИС, так и на ТТЛ ИС, выбирая соответствующее значение  $U_{п2}$ .

Преобразователь напряжения в длительность импульса можно построить на одном таймере, включив его по схеме одновибратора (рис. 7.3). Преобразуемое напряжение подается на вывод 5 таймера, меняя тем самым пороговые напряжения внутренних компараторов. На вывод 2 поступают тактовые импульсы амплитудой  $U_{\text{н}}$ . Чем выше напряжение на выводе 5, тем большее время требуется для заряда  $C_1$  до порогового напряжения срабатывания компаратора, подключенного к выводу 6 и, следовательно, тем продолжительнее формируемый таймером импульс. Точность такого преобразователя сравнительно низкая, так как ширина импульса имеет экспоненциальную зависимость от управляющего напряжения (рис. 7.3,б). На рисунке значение  $t_{30}$  измерялось при напряжении на выводе 5, равном 8 В.

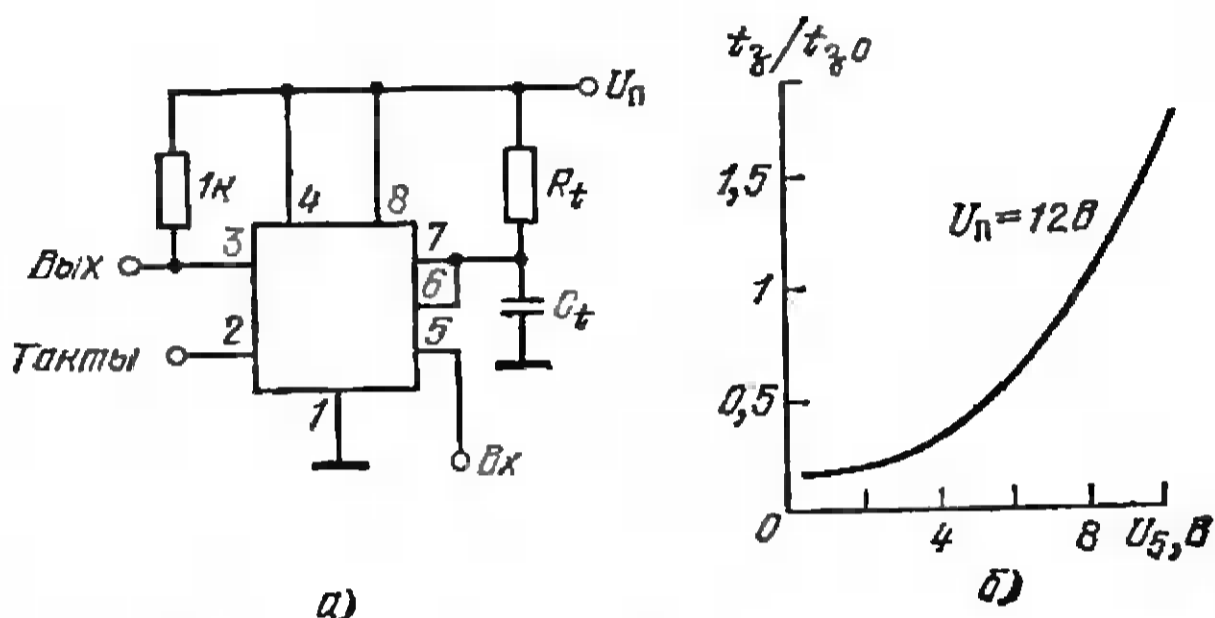


Рис. 7.3. Простейший преобразователь напряжение — длительность импульса (а) и нормированная зависимость длительности импульса от входного напряжения (б)

Прецизионный преобразователь напряжения в длительность импульса, обеспечивающий точность лучше 1%, при линейной зависимости длительности формируемых импульсов от управляющего напряжения показан на рис. 7.4. Входное напряжение должно изменяться в пределах  $0-U_{\text{н}}$ . Таймер работает в режиме одновибратора, запускаемого по триггерному входу тактовыми импульсами амплитудой  $0-U_{\text{н}}$ . Синхронно с тактовыми импульсами на входе ОУ формируются импульсы амплитудой, пропорциональной входному напряжению. Интегратор на базе ОУ обеспечивает преобразование входных импульсов в постоянное напряжение, которое подается на внутренний резисторный делитель таймера. Чем больше входное напряжение, тем больше напряжение на выводе 5 и, следовательно, тем до большего напряжения должен зарядиться конденсатор  $C_1$ , чтобы на выходе таймера установилось исходное напряжение. Для нормальной работы преобразователя период тактовых сигналов должен быть меньше  $R_1 C_1$  и более, чем  $10^2$  раз меньше  $R_1 C_1$ .

Преобразователи напряжения в длительность импульса применяют в информационно-телеметрических системах, аналого-цифровых преобразователях и других. Простота схем на таймерах позволяет разместить их в непосредственной близости от датчиков аналоговых сигналов, «на месте» преобразовать аналоговую величину в цифровые сигналы, которые можно передавать по длинным линиям связи и не опасаться действия помех в линии на точность принимаемой информации.

**Преобразователь температуры в частоту.** Включенный по схеме мультивибратора таймер может быть использован для формирования прямоугольных сигналов, имеющих частоту, пропорциональную температуре (рис. 7.5). Терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления используется в зарядовой цепи таймера. Частота выходного сигнала изменяется почти линейно от 39 до 114 Гц при изменении температуры от 0 до 50°C. В этом температурном диапазоне нет точки, в которой частота отличается более, чем на 1 Гц от частоты, соответствующей данной температуре. Транзистор *VT1* открывается во время заряда конденсатора  $C_t$  и закрывается во время его разряда. Сопротивление насыщенного

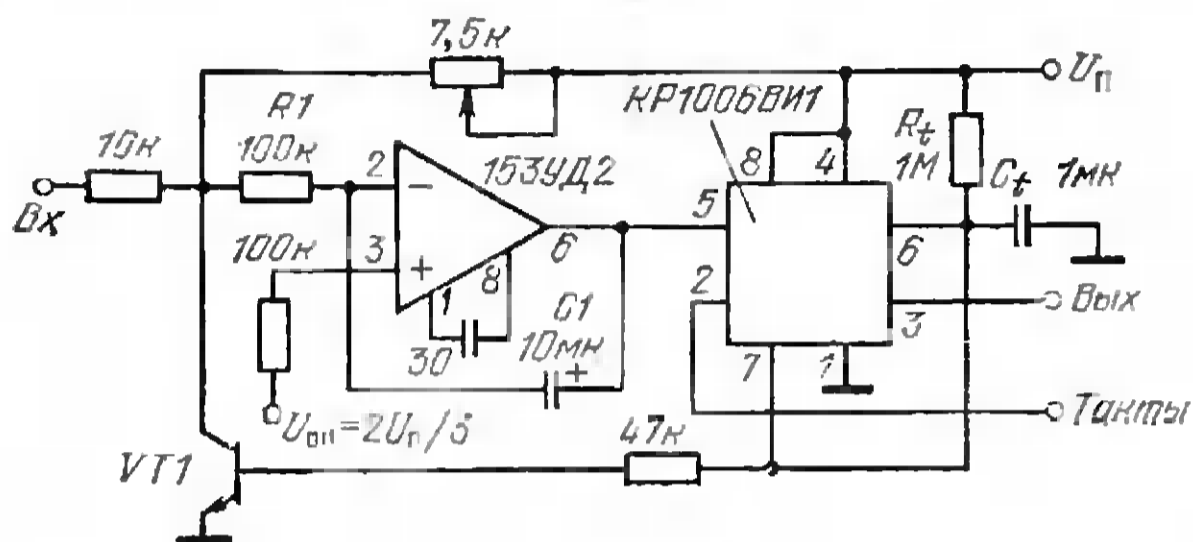


Рис. 7.4. Прецизионный преобразователь напряжения в длительность импульса

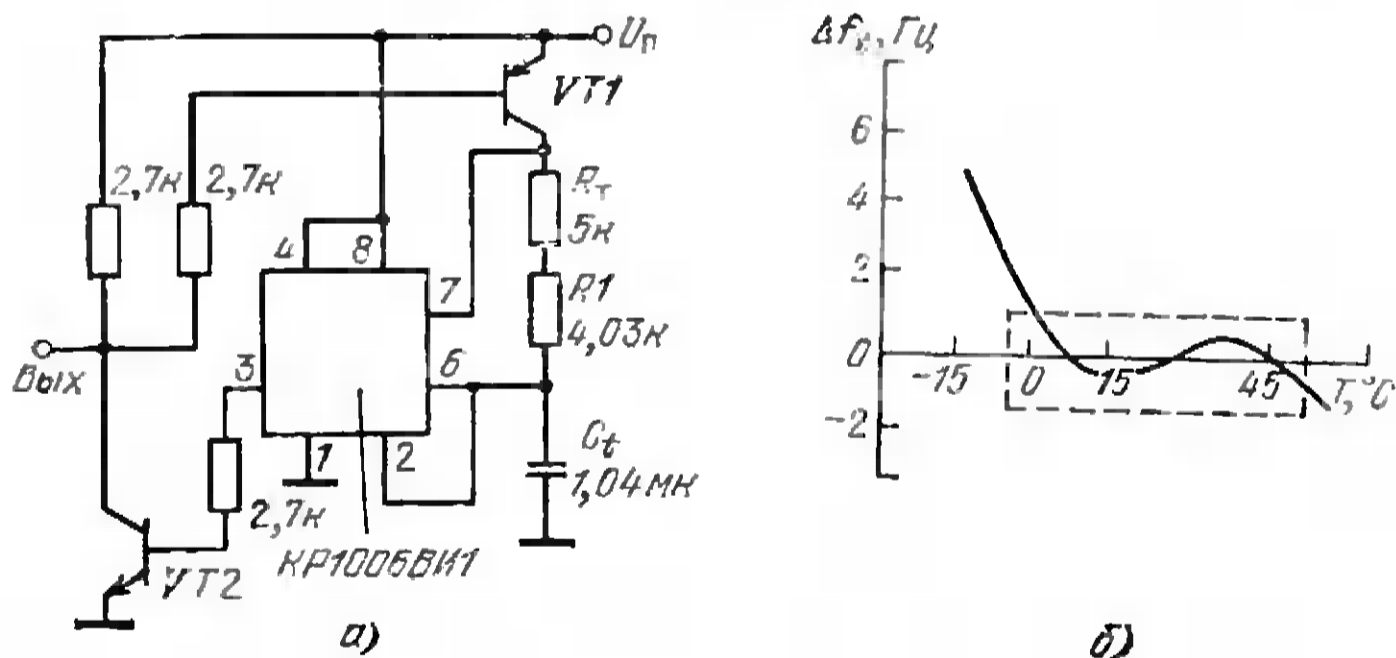


Рис. 7.5. Преобразователь температура — частота

транзистора близко к 0 и достигает 1 МОм, когда транзистор закрыт. Это обеспечивает равные интервалы времени заряда и разряда  $C_t$ , которые зависят только от  $R_T$  и  $R_1$ . Частота выходных сигналов  $f_T = 0,7 / (R_1 + R_T) C_t$ . Изменение частоты в зависимости от температуры обратно пропорционально изменению сопротивления  $R_T$ . Транзистор *VT2* инвертирует выходные импульсы таймера и может быть заменен логическим вентиляем. Если используется терморезистор, имеющий  $R_{T0} = 5000$  Ом при 25°C и отношение максимального и минимального значений сопротивления  $R_T$  равно 906:1 в температурном диапазоне 0—50°C, то ошибка из-за нелинейности не превышает 1 Гц. Целесообразно применять термостабильные поликар-

богатые конденсаторы. Иногда используют сборку параллельных конденсаторов разных типов, подобранных так, чтобы обеспечить требуемую точность преобразования в данном температурном диапазоне.

Преобразователь сопротивления в длительность импульса, используемый в системе управления производственным процессом или

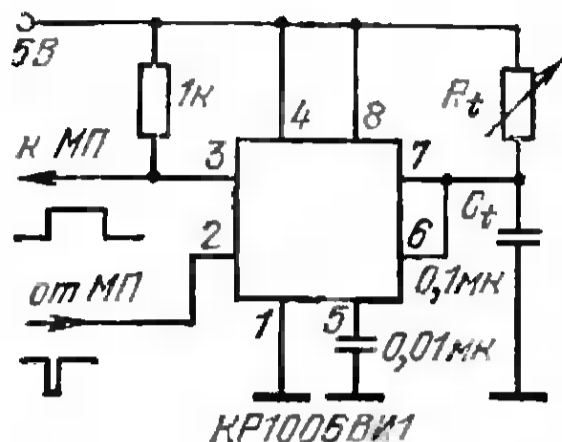


Рис. 7.6. Преобразователь сопротивление — длительность импульса

телевизионной игре, построенной на МП К580ИК80, можно выполнить на одном таймере (рис. 7.6). Тактовые импульсы с выхода МП подаются на триггерный вход таймера, включенного по схеме одновибратора. Длительность выходного сигнала таймера, равная  $1,1R_tC_t$ , пропорциональна сопротивлению потенциометра  $R_t$ . Этот сигнал поступает на вход МП, который увеличивает содержимое внутреннего регистра, пока остается высоким выходное напряжение таймера [47]. Когда необходимо ввести в микропроцессор информацию о сопротивлении, происходит обращение к подпрограмме и на вывод 2 таймера подается сигнал запуска. Содержимое регистра МП увеличивается за время, обратно пропорциональное его тактовой частоте, обеспечивая прием 100 дискретных значений сопротивления потенциометра  $R_t$ .

## 7.2. Специализированные устройства

**Устройство управления декадным счетчиком.** В приборах, регулирующих работу режущего инструмента с помощью шагового двигателя, для вертикального перемещения текста на дисплее, в телевизионных играх необходим мультивибратор, управляющий 2—3-декадным реверсивным счетчиком. Чтобы повысить скорость счета больших чисел, в таких счетчиках используют две последовательности синхроимпульсов: высокочастотную для грубого счета и низкочастотную для точного счета числа. Управление каждой последовательностью обычно осуществляется отдельным кнопочным переключателем. Если счет необходимо осуществлять для малых и больших чисел, то вводятся дополнительно два кнопочных переключателя. Таким образом, обычная система счета нужного числа довольно громоздкая. В показанной на рис. 7.7 схеме потенциометр  $R1$  может заменить источник синхроимпульсов и кнопочные переключатели, необходимые для реверсивного счетчика [48]. Потенциометр  $R1$  позволяет регулировать частоту подаваемых на счетчик импульсов и поддерживать требуемые логические напряжения на управляющем выводе счетчика в зависимости от режима счета. Когда ручка потенциометра находится в среднем положении, мультивибратор закрыт (если напряжение на выводах 2 и 6 меньше  $U_{п1}/3$ ) и частота синхроимпульсов равна нулю. При вращении ручки потенциометра  $R1$  сопротивление одной из его частей уменьшается. Напряжение  $U_1$  возрастает, и таймер начинает генерировать импульсы. Частота импульсов связана экспоненциальной зависимостью с углом поворота ручки  $R1$ . При значениях параметров, указанных на рис. 7.7, максимальная частота равна 15 Гц. В зависимости от положения ручки потенциометра изменяются токи в плечах резистивного моста,

образованного  $R1, R3, R4$  и, следовательно, значение и полярность дифференциального напряжения на входах компаратора. В зависимости от уровня напряжения на выходе компаратора изменяется направление счета. При наладке схемы ручка потенциометра  $R1$  устанавливается в среднее положение, а затем потенциометром  $R2$  задается напряжение питания  $U_{п1}$  таймера, при котором прекращается генерация импульсов.

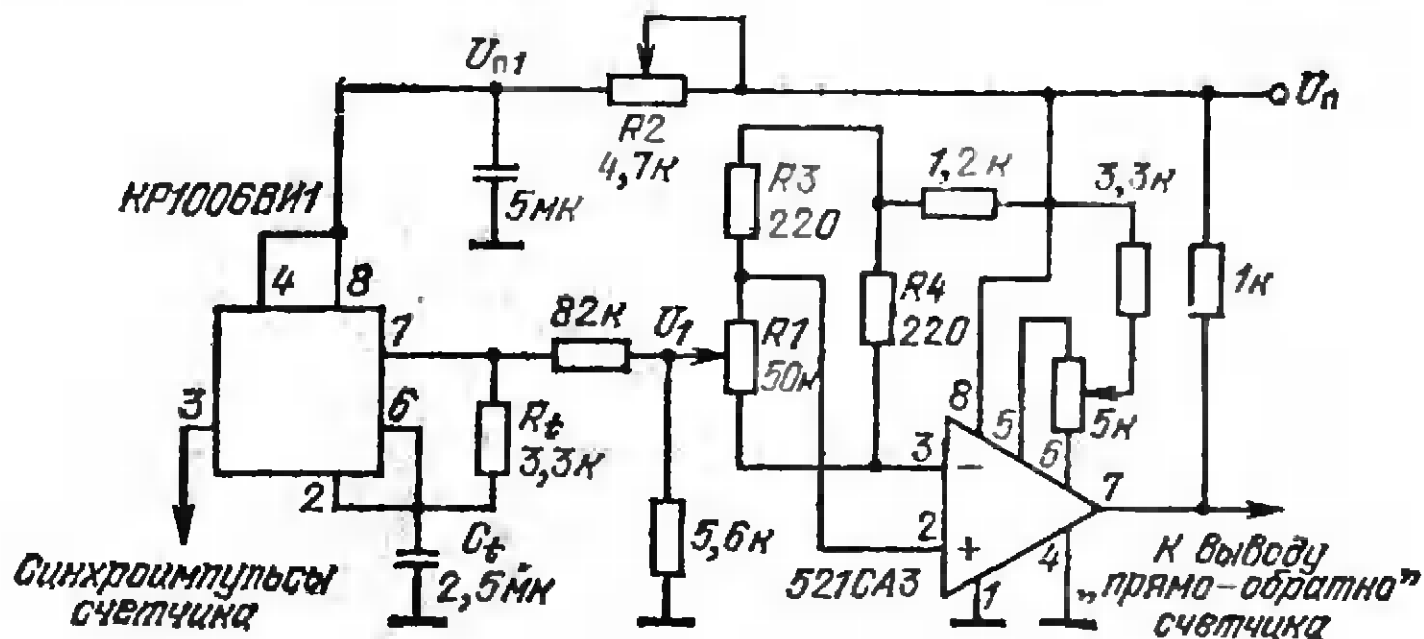


Рис. 7.7. Устройство управления реверсивным счетчиком

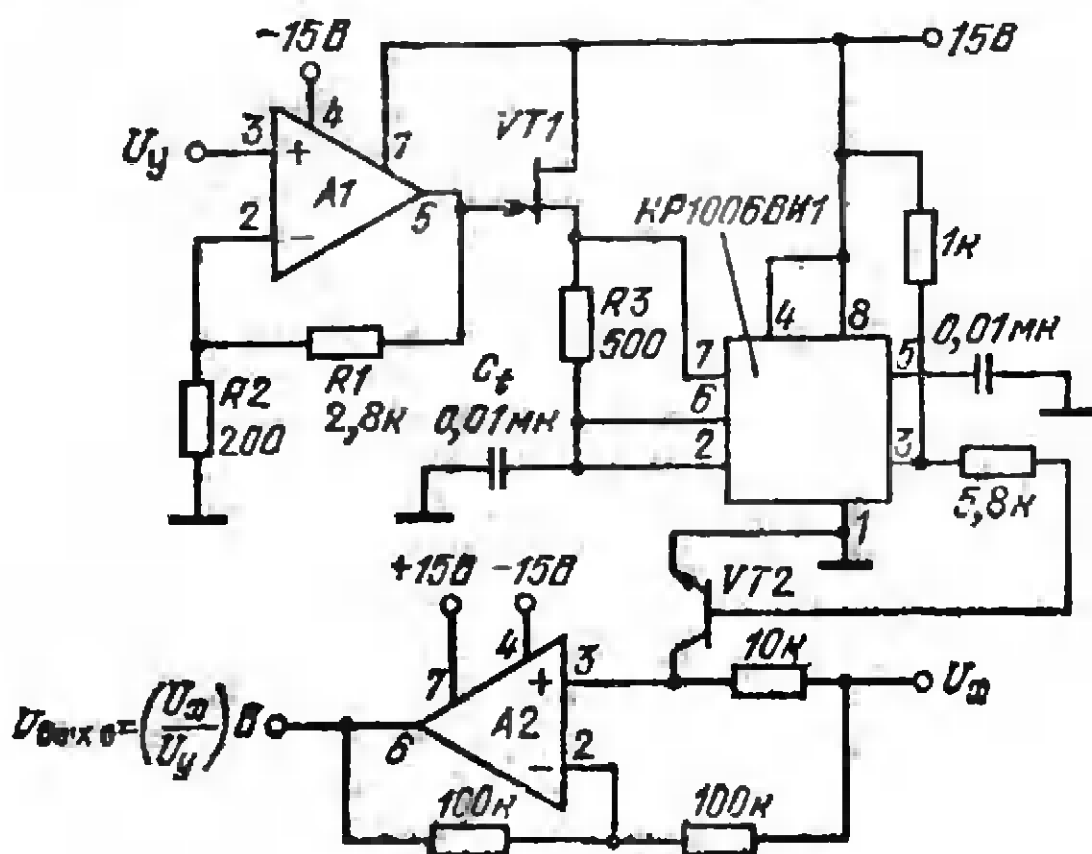


Рис. 7.8. Делитель напряжений ( $A1, A2$ —140УД7)

Делитель напряжений можно построить, включив последовательно преобразователь напряжения — частота на таймере и амплитудный модулятор на  $A2$  (рис. 7.8). В преобразователе напряжение  $U_y$ , усиленное в  $K_1 = R_1/R_2$  раз, поступает на полевой транзистор [49]. Последний выполняет роль управляемого напряжением времязадающего резистора  $R_3$  в мультивибраторе на таймере. Сопротивление сток — исток в  $VT1$  равно  $R_3 = U_0/I_{c0}[(1+K_1)U_y/U_0 - 1]$ , где  $U_0$  — напряжение отсечки полевого транзистора, а  $I_{c0}$  — ток стока



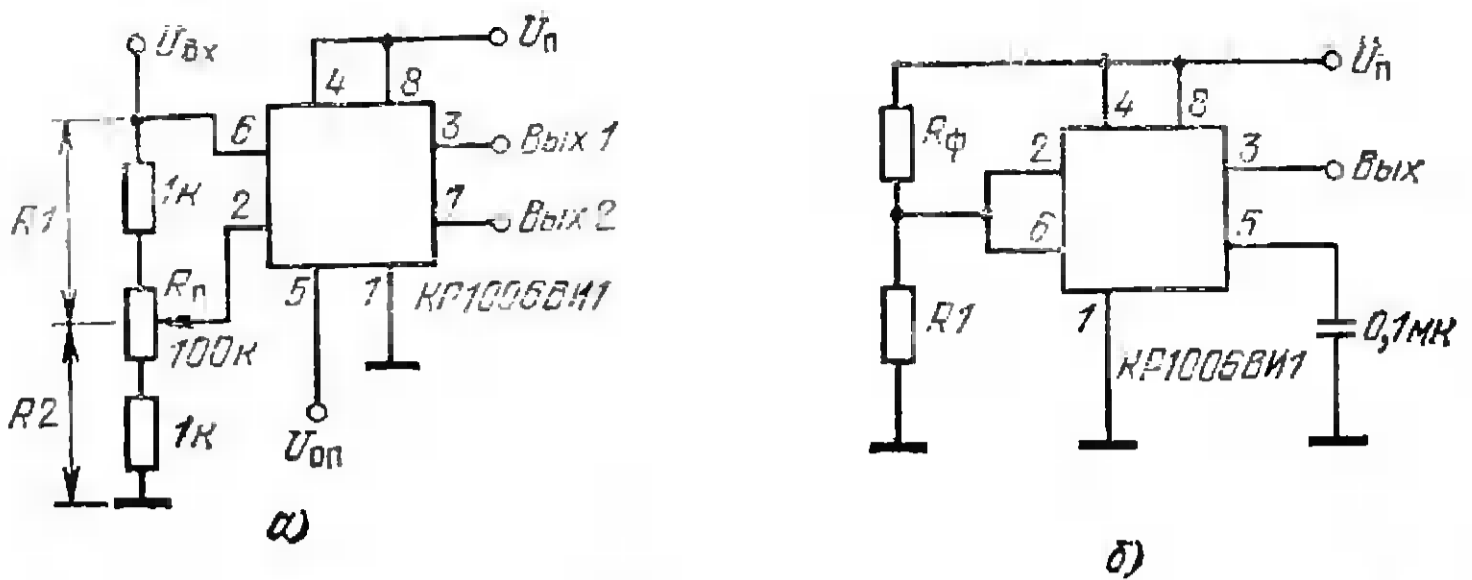


Рис. 7.9. Компаратор с регулируемым гистерезисом (а) и светочувствительный компаратор (б)

при  $U_y = 0$ . Конденсатор  $C_t$  перезаряжается в процессе работы так, что напряжение на нем остается в диапазоне  $U_{п}/3 - 2U_{п}/3$ . Напряжение  $U_x$ , поступающее на вход модулятора, инвертируется на его выходе при открытом транзисторе  $VT2$  и передается без инверсии при закрытом  $VT2$ . Таким образом, на выходе  $A1$  напряжение равно  $-U_x$  во время  $t_3 \approx 0,7(R_1 + R_3)C_t$  заряда конденсатора  $C_t$  и  $U_x$  во время  $t_p = 0,7R_3C_t$  его разряда. Среднее значение выходного напряжения за один цикл работы таймера  $U_{вых с} = U_x(t_p - t_3)/(t_3 + t_p) = U_0 U_x / U_y (1 + R_1/R_2)$ , если установить  $R_3 = U_0 / 2I_{с0}$ . Для транзистора, у которого  $U_0 \approx 2$  В,  $I_{с0} \approx 2$  мА, получим  $R_3 \approx 0,5$  кОм. Если выбрать  $R_1 = 14R_2$ , то среднее значение выходного напряжения  $U_{вых с} = (U_x / U_y)$  В, что можно, например, наблюдать на осциллографе, подключив к его выходу резистивно-емкостной фильтр или измерить это напряжение низкочастотным вольтметром. Делитель оперирует с положительными сигналами, амплитуда которых равна  $0 - 10$  В.

Компаратор на таймере работает в широком диапазоне напряжения питания, обеспечивает в нагрузку ток значительно больший, чем 521СА3 и имеет как низкоомный выход, так и выход с открытым коллектором (рис. 7.9). В компараторе с регулируемым гистерезисом передаточной характеристики (рис. 7.9,а) опорное напряжение  $U_{оп}$ , подаваемое на вывод 5, устанавливает верхний порог срабатывания [50]. Напряжение гистерезиса передаточной характеристики  $U_{г} = U_{оп}(1 - R_1/R_2)/2$ . Когда выходной сигнал достигает значения верхнего порога срабатывания компаратора, т. е.  $U_{оп}$ , то на выходе таймера устанавливается напряжение, близкое к нулю. Если после этого входное напряжение уменьшится относительно  $U_{оп}$  на величину  $U_{г}$ , то на выходе вновь установится высокое напряжение. Напряжение гистерезиса, а следовательно, и нижнее пороговое напряжение срабатывания компаратора, можно регулировать резистором  $R_{п}$ .

Показанный на рис. 7.9,б компаратор может быть использован в устройствах считывания с перфолент и перфокарт. Сопротивление  $R1$  выбирается таким образом, чтобы при освещенном фоторезисторе  $R_{ф} < 4R_1$ , а при неосвещенном  $R_{ф} \gg 4R_1$ . Если эти условия выполняются, то напряжение на выводах 2 и 6 при освещенном фоторезисторе  $R_{ф}$  становится больше  $2U_{п}/3$  и на выходе таймера устанавливается напряжение около 0 В. Когда фоторезистор не освещен, то напряжение на этих выводах меньше  $U_{п}/3$  и на выходе таймера напряжение около  $U_{п}$ . Благодаря тому, что напряжение  $U_{п}$  в тай-

мере может изменяться от 0 до 15 В к выходу таймера могут подключаться как ТТЛ-, так и КМОП-схемы. Если требуется при освещенном фоторезисторе получить на выходе напряжение  $U_{п}$ , то  $R_1$  и  $R_ф$  необходимо в схеме поменять местами.

**Логические схемы на таймерах.** Универсальный приемопередатчик для работы с длинными линиями связи показан на рис. 7.10. Мощный выходной каскад таймера, способный отдавать и принимать токи до 200 мА, делает его удобным для работы не только на витые пары проводов, но и на экранированные кабели [51, 52]. Чтобы использовать таймер в качестве приемника сигнала с длинной линии, обеспечивающего высокую помехозащищенность, целесообразно на входе включить интегрирующую RC-цепь. Емкость конденсатора  $C$  выбирается исходя из минимальной длительности  $T_{н}$  и максимальной частоты  $f_{н}$  передаваемых импульсов:  $C \ll T_{н}/R$ ;  $C \ll (1/f_{н} - T_{н})/R$ . Амплитуда выходных сигналов приемника устанавливается соответствующим выбором напряжения питания  $U_{п}$ . Необходимый порог срабатывания внутренних компараторов таймера при приеме сигнала с линии можно установить подключением дополнительного источника опорного напряжения  $U_{оп}$  к выводу 5 или просто шунтируя этот вывод на землю или шину  $U_{п}$  внешним резистором. Приемопередатчик может стробироваться, т. е. на его выхо-

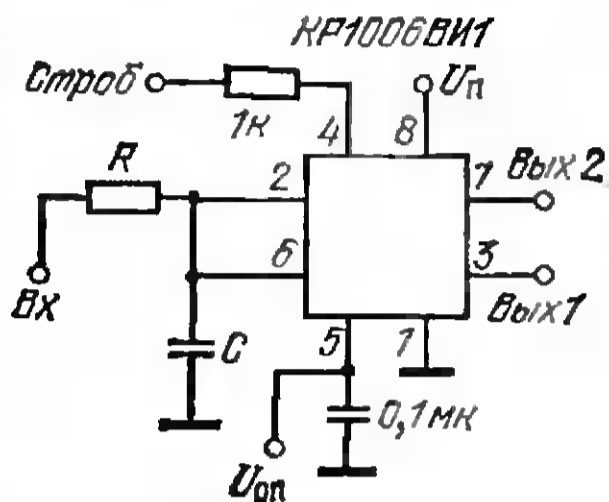


Рис. 7.10. Мощный кабельный усилитель и помехоустойчивый приемник

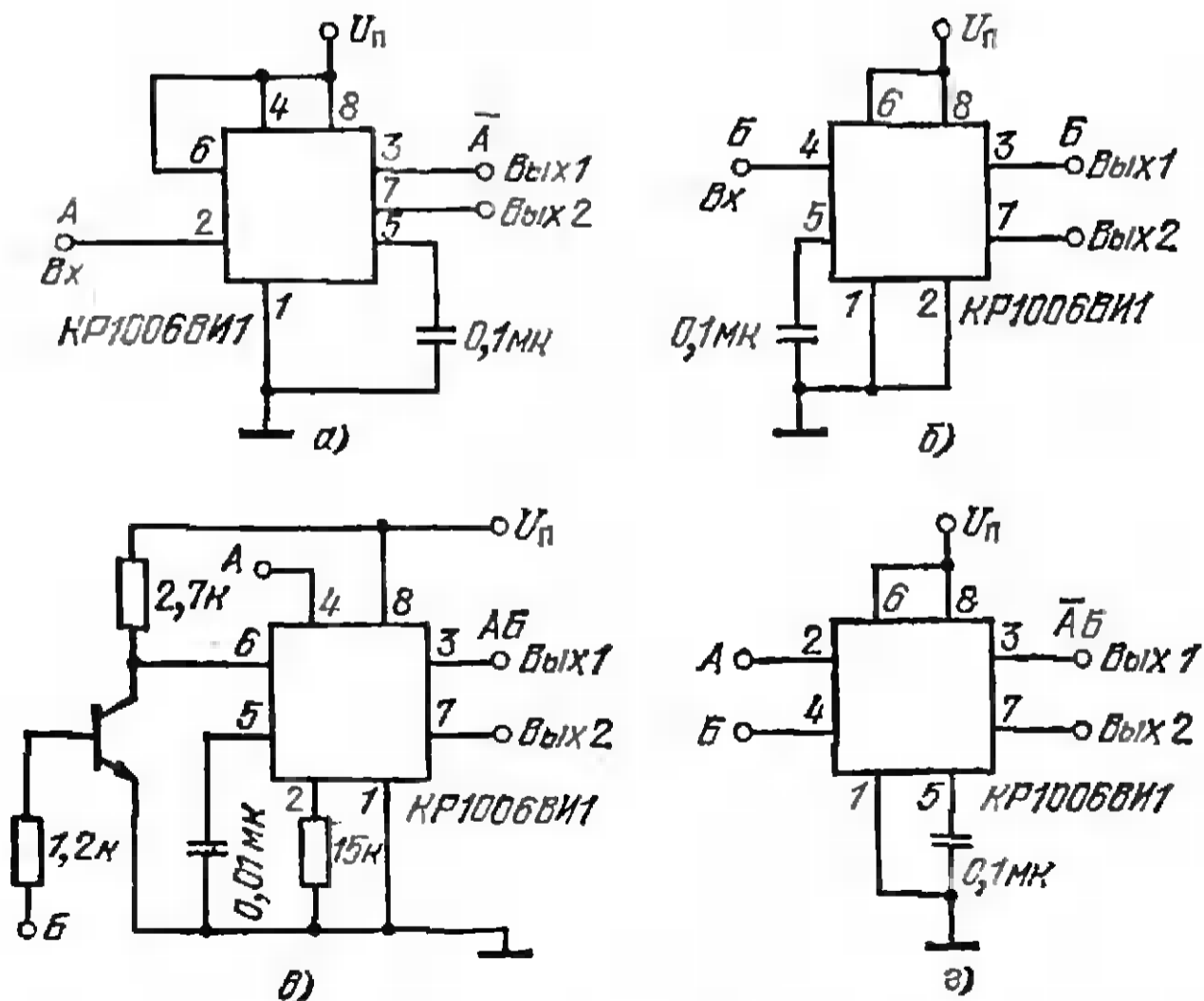


Рис. 7.11. Логические вентили: а — инвертор; б — усилитель мощности; в — двухвходовые элементы II; г — НЕ — И

де удерживается низкий уровень при подаче напряжения меньше 0,5 В на вывод 4. Кроме того, таймер имеет мощный выход с открытым коллектором, что позволяет использовать его для работы на магистральные линии связи. Стробирование в этом случае осуществляется по цепи питания. При выключенном  $U_{\text{п}}$  таймер не влияет на состояние магистрали, подключенной к выводу 7.

Для управления тиристорами, импульсными трансформаторами, светодиодами, линиями задержки необходимы мощные логические схемы, работающие при напряжении питания до 15 В. Показанные на рис. 7.11 схемы на таймерах позволяют реализовать простейшие логические операции, необходимые для управления перечисленными устройствами [53, 54]. Инвертор на рис. 7.11,а имеет порог срабатывания около  $U_{\text{п}}/3$ . Таймер на рис. 7.11,б выполняет функцию

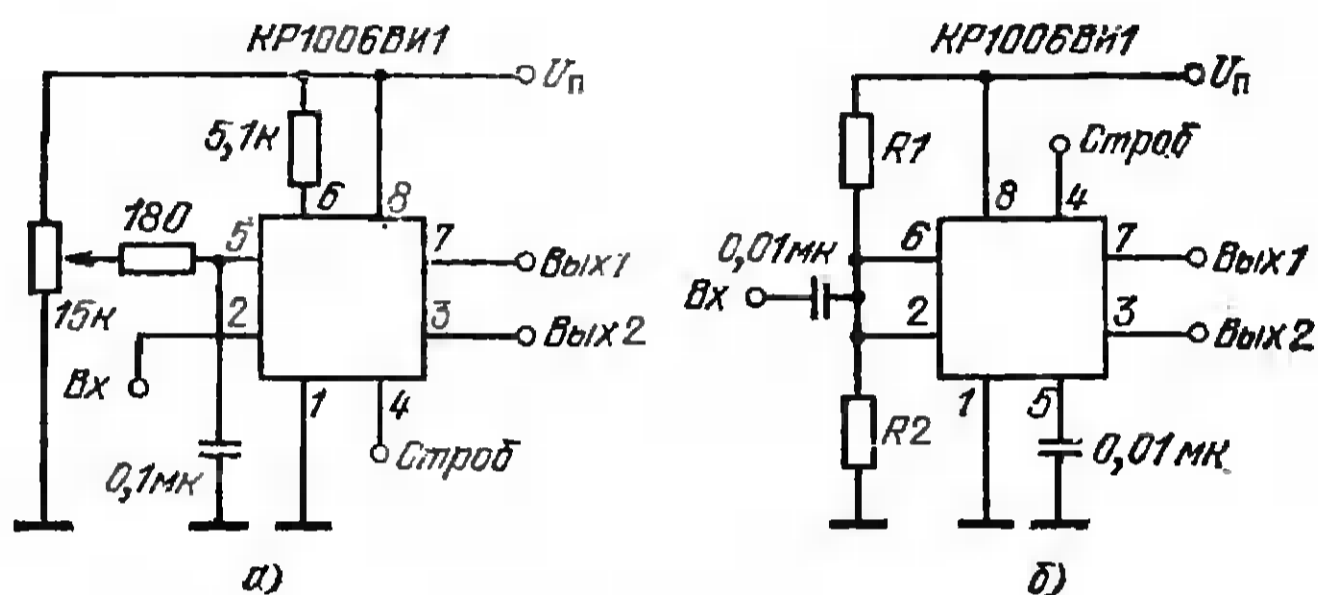


Рис. 7.12. Триггеры Шмита с регулируемым (а) и постоянным (б) порогами срабатывания

буферного усилителя мощности, преобразующего ТТЛ-уровни входного сигнала в КМОП-уровни. Логические функции И и НЕ—И выполняют таймеры на рис. 7.11,в, г. На вход этих схем подаются ТТЛ- или КМОП-уровни, а на выходе получают ТТЛ- или КМОП-уровни в зависимости от величины  $U_{\text{п}}$ . Устройства надежно выполняют указанные логические операции в диапазоне частот до 5 МГц. Все схемы обеспечивают выходные втекающие и вытекающие токи до 200 мА. Вывод 7 таймеров может использоваться в качестве выхода с открытым коллектором. Задержка срабатывания при выполнении рассмотренных логических операций над входными сигналами не превышает 100 нс.

Для построения триггера Шмита на таймере можно использовать одну из схем на рис. 7.12. Конденсатор на входе триггера с регулируемым порогом срабатывания (рис. 7.12,а) включен для шунтирования коротких импульсов помех, поступающих по цепи питания. Необходимость в шунтирующем конденсаторе объясняется тем, что внутренние компараторы таймера могут воспринимать импульсы длительностью до 20 нс. В схеме на рис. 7.12,б для нормальной работы триггера отношение  $R_1/R_2$  необходимо устанавливать в диапазоне от  $1/3$  до  $2/3$ , чтобы порог переключения триггера был в пределах от  $U_{\text{п}}/3$  до  $2U_{\text{п}}/3$ . Обе схемы, в отличие от обычных цифровых триггеров, допускают подачу на вход низкочастотных синусои-

дальних сигналов, формируя из них прямоугольные. Амплитуда выходных импульсов устанавливается соответствующим выбором  $U_{п}$ . В триггере на рис. 7.12,б амплитуда входных сигналов должна быть меньше  $U_{п}/2$ , чтобы напряжение на выводах 2, 6 было меньше  $U_{п}$ . Поэтому при ТТЛ-уровнях на входе триггера и  $U_{п}=9$  В, ТТЛ-уровни можно получить только с *Вых 1*, подключив вывод 7 через резистор к шине питания 5 В.

## Список литературы

---

1. Алексенко А. Г., Коломбет Е. А. Оценка технического уровня и перспектив совершенствования аналого-цифровых элементных средств по информационно-энергетическим показателям. — Микроэлектроника и полупроводниковые приборы/ Под ред. А. А. Васенкова, 1980, вып. 5, с. 3—17.
2. Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы/ Пер. с англ. — М.: Мир, 1979, с. 255.
3. Шило В. Л. Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. — М.: Радио и связь, 1982. — 128 с. (Советско-венгерская б-ка по радиоэлектронике.)
4. Hnatek E. Application of Linear Integrated Circuits. — John Wiley & Son, New York, 1975, p. 421—454.
5. Refioglu I. Choose the right IC timer by examining all options. — EDN, 1980, № 2, p. 111—117.
6. Berlin H. The 555 Timer Applications Sources — book with Experiments. — E&L Instruments, Inc. 1977.
7. O'Neil B. IC timer — the «old reliable» 555 has company. — EDN, 1977, № 16, p. 89—93.
8. Jung G. Take a fresh look at IC timer application. — EDN, 1977, № 6, p. 127—135.
9. Dighe D. Single-shot circuits gives independent control of time-delay and duration. — Electronic Design, 1978, № 24, p. 166.
10. Imhof K. 555 one-shot circuit. — EDN, 1978, № 8, p. 134.
11. Dan D. Ramp generator features variable start/stop points. — EDN, 1978, № 8, p. 130—132.
12. Dight D. Rearranged components cut 555's initial-pulse errors. — EDN, 1978, № 1, p. 82.
13. Санчолуз. Схема на интегральном таймере. — Электроника, 1977, № 23, с. 56—57.
14. Farr T. Get control over oscillator duty cycle by adding one diode to circuit. — Electronic Design, 1978, № 20, p. 96.
15. Зейн. Расширение диапазона таймера. — Электроника, 1977, № 13, с. 57—58.
16. Milos C. 555-timer circuit generates ultralow-frequency signals. — Electronic Design, 1977, № 14, p. 90.
17. Диге. Мультивибратор на таймере. — Электроника, 1978, № 14, с. 57.
18. Мани. Широтно-импульсный модулятор. — Электроника, 1978, № 7, с. 52—53.
19. Алексенко А. Г., Коломбет Е. А., Стародуб Г. И. Применение прецизионных аналоговых ИС. — М.: Радио и связь, 1980.

20. Mintz G. Singl potentiometr controls triangular-puls generator. — Electronic Design, 1980, № 20, p. 143.
21. Техханд. Расширение частотного диапазона генератора. — Электроника, 1978, № 7, с. 49—50.
22. Morgan D. Control 10 to 10 000 Hz digitally. — Electronic Design, 1977, № 2, p. 90.
23. Sanholuz A. Build your own capacitance meter. — Electronic Design, 1979, № 1, p. 166.
24. Pinto R. Low frequency phase measurements. — Electronic Eng., 1979, № 629, p. 27—29.
25. Messich R. Alarm simplifies spectrum-analyzer. — EDN, 1978, № 11, p. 152.
26. Карни. Дискриминатор амплитуды импульса на двух таймерах. — Электроника, 1977, № 4, с. 62.
27. Sarprangal S. Team a dual LED and a dual timer. — Electronic Design, 1978, № 23, p. 138.
28. Херринг. Тестер на интегральных схемах для проверки кабелей. — Электроника, 1973, № 10, с. 63.
29. Walker J. Pulser generator determins states of three-state bus drives. — Electronic Design, 1978, № 3, p. 90.
30. Morgan H. 555-timer provides PWM drive for low-cost dc motor control. — Electronic Design, 1981, № 7, p. 193—196.
31. Четти. Использование интегрального таймера в преобразователе постоянного напряжения. — Электроника, 1975, № 23, с. 57—59.
32. Johnson K. High-voltage power supply. — Electronic Design, 1976, № 15, p. 120.
33. Chetty P. Put a 555-timer in your next switching regulator design. — EDN, 1976, № 1, p. 72.
34. Brown P. Converter generates negative mP bias voltage from 5V. — EDN, 1977, № 14, p. 42.
35. Roll I. Improvement to automatic NiCd battary charger. — Electronic Eng., 1976, № 577, p. 17.
36. Lo C. CD ignition systems. — EDN, 1976, № 10, p. 94—96.
37. Грунди. Противоугонное устройство. — Электроника, 1976, № 26, с. 57.
38. Околович. Управление задержкой стеклоочистителя. — Электроника, 1977, № 24, с. 53—54.
39. Фусар. Использование ИС таймера в автомобильном регуляторе напряжения. — Электроника, 1974, № 4, с. 57.
40. Крейнгел. Использование телефона в оптронном вызывном устройстве. — Электроника, 1975, № 4, с. 57.
41. Дуген. Музыкальный телефонный вызов. — Электроника, 1975, № 10, с. 65.
42. Битч. Использование таймера для формирования трапецеидального сигнала. — Электроника, 1977, № 6, с. 59.
43. Джеки. Генератор для музыкального синтезатора. — Электроника, 1980, № 20, с. 76.
44. Пэйтел. Защита аппаратуры от повышенного сетевого напряжения. — Электроника, 1977, № 18, с. 73.
45. Kraengel W. Timer pulses coasting to a stop heighten electronic game realism. — Electronic Design, 1977, № 5, p. 78.
46. Brainard R. Make a linear low-cost v/f converter. — Electronic Design, 1979, № 6, p. 94.
47. Шулейн. Преобразование угла потенциометра в код. — Электроника, 1976, № 5, с. 59.

48. Герджек. Реверсивный счетчик, управляемый таймером. — Электроника, 1976, № 10, с. 55.
49. Краус. Применение таймера для аналогового деления. — Электроника, 1976, № 16, с. 65.
50. Murugesan S. Voltage comparators operates over a wide range. — EDN, 1977, № 6, p. 153—154.
51. Ware J. Single 555 transmits data and clock up to 10 000 feet. — Electronic Eng., 1977, № 600, p. 31.
52. Savage E. A 555-timer — based signaling circuit. — Radio-Electronics, 1980, № 6, p. 80.
53. Bhat S. Timer can be used as gate. — Electronic Eng., 1978, № 608, p. 25.
54. Murugesan S. Create a versatile logic family with timer. — EDN, 1976, № 16, p. 108.

# Оглавление

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<b>1. Общие сведения о полупроводниковых таймерах . . . . .</b>	<b>6</b>
1.1. Классификация и принципы построения полупроводниковых таймеров . . . . .	6
1.2. Особенности структур таймеров общего применения . . . . .	11
1.3. Особенности применения и основные параметры одноконтурного таймера . . . . .	14
1.4. Особенности применения и основные параметры программируемого таймера . . . . .	18
<b>2. Одновибраторы на таймерах . . . . .</b>	<b>21</b>
2.1. Базовые структуры одновибраторов . . . . .	21
2.2. Методы улучшения параметров одновибраторов на таймере КР1006ВИ1 . . . . .	27
2.3. Специальные одновибраторы . . . . .	31
<b>3. Мультивибраторы на таймерах . . . . .</b>	<b>35</b>
3.1. Мультивибраторы на одноконтурном таймере . . . . .	36
3.2. Мультивибраторы — генераторы меандра . . . . .	45
3.3. Формирование сигналов сверхнизкой частоты . . . . .	49
3.4. Специализированные генераторы . . . . .	54
<b>4. Таймеры в контрольно-измерительных устройствах . . . . .</b>	<b>64</b>
4.1. Измерение параметров элементов . . . . .	65
4.2. Устройства контроля и управления . . . . .	72
<b>5. Источники вторичного электропитания . . . . .</b>	<b>78</b>
5.1. Диодно-емкостные преобразователи . . . . .	79
5.2. Индуктивно-емкостные преобразователи . . . . .	82
5.3. Специализированные источники питания . . . . .	86
<b>6. Таймеры в автомобильной и бытовой электронике . . . . .</b>	<b>87</b>
6.1. Автомобильная электроника . . . . .	88
6.2. Бытовая электроника . . . . .	98
<b>7. Устройства частного назначения . . . . .</b>	<b>113</b>
7.1. Преобразователи аналоговых величин во временные интервалы . . . . .	113
7.2. Специализированные устройства . . . . .	118
Список литературы . . . . .	123

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОЛОМБЕТ

**Таймеры**

Редактор **М. М. Лисина**

Художественный редактор **Н. С. Шенин**

Технический редактор **Л. А. Горшкова**

Корректор **Т. Л. Кускова**

**ИБ № 300**

Сдано в набор 3.02.83

Подписано в печать 23.05.83

**Т-09674**

Формат 84 × 108/32

Бумага тип. № 2

Гарнитура литературная

Печать высокая

Усл. печ. л. 6,72

Усл. кр.-отт. 6,93

Уч.-изд. л. 6,98

Тираж 40 000 экз.

Изд. № 20151

Зак. № 2071

Цена 35 к.

Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени  
Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и  
книжной торговли, Москва, М-54, Валовая, 28