

## 4

## Схемотехника узлов радиоаппаратуры

При создании нового устройства довольно часто приходится использовать типовые узлы. Обычно они выполняются по хорошо зарекомендовавшим себя схемам, к тому же проверенных временем. Это ускоряет разработку конструкции. В данном разделе приводится ряд схем, которые могут найти применение в составе разных устройств.

## 4.1. Малогабаритные прерыватели тока

Для некоторых устройств, питающихся от источника с постоянным напряжением, необходимо обеспечить прерывистый режим работы. Например, это может быть сирена в охранной сигнализации, стеклоочиститель или мигалка аварийных габаритных указателей для автомобиля. Бесконтактные прерыватели тока найдут немало и других применений. Приведенные схемы отличаются простотой, малыми габаритами и более высокой надежностью по сравнению с коммутаторами, использующими электромагнитное реле.

На рис. 4.1 показана схема низкочастотного автогенератора выполненная на широко распространенном интегральном таймере КР1006ВИ1 (полный импортный аналог LM555). Эта микросхема имеет достаточно мощный выходной каскад, что делает ее удобной для управления коммутаторами на полевых транзисторах.

Использование в качестве силового ключа мощного полевого N-канального транзистора позволяет не только уменьшить габариты устройства по сравнению с аналогичного назначения схемами выполненными на реле или биполярных транзисторах, но и повышает надежность за счет особенностей структуры таких элементов (уменьшается вероятность теплового пробоя за счет автоматического увеличения порогового напряжения при перегреве). Габариты прерывателя уменьшаются из-за того, что силовые полевые транзисторы в открытом состоянии имеют сопротивление канала значительно меньшее, чем биполярные, а значит, происходит и меньшее выделение тепла. Выигрыш особенно заметен на больших токах. Это позволяет, в зависимости от потребляемой нагрузкой мощности, либо вообще отказаться от радиатора, или использовать его небольших

размеров. Кроме того, указанные на схемах типы полевых транзисторов специально разработаны для работы в ключевых каскадах (импульсных источниках питания и преобразователях энергии), т. е. позволяют получить высокое быстродействие при переключении, что также снижает потери на нагрев.

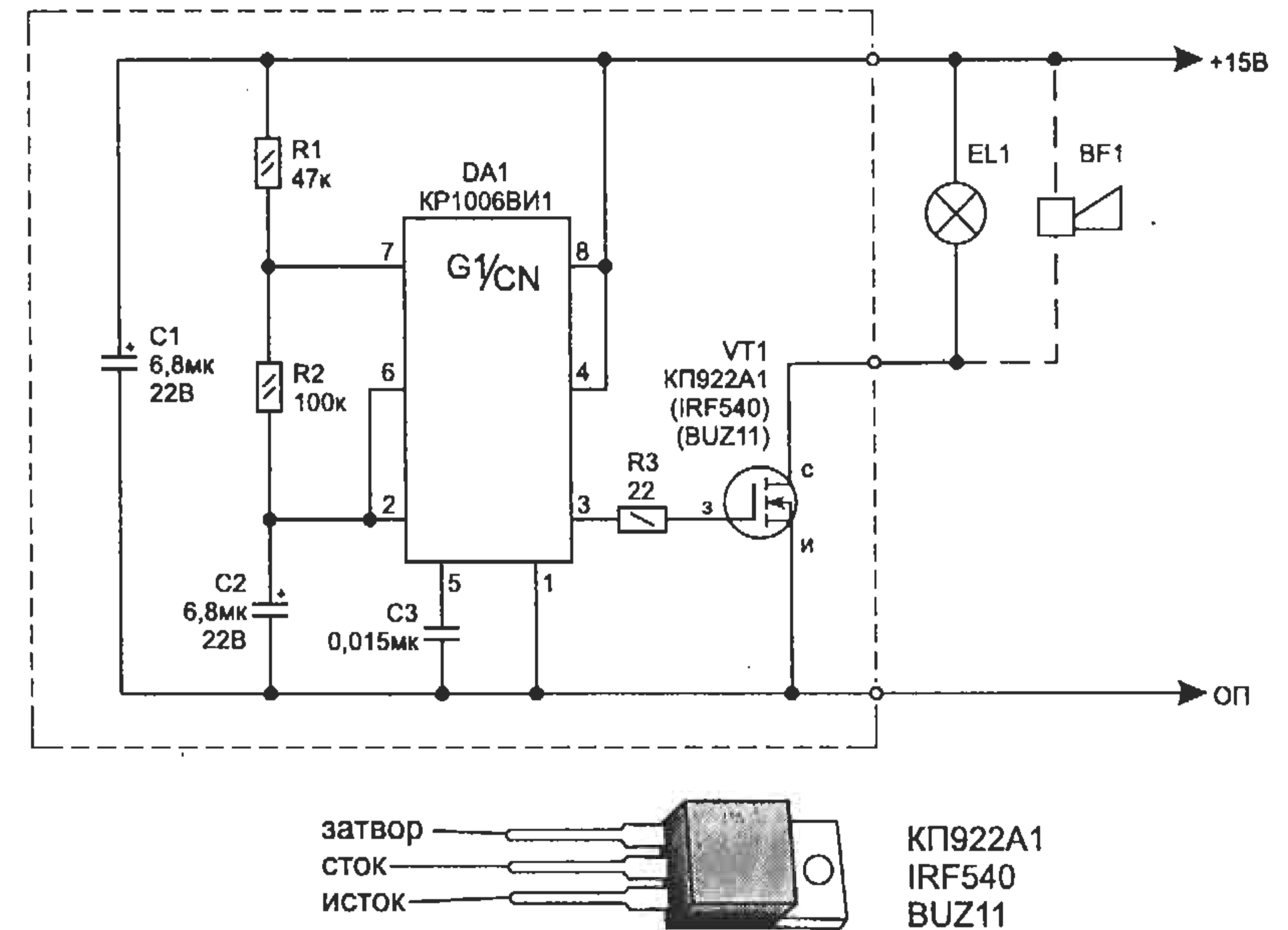


Рис. 4.1. Схема прерывателя тока на интегральном таймере и полевом транзисторе

Рабочая частота автогенератора зависит от номиналов элементов C2-R2-R1 и может меняться в широких пределах

$$F=1,44/(R1+2\cdot R2)C2.$$

Для указанных на схеме значений она будет около 1 Гц.

Второй вариант схемы коммутатора выполнен с задающим генератором на КМОП инверторах (рис. 4.2). Частота автогенератора зависит от номиналов C2-R1.

Так как полевой транзистор с изолированным затвором управляется статическим зарядом и не требует большого тока в затворе, на него можно подавать сигнал прямо с выхода КМОП микросхем. Параллельное включение элементов DD1.3...DD1.6 уменьшает выходное со-

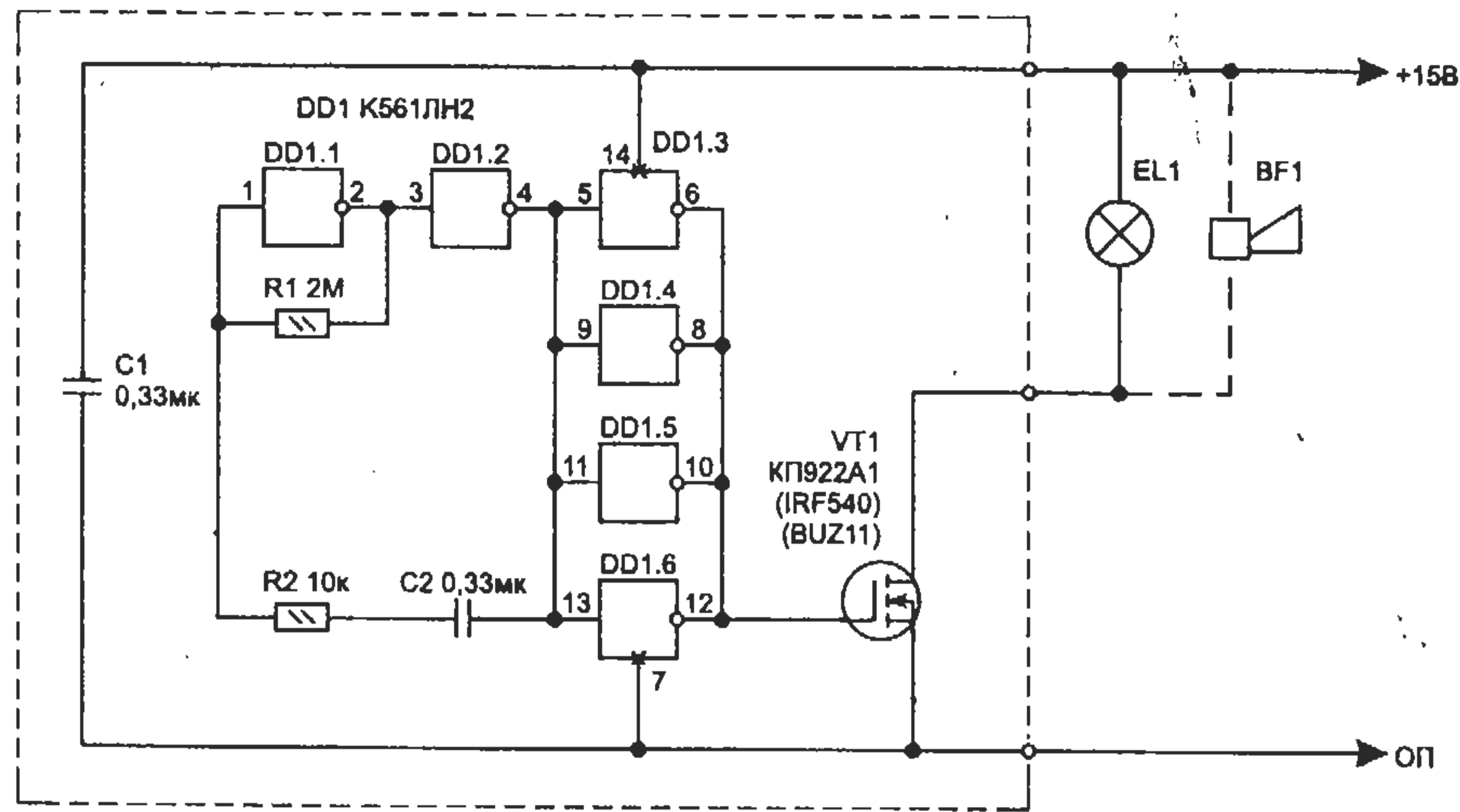


Рис. 4.2. Схема прерывателя с автогенератором на КМОП микросхеме

противление микросхемы, что при переключении ускоряет рассасывание зарядов, накопленных на емкости затвора VT1.

Большая входная емкость мощных полевых транзисторов объясняется особенностями технологии их изготовления — фактически в одном корпусе находится много транзисторов, включенных параллельно, что позволяет увеличить максимально допустимый рабочий ток.

Аналогичного назначения схему можно выполнить еще проще — без времязадающего конденсатора, если воспользоваться светодиодом со встроенным прерывателем (рис. 4.3). Таких светодиодов в продаже имеется большой ассортимент от разных фирм-производителей (по внешнему виду они ничем не отличаются от обычных светодиодов). В этом случае частота включения нагрузки будет определяться частотой мигания светодиода. Обычно это 1,5...3 Гц и зависит от типа светодиода.

Схему прерывателя можно выполнить и без использования микросхемы, как это показано на рис. 4.4. В ней транзистор КП922А1 при импульсном токе в нагрузке 2,5 А почти не греется. Для всех остальных приведенных схем — если ток в цепи исток-сток транзистора КП922А1 не превышает 0,8 А, то теплоотвод для него не нужен. С увеличением тока увеличивается падение напряжения на сопротивлении открытого канала, что приводит к нагреву. На радиаторе данный транзистор может длительно работать при коммутируемом токе в нагрузке от 5 до 10 А.

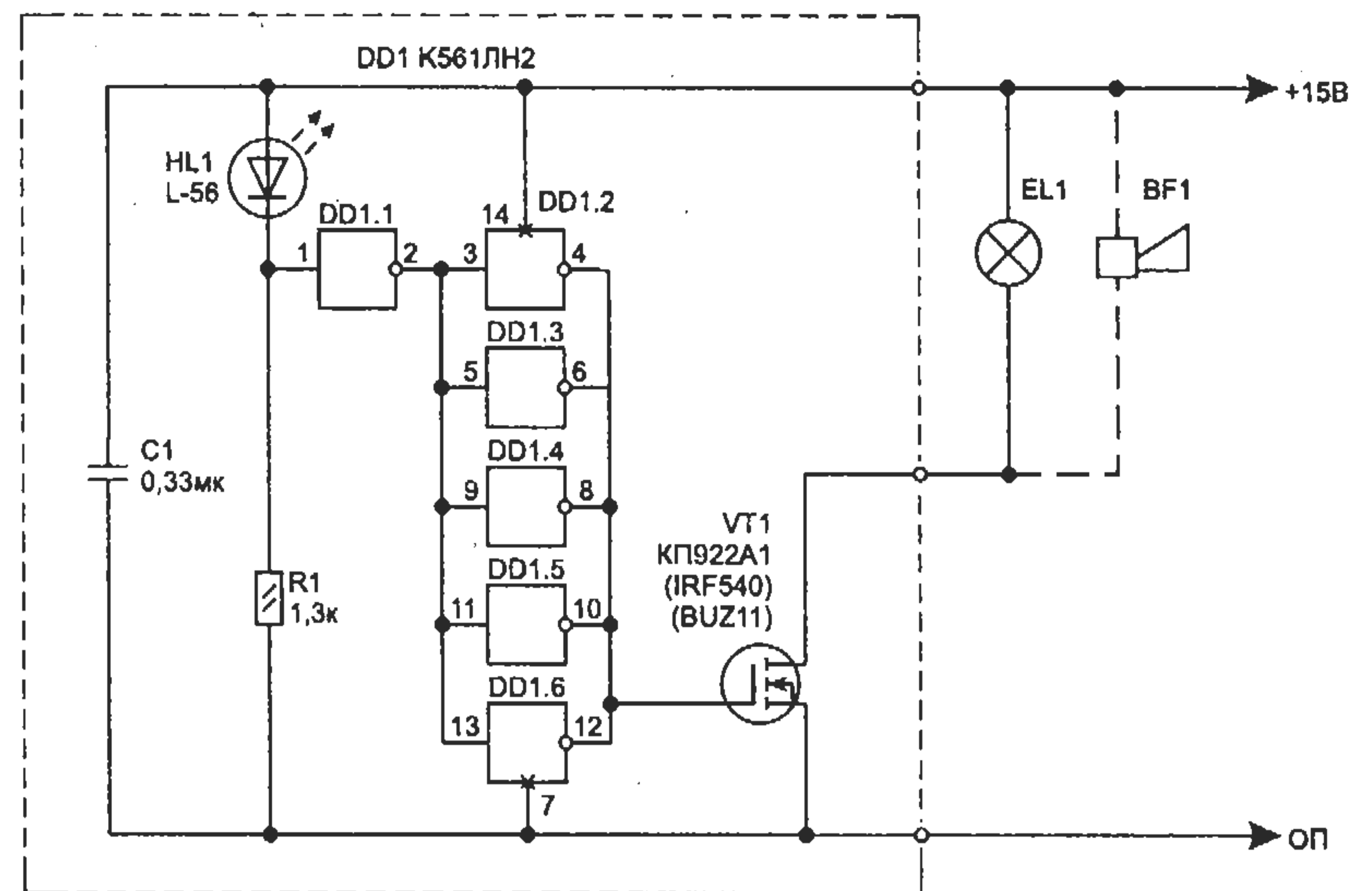


Рис. 4.3. Вариант схемы прерывателя

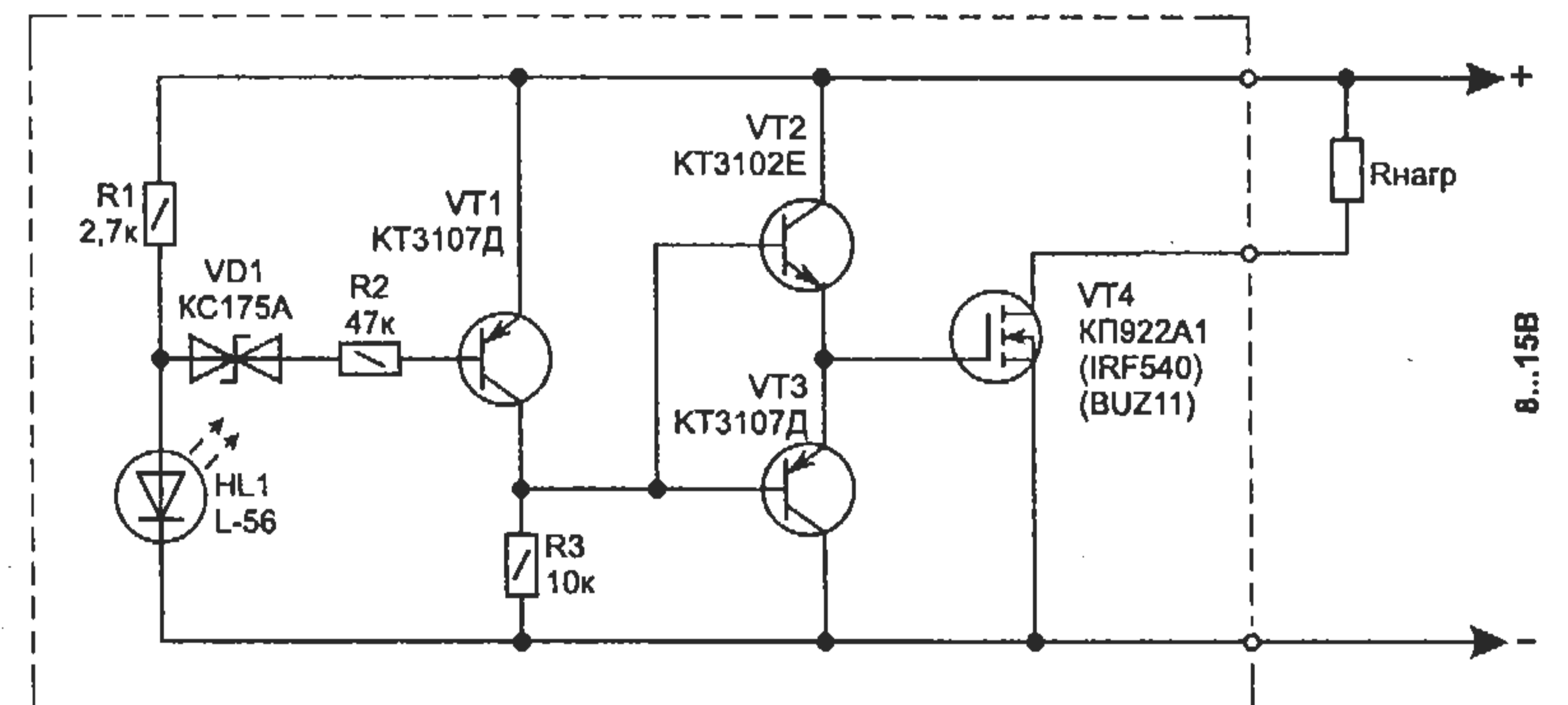


Рис. 4.4. Схема прерывателя, выполненного на транзисторах

Лучшие результаты дает применение импортных полевых транзисторов BUZ11 или IRF540 (аналог КП540). У них при токе стока  $I_c=5$  А ( $U_{пит}=15$  В) на сопротивлении открытого канала сток-исток ( $R_{си}$ ) остается всего 0,2 и 0,3 В соответственно (в отличие от 0,6 В для КП922А1), что позволяет на таком токе работать без теплоотвода. Максимальные возможности указанных на схеме полевых транзисторов, а также их сравнительные характеристики приведены в таблице:

Таблица 4.1. Параметры мощных полевых N-канальных транзисторов

Тип транзистора	Uси max В	Rси max Ом	Smin мА/В	Iс max А	Uзи пор В	Pс max Вт
КП922А1	100	0,1	1000	10	2...8	60
IRF540	100	0,077	8700	28	2...4	125
КП540	100	0,077	8700	28	2...4	150
КП746А	100	0,077	8000	28	2...4	150
BUZ11А	50	0,06	8000	25	2...4	75
BUZ11	50	0,04	4000	30	2...4	75

В таблице максимально допустимая мощность рассеяния (Pс max) указана для работы транзисторов при их установке на теплоотводящем радиаторе. Минимальное напряжение, при котором схемы сохраняют работоспособность, определяется пороговым напряжением затвор-исток (Uзи) используемого транзистора.

Максимальное рабочее напряжение для приведенных схем может быть и выше 15 В, если питание на автогенератор подавать через ограничительный резистор и стабилитрон (КС515А), подключенный параллельно с конденсатором С1.

## 4.2. Мощные коммутаторы переменного напряжения

Наиболее часто для включения мощных потребителей энергии используют специальные электромагнитные реле — пускатели (с группой контактов, рассчитанных на коммутацию токов более 10 А при напряжении 220...380 В). Со временем от интенсивной эксплуатации силовые контакты подгорают и требуют очистки. При работе в прерывистом режиме, например, в цепи включения нагревателей, срок службы такого реле довольно мал. Поэтому в современных устройствах часто используют электронные коммутаторы: тиристоры и симисторы. Они намного надежнее контактов пускателя и более выносливы к импульсным перегрузкам, к тому же имеют меньшие габариты и работают бесшумно. Кроме того, при повреждении в импортных бытовых приборах силового реле быстро найти для него эквивалентную замену не всегда удастся. Приведенная схема (рис. 4.5) позволяет довольно просто решить эту проблему. Схема коммутатора выполнена на двух встречно включенных тиристорах и позволяет заменить вышедшее из строя силовое реле, например, в СВЧ печке. При этом управляющие контакты К1.1 стоят в цепи управ-

ления тиристоров и могут быть низковольтными и слаботочными (100 мА), что обеспечивает практически любое миниатюрное реле.

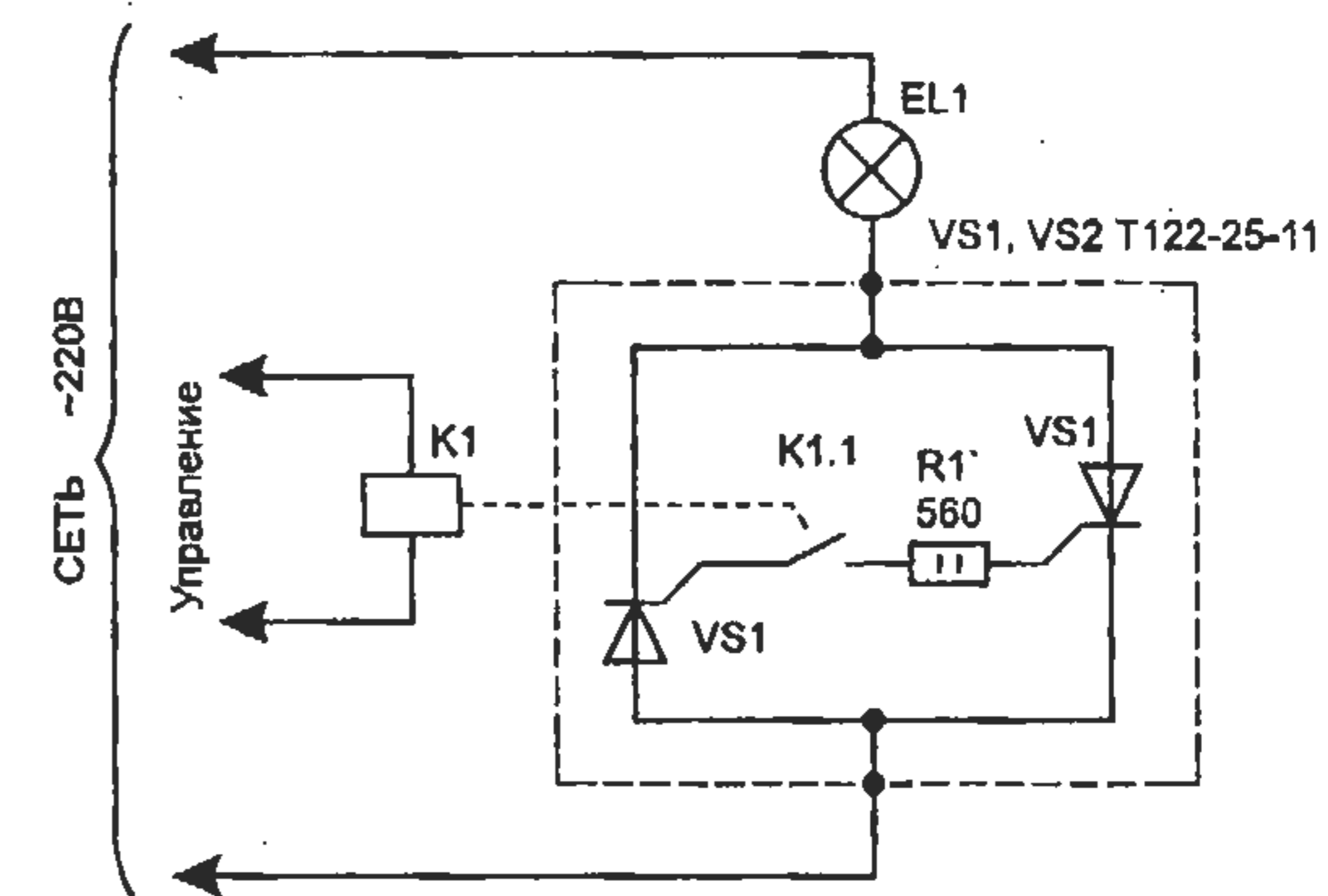


Рис. 4.5. Коммутатор переменного напряжения на тиристорах

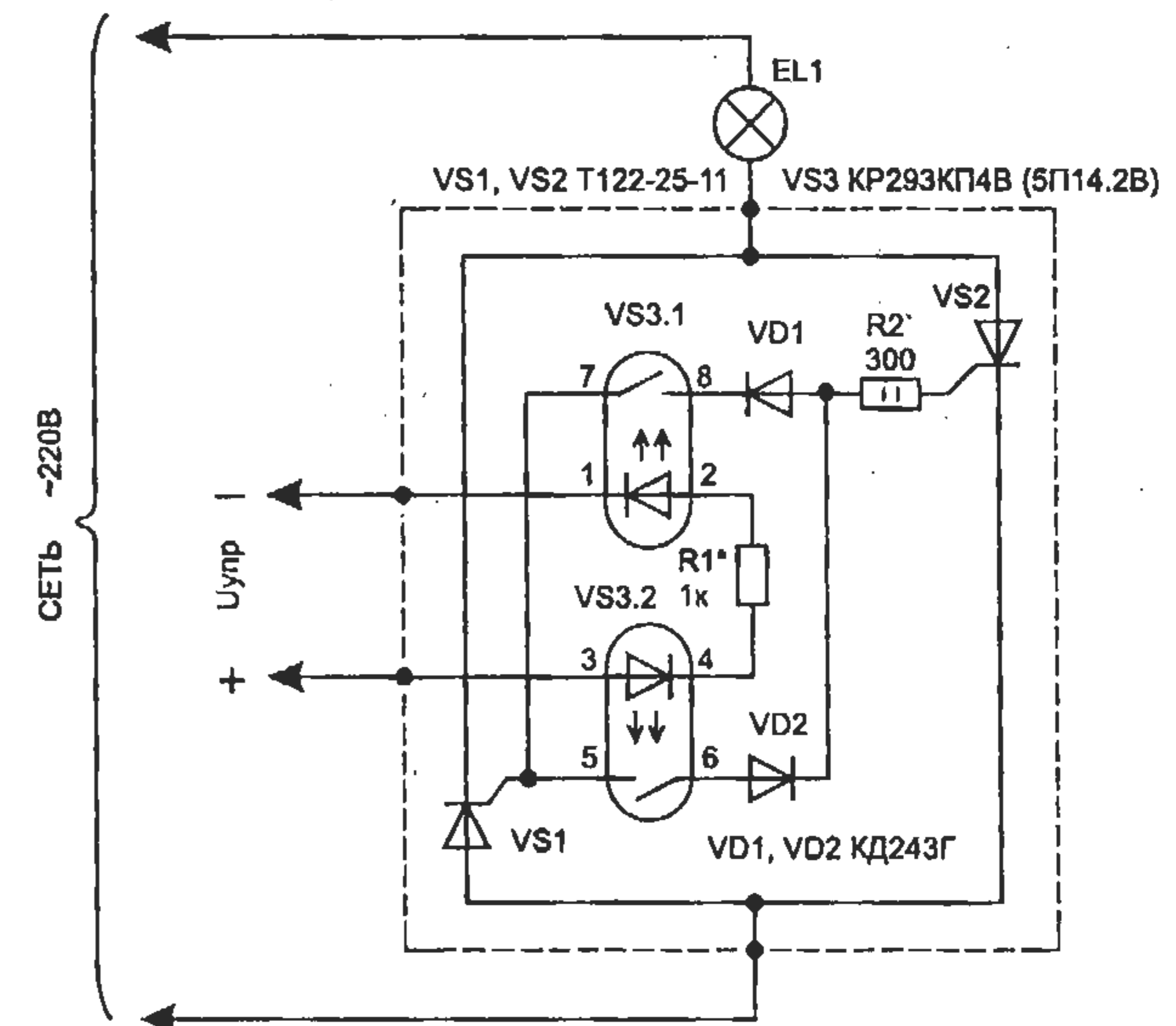


Рис. 4.6. Коммутатор с оптронной развязкой цепи управления

При встречном включении тиристоров на каждой полувольтне сетевого напряжения будет работать только один (соответствующий). Резистор R1 ограничивает ток управления и может иметь номинал 300...560 Ом. При замыкании контактов К1.1 в нагрузку будет поступать неискаженный синус — тиристоры открываются практически в

начале возрастания сетевого напряжения. В процессе работы такой коммутатор не создает помех.

Данная схема отличается простотой (за счет использования внутренней структуры тиристоров) и удобна тем, что не требует применения дополнительных элементов для управления открыванием, как это необходимо многим типам симисторов. Поэтому такая схема широко используется в промышленном оборудовании для коммутации силовых цепей при помощи маломощных контактов, например, имеющихся в терморегуляторе.

Для увеличения надежности коммутатора иногда требуется управлять включением нагрузки без применения механических контактов. Схема, показанная на рис. 4.6, позволяет включать нагрузку при подаче напряжения 5...10 В в цепь управления. При этом обеспечивается гальваническая развязка управляющего сигнала от сети при помощи оптронной пары. А для включения нагрузки достаточно тока через внутренние светодиоды около 1 мА. Такую схему можно использовать для дистанционного управления коммутатором.

Общим недостатком приведенных выше схем, так же как и у электромагнитного силового реле, является появление помех в момент включения нагрузки. Это объясняется тем, что момент времени, в который происходит замыкание управляющей цепи тиристоров, не синхронизирован с переходом сетевого напряжения через "0", т. е. включение возможно при действующей максимальной амплитуде напряжения в сети.

При монтаже схемы применялись резисторы МЛТ соответствующей мощности. Тиристоры выбираются в зависимости от нужного максимального тока в нагрузке, а при их работе на больших токах необходимо использовать радиаторы.

### 4.3. Повышающие напряжение импульсные преобразователи

Из всего многообразия видов импульсных источников питания в данной статье рассматриваются только преобразователи, повышающие напряжение с 12 В до 220 В и более. Область применения таких устройств довольно широка и интерес к ним проявляют многие. Так, в Internet на некоторых радиоловительских сайтах импульсным преобразователям посвящены целые разделы, например:

<http://www.port.yuzhny.odessa.ua:8101/~cat/ups/ups.htm>

<http://fribble.cie.rpi.edu/~repairfaq/repair/>

Для данных целей, в зависимости от необходимой мощности в нагрузке, импульсный источник питания обычно выполняется по одноконтурной (до 60...150 Вт) или двухконтурной схеме (от 60 Вт и выше). Существуют также и другие варианты построения схем импульсных преобразователей, но они более сложны для повторения и поэтому здесь рассматриваться не будут.

Каждый из вариантов схемы имеет свои достоинства и недостатки. Так, одноконтурные преобразователи дешевле и проще, но создают больше высокочастотных помех, с которыми приходится бороться. Кроме того, они требуют принятия специальных мер для исключения намагничивания магнитопровода (более сложной получается конструкция трансформатора за счет секционирования обмоток и выполнения зазора в магнитопроводе). Для исключения намагничивания сердечника может использоваться не только зазор в магнитопроводе, но и токовая обратная связь, которая при правильной настройке схемы не позволит войти магнитопроводу в насыщение.

Магнитопровод для работы в одноконтурном преобразователе обычно имеет большие размеры, чем в двухконтурной схеме такой же мощности. Двухконтурная схема исключает намагничивание сердечника магнитопровода за счет противоположного направления протекания тока в первичных обмотках, что позволяет сделать конструкцию трансформатора более простой. Режим работы силовых ключей облегчается, так как они работают поочередно. Это дает возможность получить большую мощность в нагрузке.

Использование современной элементной базы (специализированных микросхем и мощных полевых транзисторов) позволяет сделать такой источник питания малогабаритным и с высоким КПД. Специально разработанные быстродействующие мощные полевые ключи, в отличие от биполярных, имеют меньшее сопротивление канала в открытом состоянии, что снижает на нем потери мощности. Это позволяет уменьшить размеры теплоотвода (иногда вообще отказаться от радиатора) и общие габариты конструкции.

#### 4.3.1. Простейшие схемы одноконтурных преобразователей

На рис. 4.7—4.9 приведены довольно простые схемы, которые нередко используются для питания стробоскопической или маломощной люминесцентной лампы в конструкциях, где не предъявляются высокие требования к параметрам, а главным является низкая цена.

Такие устройства могут найти немало и других применений, например, в качестве первичного повышающего напряжения преобразователя для электрошокового устройства. Они позволяют из постоянного напряжения 3...15 В получать 400 В и более.

Самый простой преобразователь можно выполнить по однотактной схеме. Принцип работы ее основан на свойстве индуктивности накапливать энергию, когда протекает через обмотку ток (при открытом состоянии ключа), а при закрывании ключа — отдавать в нагрузку через вторичную обмотку. Такой режим работы схемы обеспечивается при соответствующей фазировке включения вторичной обмотки. За счет работы преобразователя на повышенной частоте конструкция трансформатора получается малогабаритной.

На рис. 4.7 показана схема преобразователя, выполненного на одном мощном универсальном транзисторе 2N3055 (отечественные аналоги КТ819ГМ, КТ8150А). Подойдут также и другие мощные n-p-n транзисторы с допустимым напряжением  $U_{кэ} > 80$  В и током  $I_{к} > 2$  А. Диод VD1 предохраняет переход эмиттер-база транзистора от воздействия большого обратного напряжения. Этот диод должен быть быстродействующим, например, из серии 1N4007 или КД247. Диод 1N4948 может быть заменен двумя включенными последовательно диодами КД257Д.

В схеме можно использовать транзистор и другой проводимости. Потребуется только изменить полярность подачи напряжения и включения диода VD1.

Резистор R1 обеспечивает нужное положение рабочей точки транзистора и его величину надо подбирать. Резистор R2 ограничивает ток диода VD2 при зарядке конденсатора C3.

Конденсатор C2 подойдет любой неполярный (от него зависит рабочая частота преобразователя). Лучше выбирать частоту не менее 10...30 кГц. А если схема будет работать со стробоскопической лампой, конденсатор C3 должен быть рассчитан на длительную работу с большими пульсациями тока, например типа МБМ или взять более современные, изготовленные на основе полистироловой пленки К78-17, К71-7 и др.

Для изготовления трансформатора T1 подойдет броневой магнитопровод Б30. Намотка выполняется проводом ПЭЛ. Обмотки 1 и 2 содержат по 18 витков проводом диаметром 0,51 мм (обмотка 1 может быть выполнена более тонким проводом — 0,13 мм), 3 — 350 вит-

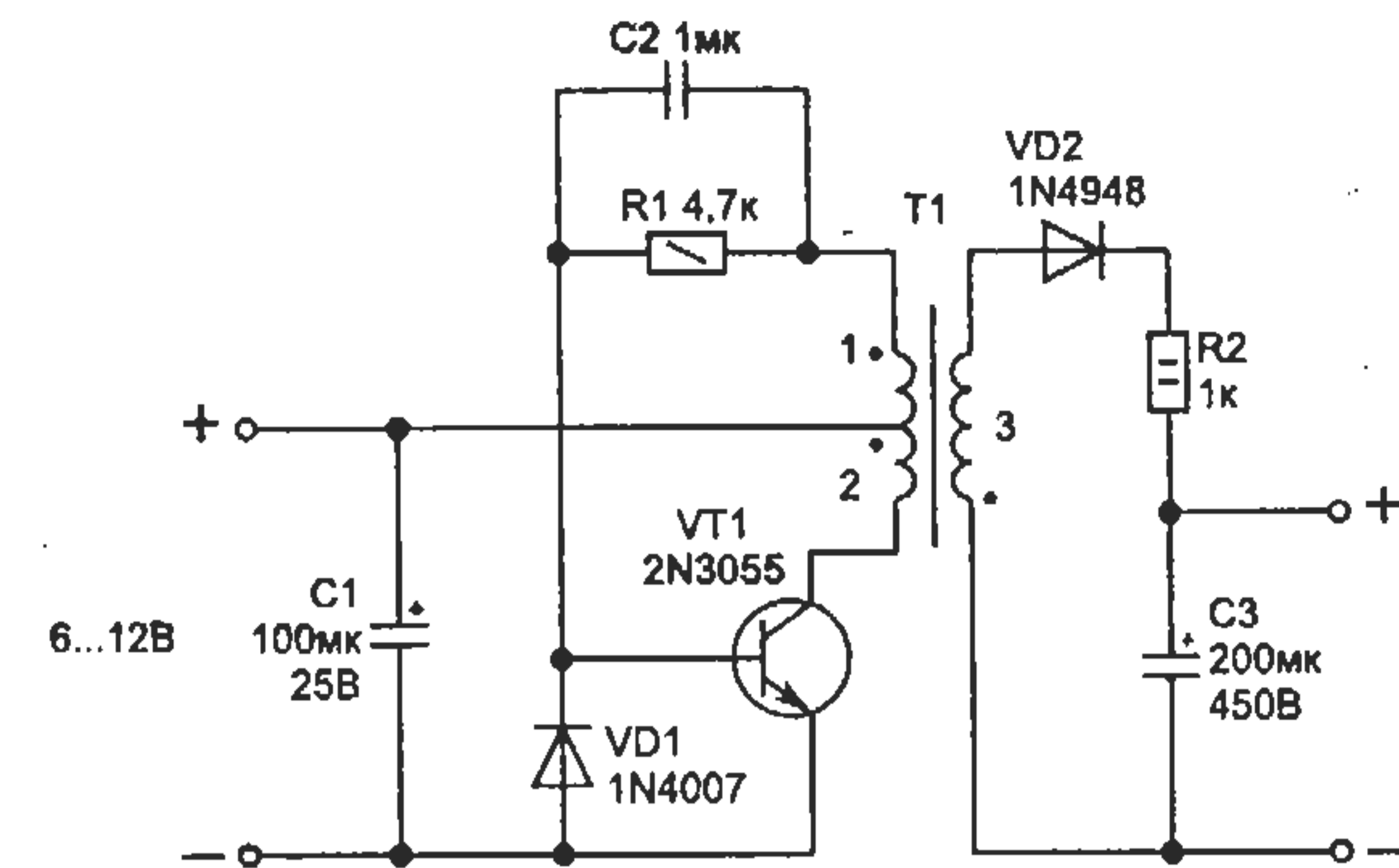


Рис. 4.7. Схема преобразователя для питания стробоскопической лампы

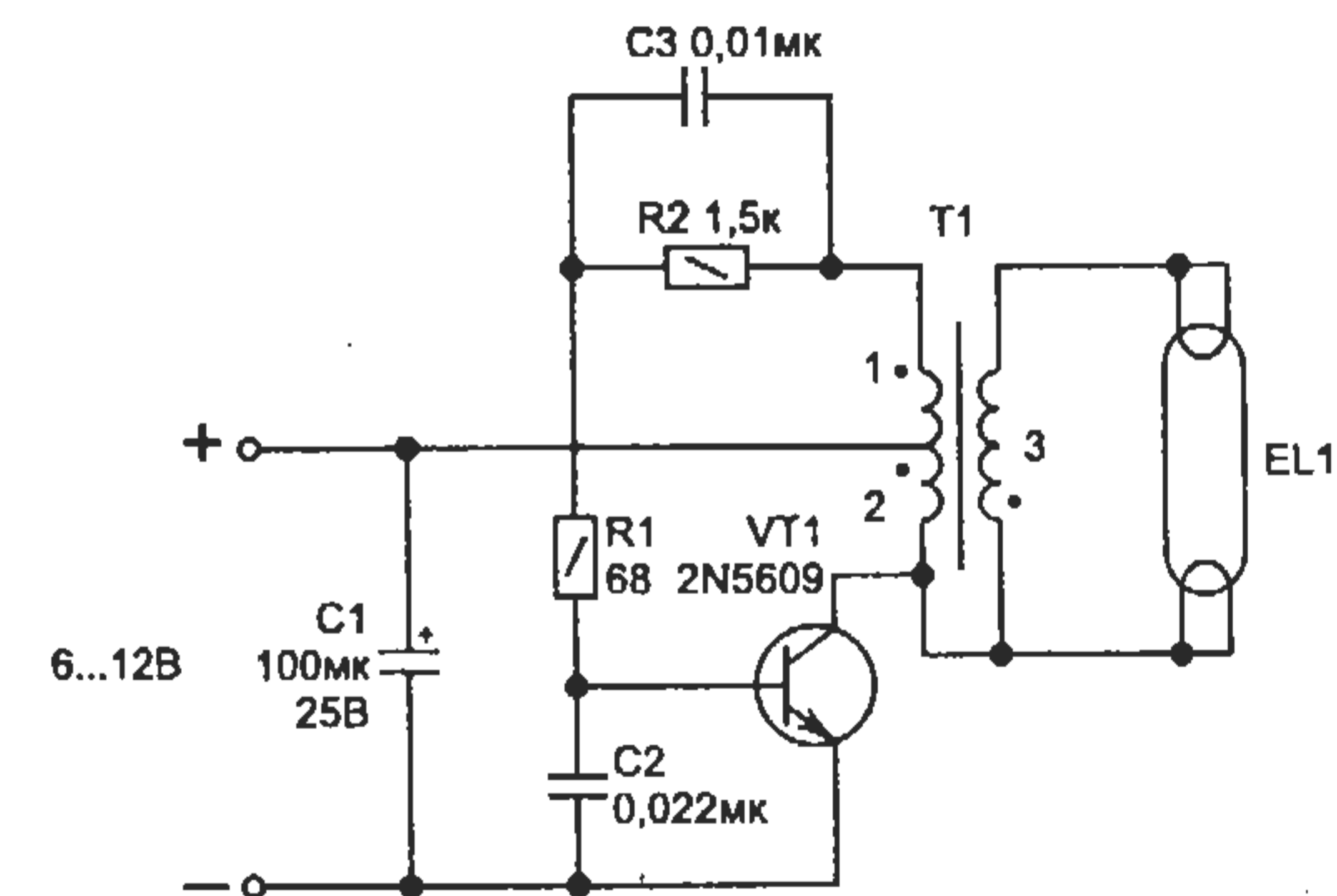


Рис. 4.8. Схема для питания переносной люминисцентной лампы

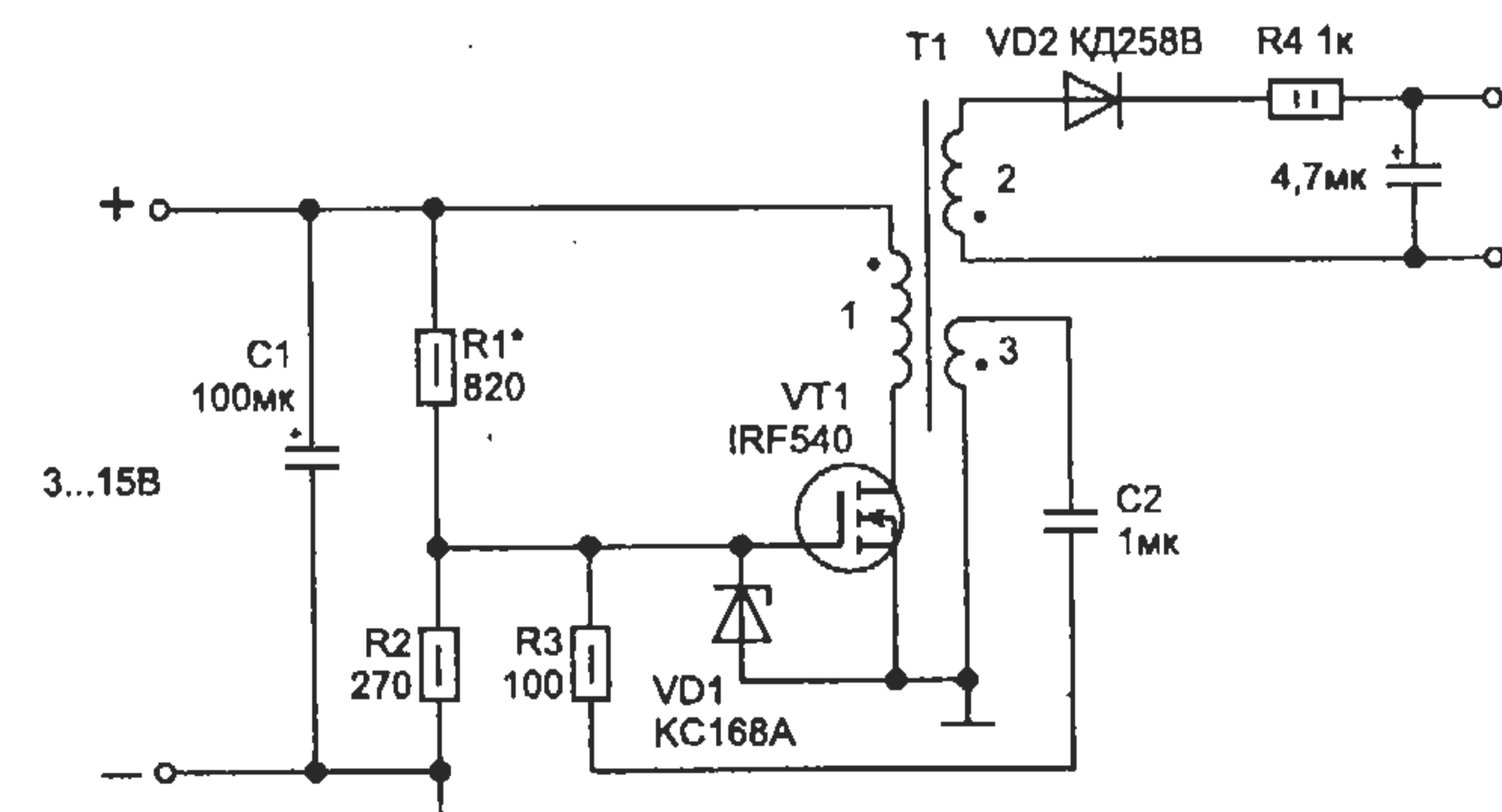


Рис. 4.9. Преобразователь на полевом транзисторе

ков проводом 0,13 мм (число витков во вторичной обмотке зависит от необходимой величины напряжения).

Если от схемы требуется длительная работа, транзистор VT1 должен быть установлен на радиатор.

Схема, показанная на рис. 4.8, является вариантом предыдущей. Она предназначена для питания малогабаритной переносной люминисцентной лампы от 8 батареек (AA).

Трансформатор T1 имеет следующие намоточные данные: обмотка 1 — 15 витков проводом диаметром 0,14 мм, 2 — 20 витков (0,51 мм), 3 — 350 витков (0,14 мм). Магнитопровод можно взять такой же, как и для схемы, приведенной выше, или от применяемых в цветных телевизорах импульсных трансформаторов.

Однотактный преобразователь можно выполнить и на полевом ключе, как это показано на рис. 4.9. Делитель из резисторов R1-R2 обеспечивает такое начальное положение рабочей точки на выходной характеристике транзисторов, при которой возникает автогенерация.

Так как все приведенные выше схемы работают при относительно небольших токах, магнитопровод трансформатора обычно не входит в область насыщения и выполнять зазор между сердечниками нет необходимости.

Лучших характеристик от преобразователя удастся добиться применением специализированных микросхем (см. рис. 4.10).

### 4.3.2. Обеспечивающие высокий КПД однотактные преобразователи

Некоторые привычные бытовые электроприборы, такие как лампа дневного света, фотовспышка и ряд других, иногда бывает удобно использовать в автомобиле.

Так как большинство устройств рассчитаны на питание от сети с действующим напряжением 220 В, нужен повышающий преобразователь. Электробритва или же небольшая лампа дневного света потребляют мощность не более 6...25 Вт. При этом от такого преобразователя часто не требуется переменное напряжение на выходе. Указанные выше бытовые электроприборы нормально работают при питании постоянным или однополярным пульсирующим током.

Первый вариант однотактного (обратноходового) импульсного преобразователя постоянного напряжения 12 В — 220 В выполнен на импортной микросхеме ШИМ-контроллера UC3845N и мощном

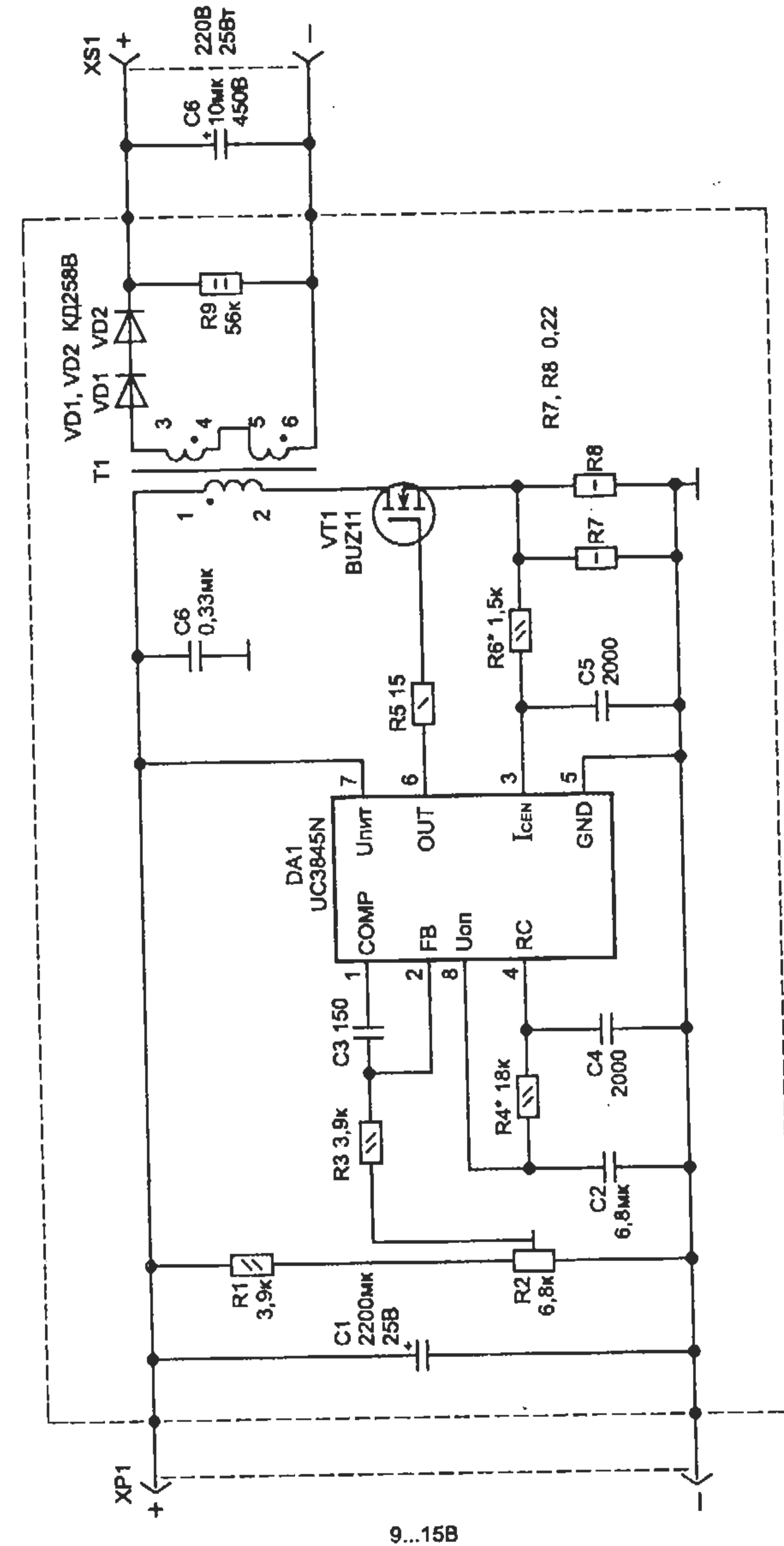


Рис. 4.10. Схема однотактного импульсного преобразователя, повышающего напряжение

N-канальном полевом транзисторе BUZ11 (рис. 4.10). Эти элементы более доступны чем отечественные аналоги, и позволяют добиться высокого КПД от устройства, в том числе и за счет малого падения напряжения исток-сток на открытом полевом транзисторе (КПД преобразователя зависит и от соотношения ширины импульсов, передающих энергию в трансформатор к паузе). Указанная микросхема специально предназначена для выполнения одноктных преобразователей и имеет внутри все необходимые узлы, что позволяет сократить число внешних элементов. У нее имеется сильноточный квазикомплементарный выходной каскад, специально предназначенный для непосредственного управления мощным N-канальным полевым транзистором с изолированным затвором. Рабочая частота импульсов на выходе микросхемы может достигать 500 кГц. Частота определяется номиналами элементов R4-C4 и в приведенной схеме составляет около 33 кГц ( $T=50$  мкс).

Микросхема также содержит схему защиты для отключения работы преобразователя при снижении напряжения питания ниже 7,6 В, что полезно при питании устройств от аккумулятора. Полную информацию о внутренней структуре микросхемы и ее особенностях можно найти в справочнике Л12, стр. 87.

Рассмотрим более подробно работу преобразователя. На рис. 4.11 приведены диаграммы напряжений, поясняющие проходящие процессы. При появлении положительных импульсов на затворе полевого транзистора (рис. 4.11, а) он открывается и на резисторах R7-R8 будут импульсы, показанные на рис. 4.11, в. Наклон вершины импульса зависит от индуктивности обмотки трансформатора и если на вершине имеется резкое увеличение амплитуды напряжения, как это показано пунктиром, это говорит о насыщении магнитопровода. При этом резко увеличиваются потери преобразования, что приводит к нагреву элементов и ухудшает работу устройства. Чтобы устранить насыщение, потребуется уменьшить ширину импульса или увеличить зазор в центре магнитопровода. Обычно бывает достаточно зазора 0,1...0,5 мм.

В момент выключения силового транзистора индуктивность обмоток трансформатора вызывает появление выбросов напряжения, как это показано на рисунках. При правильном изготовлении трансформатора Т1 (секционировании вторичной обмотки) и низковольтном питании амплитуда выброса не достигает опасного для транзистора значения и поэтому в данной схеме специальных мер,

в виде демпфирующих цепей в первичной обмотке Т1, не используется. А чтобы подавить выбросы в сигнале токовой обратной связи, приходящем на вход микросхемы DA1/3, установлен простой RC-фильтр из элементов R6-C5.

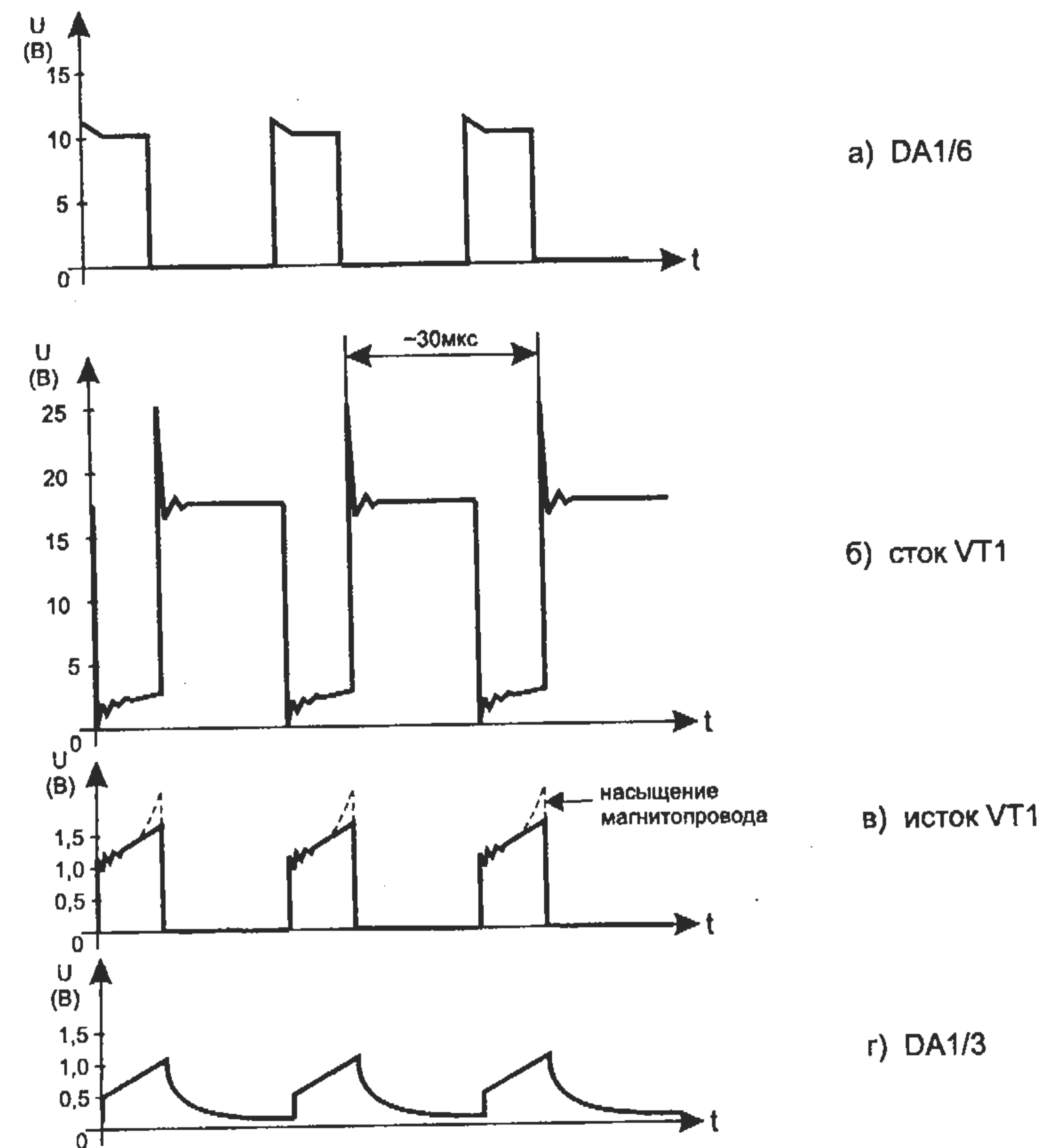


Рис. 4.11. Диаграммы напряжения в контрольных точках схемы

Напряжение на входе преобразователя, в зависимости от состояния аккумулятора, может меняться от 9 до 15 В (что составляет 40%). Чтобы ограничить изменение выходного напряжения, обратная связь по входу снимается с делителя из резисторов R1-R2. При этом выходное напряжение на нагрузке будет поддерживаться в диапазоне 210...230 В ( $R_{нагр}=2200$  Ом), см. табл. 4.2, т. е. меняется не более чем на 10%, что вполне допустимо.

Таблица 4.2. Параметры схемы при изменении напряжения питания

Упит В	Ипотр А	Uвых В	Рпотр Вт	Рнагр Вт	КПД
9	2,76	210	24,84	20	0,80
12	2,11	220	25,32	22	0,87
15	1,80	230	27,00	24	0,89

Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счет автоматического изменения ширины открывающего транзистор VT1 импульса от 20 мкс при  $U_{пит}=9$  В до 15 мкс ( $U_{пит}=15$  В).

Все элементы схемы, кроме конденсатора С6, размещены на односторонней печатной плате из стеклотекстолита размером 90×55 мм (рис. 4.12). Трансформатор Т1 крепится на плате при помощи винта М4×30 через резиновую прокладку, как это показано на рис. 4.13. Транзистор VT1 устанавливается на радиаторе. Конструкция штекера XP1 должна исключать ошибочную подачу напряжения на схему.

Импульсный трансформатор Т1 выполнен с использованием широко распространенных броневых чашек Б30 из магнитопровода М2000НМ1. При этом в центральной части у них должен быть обеспечен зазор 0,1...0,5 мм. Магнитопровод можно приобрести с уже имеющимся зазором или же сделать его при помощи грубой наждачной бумаги. Величину зазора лучше экспериментально подобрать при настройке так, чтобы магнитопровод не входил в режим насыщения, — это удобно контролировать по форме напряжения на истоке VT1 (см. рис. 4.11, в).

У трансформатора Т1 обмотка 1-2 содержит 9 витков проводом диаметром 0,5...0,6 мм, обмотки 3-4 и 5-6 по 180 витков проводом диаметром 0,15...0,23 мм (провод типа ПЭЛ или ПЭВ). При этом первичная обмотка (1-2) располагается между двумя вторичными, т. е. сначала наматывается обмотка 3-4, а потом 1-2 и 5-6.

При подключении обмоток трансформатора важно соблюдать показанную на схеме фазировку. Неправильная фазировка не приведет к повреждению схемы, но работать как нужно она не будет.

При сборке использованы детали: подстроечный резистор R2 — СПЗ-19а, постоянные резисторы R7 и R8 типа С5-16М на 1 Вт, остальные могут быть любого типа; электролитические конденсаторы С1 — К50-35 на 25 В, С2 — К53-1А на 16 В, С6 — К50-29В на 450 В, а остальные типа К10-17. Транзистор VT1 установлен на небольшой (по размерам платы) радиатор, сделанный из дюралевого профиля.

Настройка схемы заключается в проверке правильной фазировки подключения вторичной обмотки при помощи осциллографа, а также установки резистором R4 нужной частоты. Резистором R2 устанавливается выходное напряжение на гнездах XS1 при включенной нагрузке.

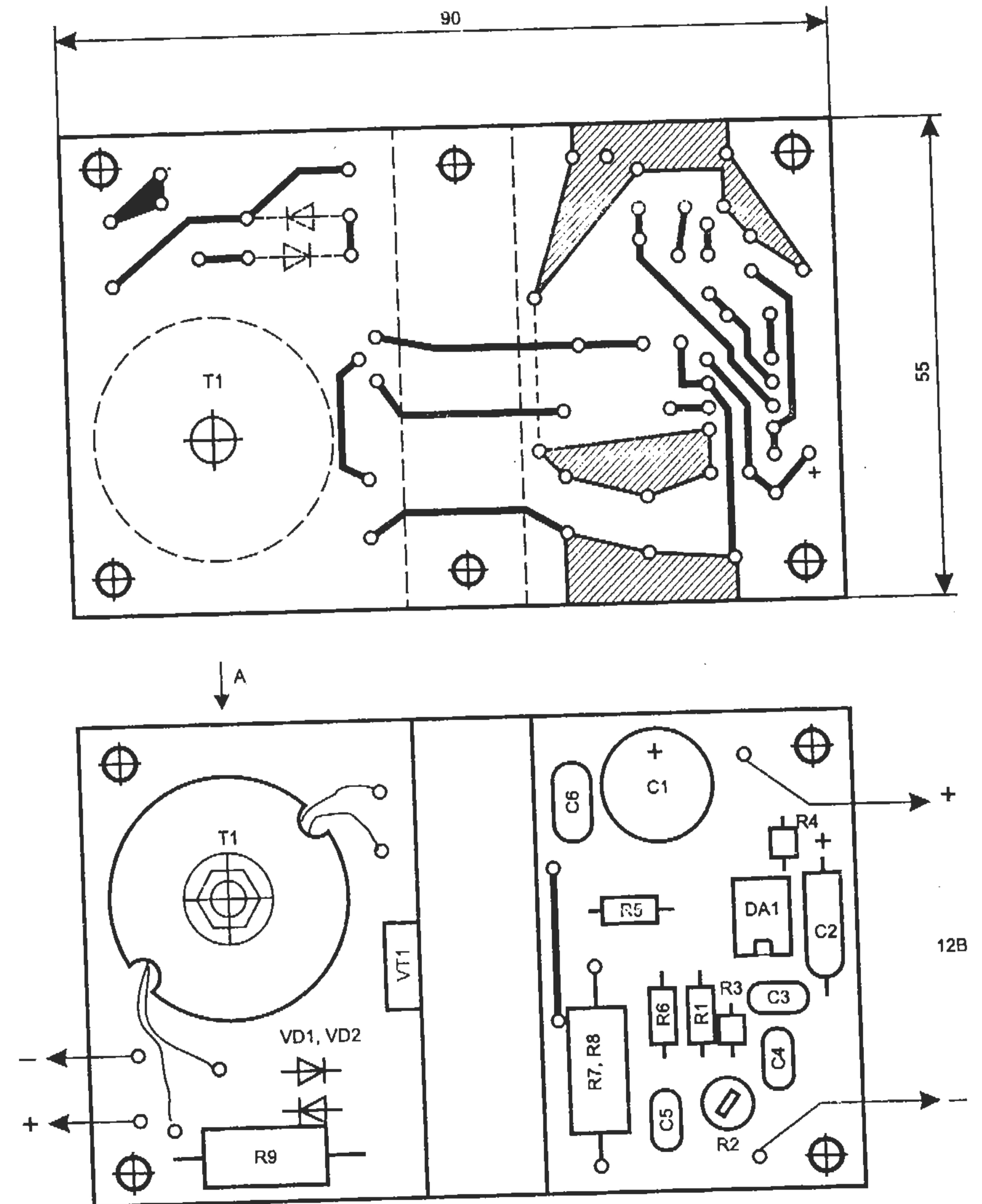


Рис. 4.12. Топология печатной платы и расположение элементов



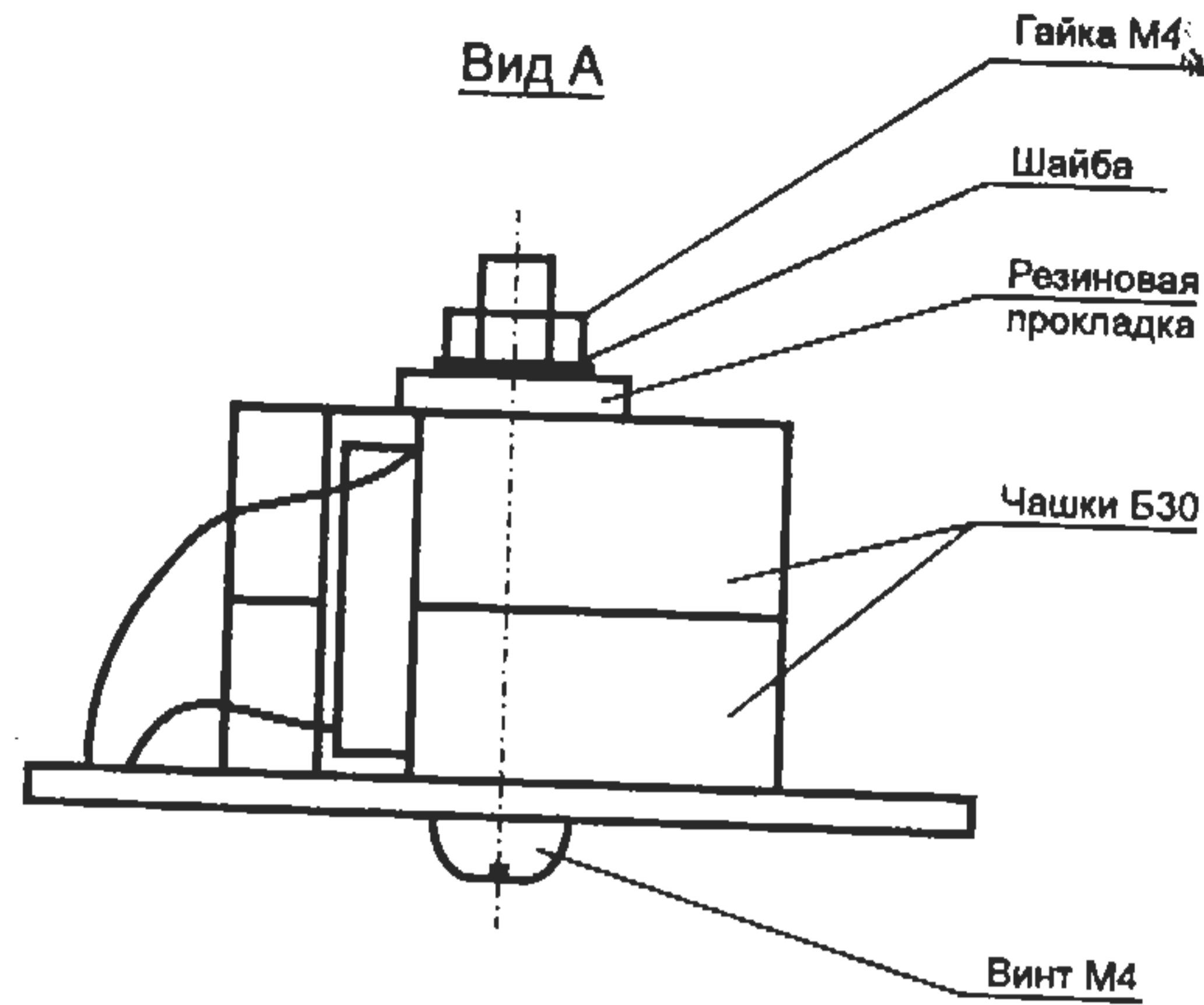


Рис. 4.13. Вид крепления трансформатора Т1

Приведенная схема преобразователя предназначена для работы с заранее известной мощностью нагрузки (6...30 Вт — постоянно подключенной). В холостом ходу напряжение на выходе схемы может достигать 400 В, что не для всех устройств допустимо, так как может привести к их повреждению из-за пробоя изоляции.

Если преобразователь предполагается использовать в работе с нагрузкой разной мощности, к тому же включаемой во время работы преобразователя, то необходимо снимать сигнал обратной связи по напряжению с выхода. Вариант такой схемы показан на рис. 4.14. Это не только позволяет ограничить выходное напряжение схемы в холостом ходу величиной 245 В, но и снизит потребляемую мощность в этом режиме примерно в 10 раз ( $I_{потр}=0,19$  А;  $P=2,28$  Вт;  $U_n=245$  В).

Трансформатор Т1 имеет такой же магнитопровод и намоточные данные, что и в схеме (рис. 4.10), но содержит дополнительную обмотку (7-4) — 14 витков проводом ПЭЛШО диаметром 0,12...0,18 мм (она наматывается последней). Остальные обмотки выполнены аналогично, как и в выше описанном трансформаторе.

Для изготовления импульсного трансформатора можно также использовать квадратные сердечники серии КВ12 из феррита М2500НМ — число витков в обмотках в этом случае не изменится. Для замены магнитопроводов броневых (Б) на более современные квадратные (КВ) можно воспользоваться табл. 4.3.

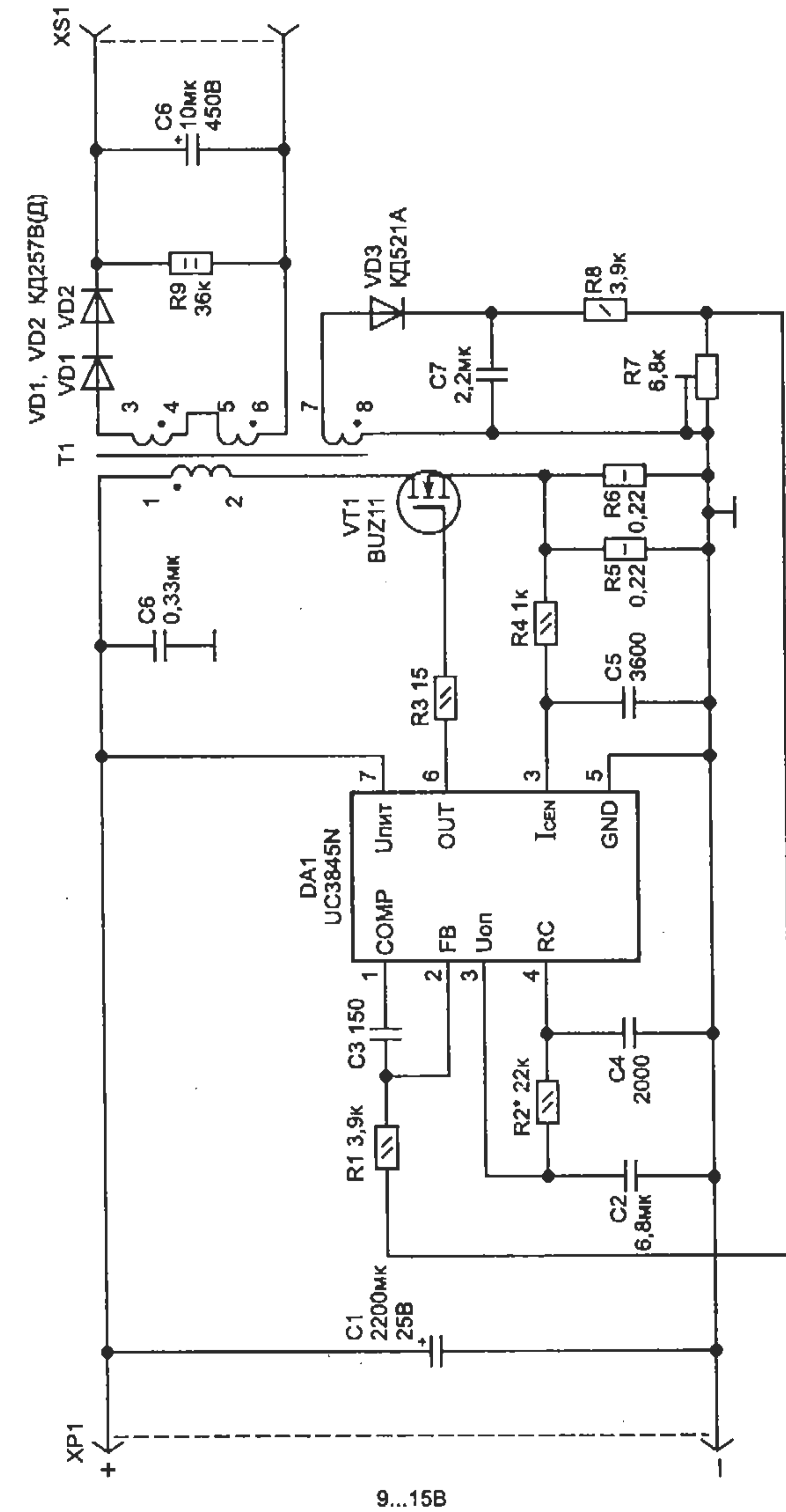


Рис. 4.14. Схема однотактного преобразователя с ограничением максимального выходного напряжения в холостом ходу

Таблица 4.3. Рекомендуемые варианты замены магнитопровода

Б14	Б18	Б22	Б26	Б30	Б36
КВ4 и КВ5	КВ6	КВ8	КВ10	КВ12	КВ14

Сигнал обратной связи по напряжению с обмотки 7-8 через диод поступает на вход (2) микросхемы, что позволяет более точно поддерживать выходное напряжение в заданном диапазоне, а также обеспечить гальваническую развязку между первичной и выходной цепью. Параметры такого преобразователя, в зависимости от питающего напряжения, приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Параметры схемы при изменении напряжения питания

Упит В	Iпотр А	Uвых В	Pпотр Вт	Pнагр Вт	КПД
9	2,81	205	25,29	19,1	0,76
12	2,32	220	27,84	22,0	0,79
15	1,78	220	26,70	22,0	0,82

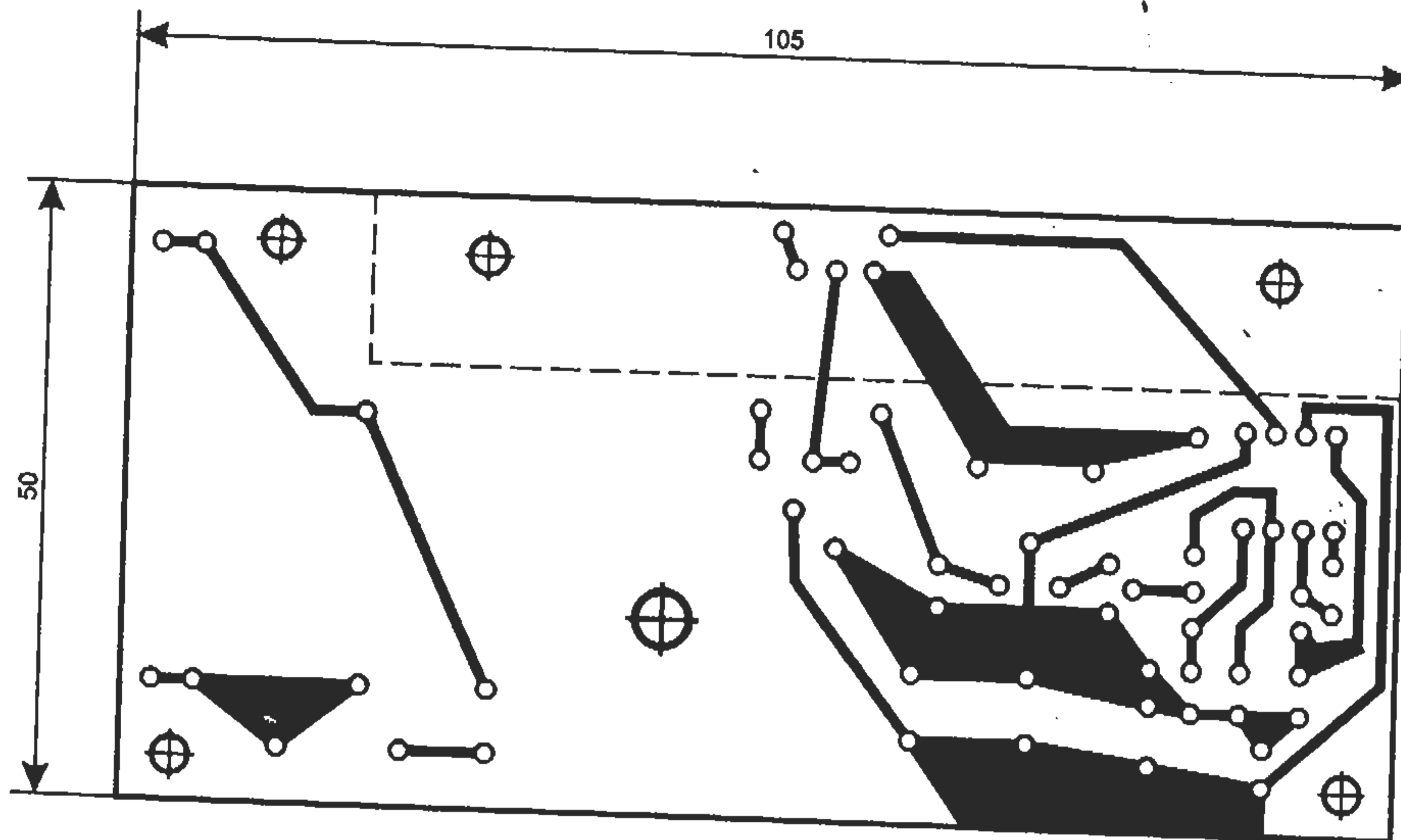
Еще немного повысить КПД описанных преобразователей можно, если импульсные трансформаторы закреплять на плате диэлектрическим винтом или термостойким клеем. Вариант топологии печатной платы для сборки схемы приведен на рис. 4.15.

При помощи такого преобразователя можно питать от бортовой сети автомобиля электробритвы "Агидель", "Харьков" и ряд других устройств.

### 4.3.3. Двухтактные преобразователи напряжения 12 — 220 В

В двухтактных преобразователях более эффективно используется магнитопровод импульсного трансформатора. В таких схемах не требуется бороться с намагничиванием сердечника, что позволяет уменьшить его габариты. Выходное напряжение получается симметричным. Кроме того, транзисторы преобразователя работают в более легком режиме.

Иногда для небольшой мощности (до 15 Вт) используют самый простой преобразователь, выполненный по схеме автогенератора (рис. 4.16, а). Эта схема не критична к применяемым деталям, но подбор рабочей точки режима работы транзисторов при помощи резистора R2 может улучшить характеристики устройства (иногда па-



Вид А (рис. 4.10)

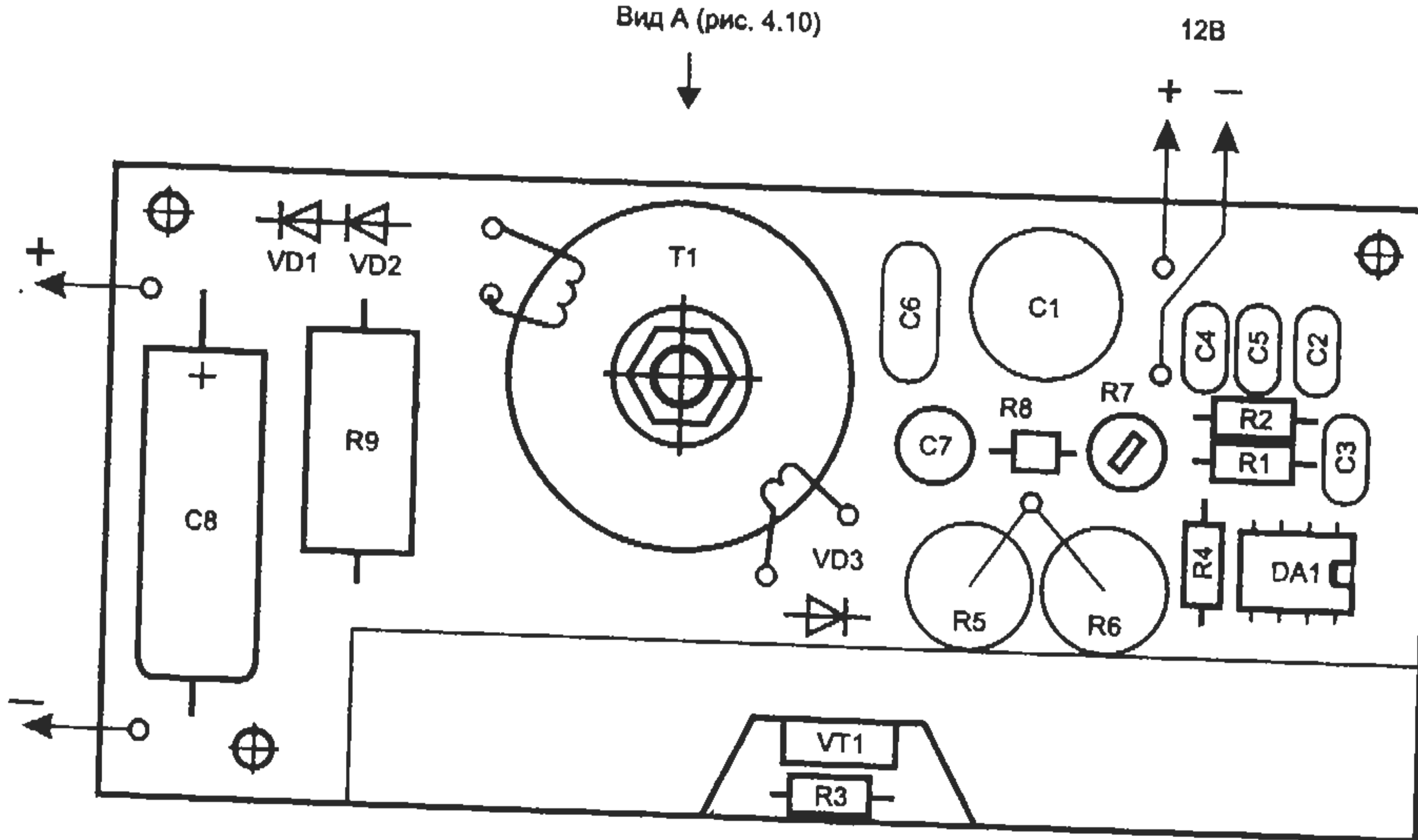


Рис. 4.15. Топология печатной платы и расположение элементов

раллельно R2 устанавливают конденсатор). Делитель из резисторов R1-R2 обеспечивает необходимый начальный ток для запуска работы автогенератора.

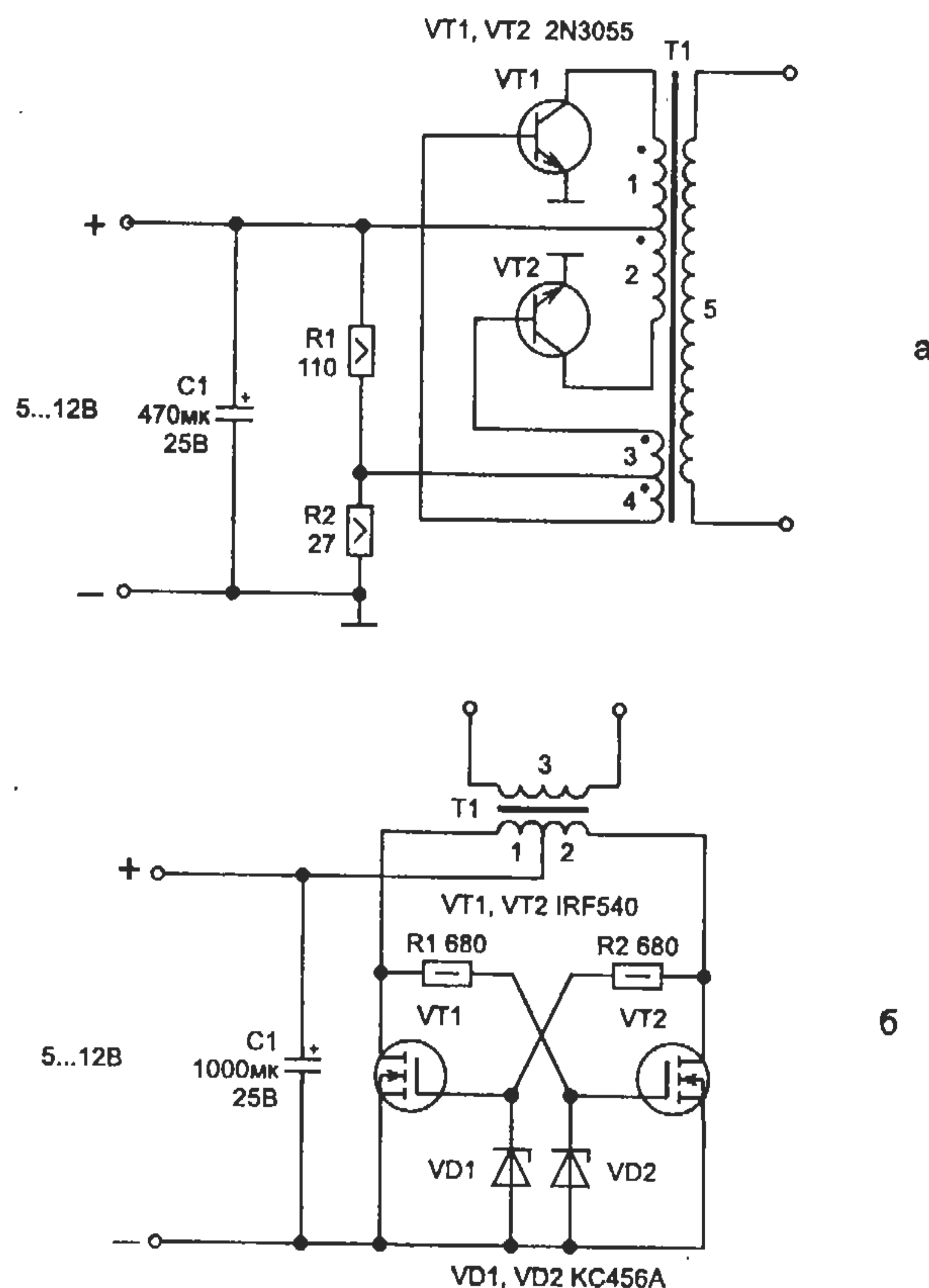


Рис. 4.16. Схемы двухтактных автогенераторов

Используемые универсальные транзисторы 2N3055 заменяются подобными отечественными КТ818ГМ, КТ8150А, а если изменить полярность подаваемого питания, то можно применять и р-п-р транзисторы. Питательное напряжение схемы может быть от 12 до 24 В. Для длительной работы устройства транзисторы необходимо установить на радиаторы.

Трансформатор может быть выполнен на ферритовом М2000НМ1 кольцевом магнитопроводе, его рабочее сечение зависит

от мощности в нагрузке. Для упрощенного выбора можно воспользоваться рекомендациями, опубликованными в Л13 (см. табл. 4.5).

Таблица 4.5. Допустимая максимальная мощность для кольцевых ферритовых магнитопроводов марки М2000НМ1

Типоразмер	Мощность нагрузки, Вт при рабочей частоте		
	F=10 кГц	F=50 кГц	F=100 кГц
К10х6х3	0,5	5,5	7,0
К10х6х4,5	1,0	7,5	9,0
К10х10х4,5	8,0	28,0	34,0
К20х10х5	12,0	42,0	51,0
К20х12х6	22,0	77,0	94,0
К28х16х9	66,0	210,0	250,0
К38х24х7	132,0	400,0	540,0
К40х25х11	230,0	720,0	900,0

При изготовлении трансформатора Т1 обмотки 1 и 2 наматываются одновременно, но фазировка подключения их должна соответствовать показанной на схеме. Для сечения кольцевого магнитопровода типоразмера К32х20х6 обмотки 1 и 2 содержат по 8 витков (провод ПЭЛ диаметром 1,2...0,81 мм); 3 и 4 по 2 витка (0,23 мм); 5 — число витков вторичной обмотки зависит от необходимого напряжения (0,1...0,23 мм).

С помощью этой схемы можно получать напряжение до 30 кВ, если применить магнитопровод от трансформаторов, используемых в современных телевизорах.

Аналогичная схема автогенератора, выполненная на полевых транзисторах, приведена на рис. 4.16, б. Она позволяет использовать более простой трансформатор, в котором не нужны обмотки обратной связи. Стабилитроны VD1, VD2 предотвращают появление на затворах транзисторов опасных напряжений.

Рабочая частота таких схем задается параметрами магнитопровода трансформатора и индуктивностью обмоток, так как от этого зависит задержка сигнала обратной связи (лучше если частота будет находиться в диапазоне 20...50 кГц).

В качестве недостатка данных схем можно отметить низкий КПД, что затрудняет их применение при большой мощности, а также нестабилизированное выходное напряжение, которое может сильно меняться в зависимости от изменения напряжения питания.

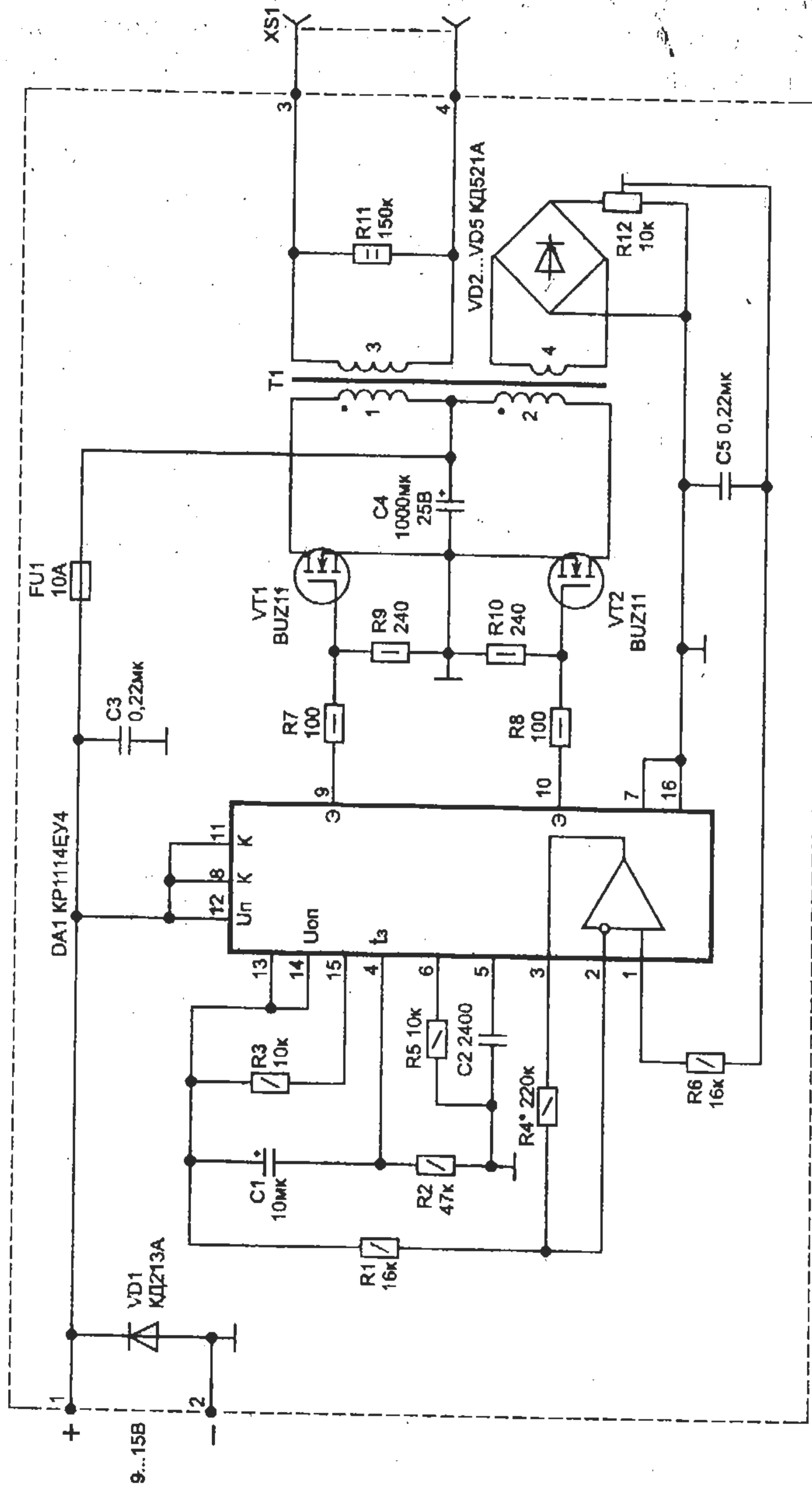


Рис. 4.17. Схема двухтактного импульсного преобразователя

Более удачная схема двухтактного преобразователя, выполненная с использованием специализированной микросхемы (рис. 4.17), отличается высоким КПД и может поддерживать стабильное напряжение на нагрузке.

Преобразователь выполнен на широко распространенной микросхеме ШИМ-контроллере 1114EY4 (полный импортный аналог TL494), что позволяет сделать схему довольно простой. В нормальном состоянии (при нулевом напряжении на затворе) транзисторы VT1, VT2 закрыты и открываются импульсами с соответствующих выходов микросхемы. Резисторы R7-R9 и R8-R10 ограничивают выходной ток микросхемы, а также величину напряжения на затворе ключей. Цепь из элементов C1-R2 обеспечивает плавный выход на рабочий режим при включении питания (постепенное увеличение ширины импульсов на выходах микросхемы). Диод VD1 предохраняет повреждение элементов схемы при ошибочном подключении полярности питания.

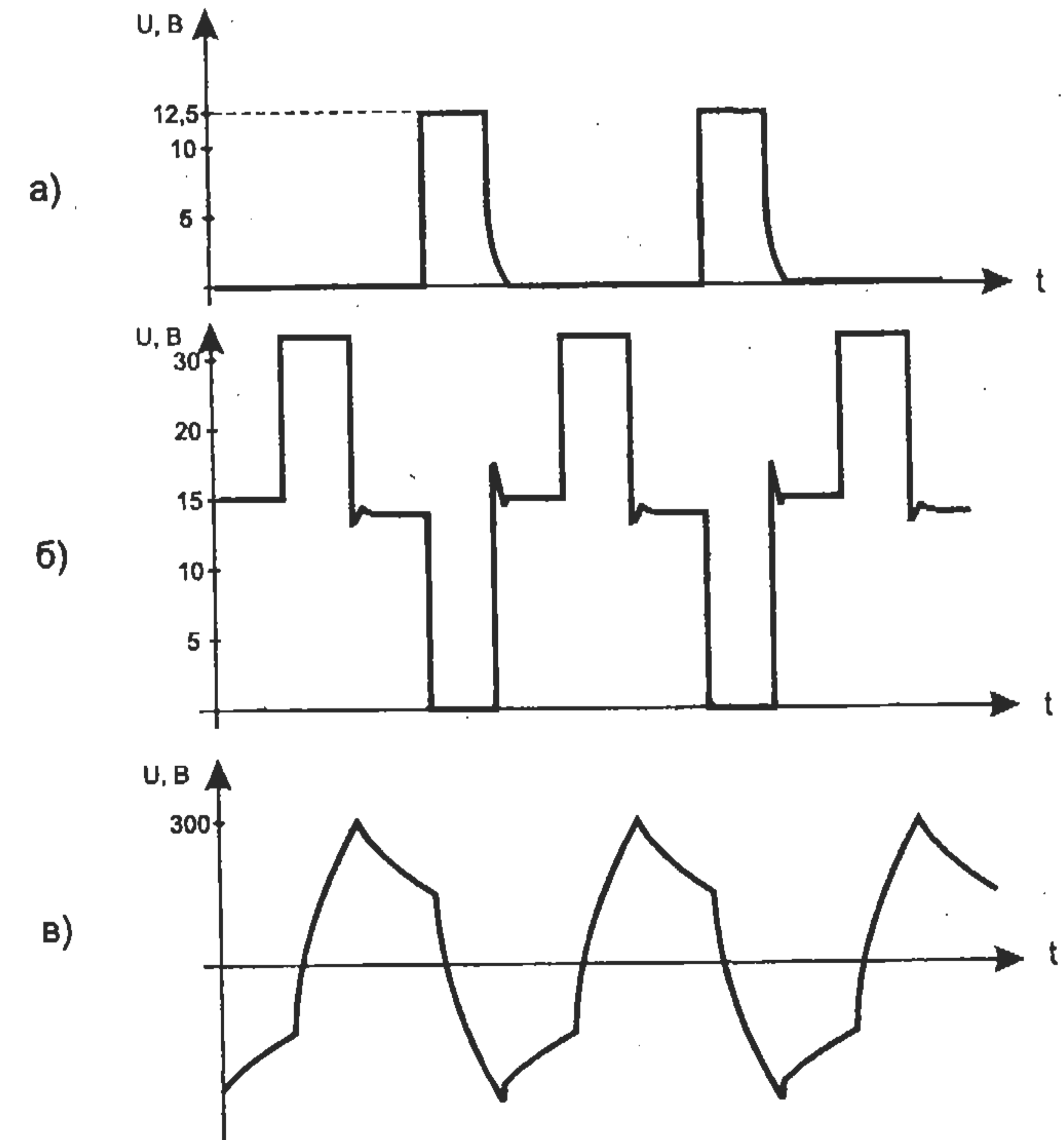


Рис. 4.18. Диаграммы напряжений

Диаграммы напряжений, поясняющие работу, показаны на рис. 4.18. Как видно на рисунке (а), задний фронт импульса имеет большую длительность, чем передний. Это объясняется наличием емкости затвора полевого транзистора, заряд которой рассасывается через резистор R9 (R10) во время, когда выходной транзистор микросхемы закрыт. Это увеличивает время закрывания ключа. Так как в открытом состоянии на полевом транзисторе падает напряжение не более 0,1 В, потери мощности в виде небольшого нагрева VT1 и VT2 происходят в основном за счет медленного закрывания транзисторов (именно этим ограничена максимальная допустимая мощность нагрузки).

Параметры данной схемы при работе на лампу мощностью 100 Вт приведены в табл. 4.6. В холостом ходу потребляемый ток составляет 0,11 А (9 В) и 0,07 А (15 В). Рабочая частота преобразователя около 20 кГц.

Таблица 4.6. Основные параметры схемы

Упит В	Iпотр А	Uвых В	Pпотр Вт	Pнагр Вт	КПД
12	7,9	200	94,8	82	0,87

Трансформатор Т1 выполнен на двух сложенных вместе кольцевых сердечниках из феррита марки М2000НМ1 типоразмера К32х20х6. Параметры обмоток указаны в табл. 4.7. До намотки острые грани сердечника необходимо закруглить надфилем или грубой наждачной бумагой. При изготовлении трансформатора сначала наматывается вторичная обмотка. Намотка выполняется виток к витку, в один слой с последующей изоляцией лакотканью или фторопластовой лентой. Первичные обмотки 1 и 2 наматываются двумя проводами одновременно, как это показано на рис. 4.19 (равномерно распределив витки на магнитопроводе). Такая намотка позволяет значительно уменьшить выбросы напряжения на фронтах при закрывании полевых ключей.

Таблица 4.7. Параметры обмоток трансформатора Т1

Обмотка	Число витков	Провод	Индуктивность
1	8	ПЭЛ 0,8...1,0	200 мкГн
2	8	ПЭЛ 0,8...1,0	200 мкГн
3	300	ПЭЛ 0,25	318 мГн
4	10	ПЭЛШО 0,25	97 мкГн

Транзисторы устанавливаются на теплоотвод, в качестве которого применен дюралевый профиль (рис. 4.20). Радиаторы закрепляются на краях печатной платы. Односторонняя печатная плата из стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм имеет размеры 110х90 мм (см. рис. 4.21 и 4.22).

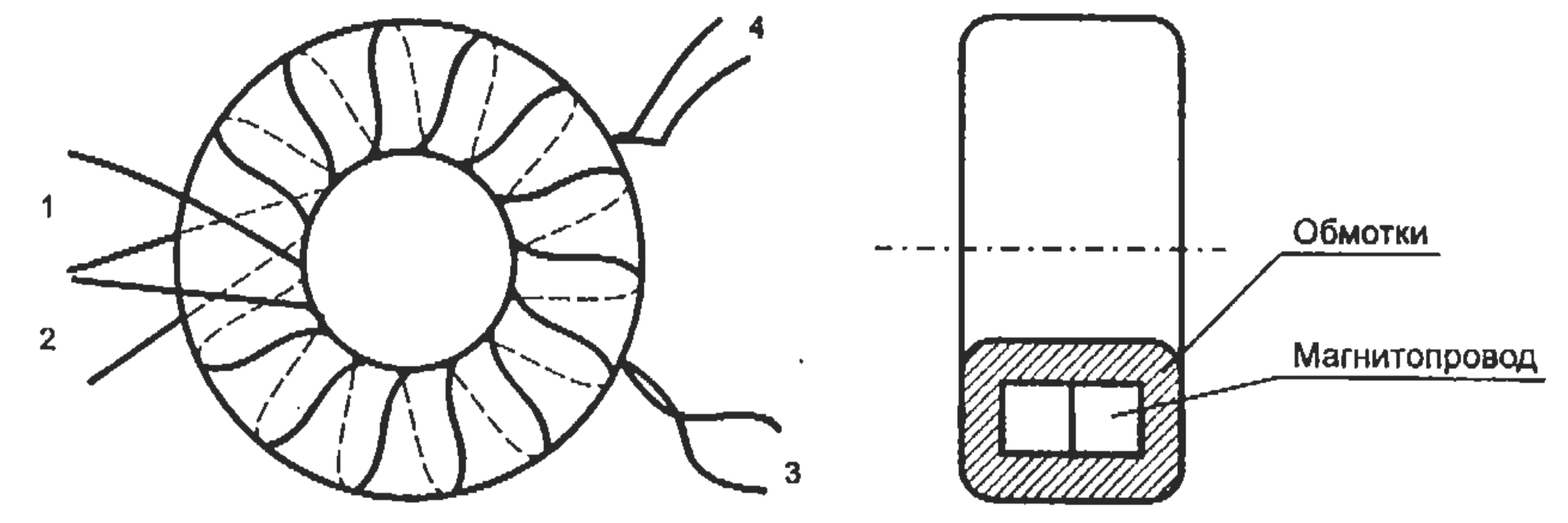


Рис. 4.19. Вид конструкции импульсного трансформатора

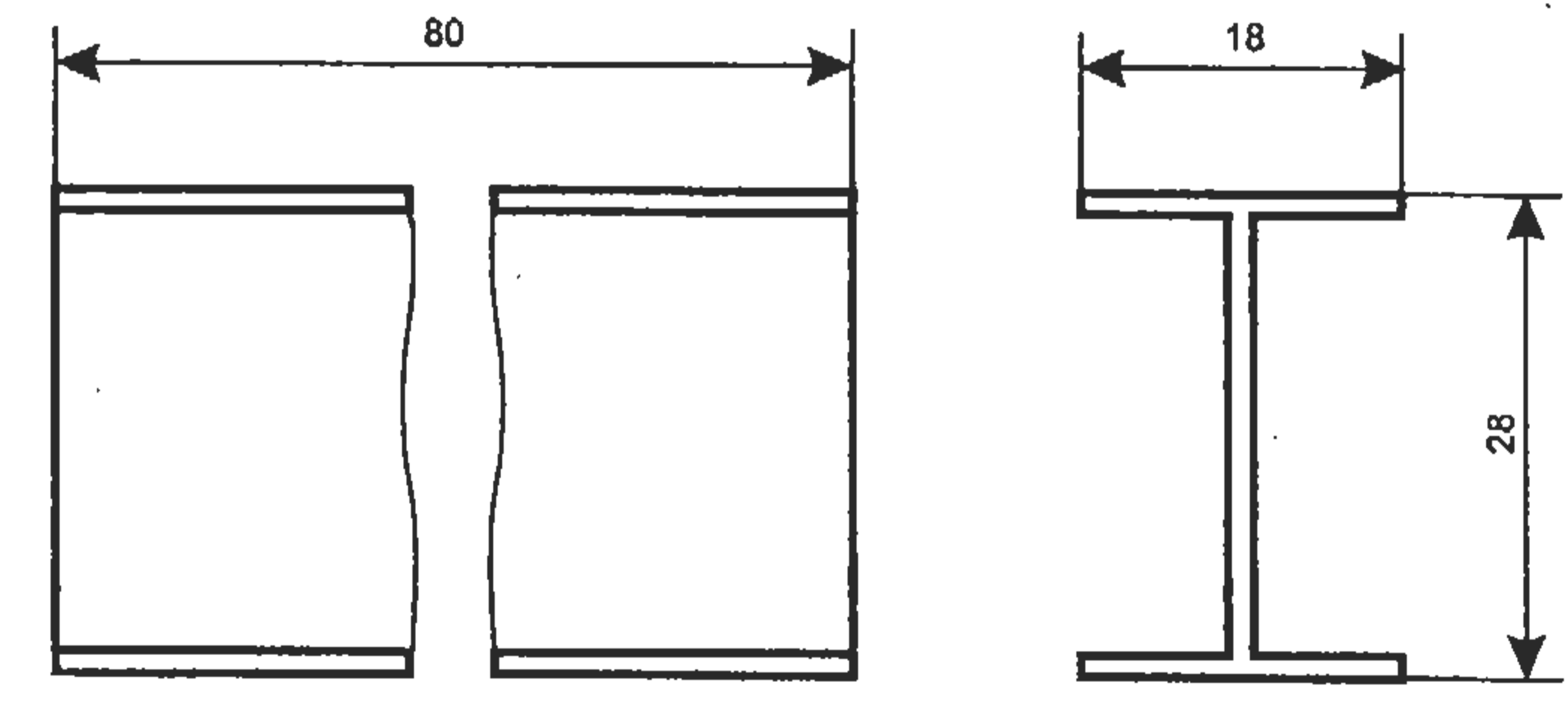


Рис. 4.20. Конструкция радиатора

Данную схему можно использовать для питания нагрузки, постоянно потребляющей мощность до 100 Вт. Для большей мощности необходимо уменьшить время переключения полевых ключей. Это позволяют сделать специально разработанные микросхемы, имеющие комплементарный выходной каскад, предназначенный для управления мощными полевыми транзисторами, например, К1156ЕУ2, UC3825.

В качестве силовых ключей на мощность до 60 Вт в приведенной схеме можно также применять транзисторы N-типа со статической индукцией КП958А (БСИТ — Bipolar Static Induction Transistor). Они разработаны специально для работы в высокочастотных источ-

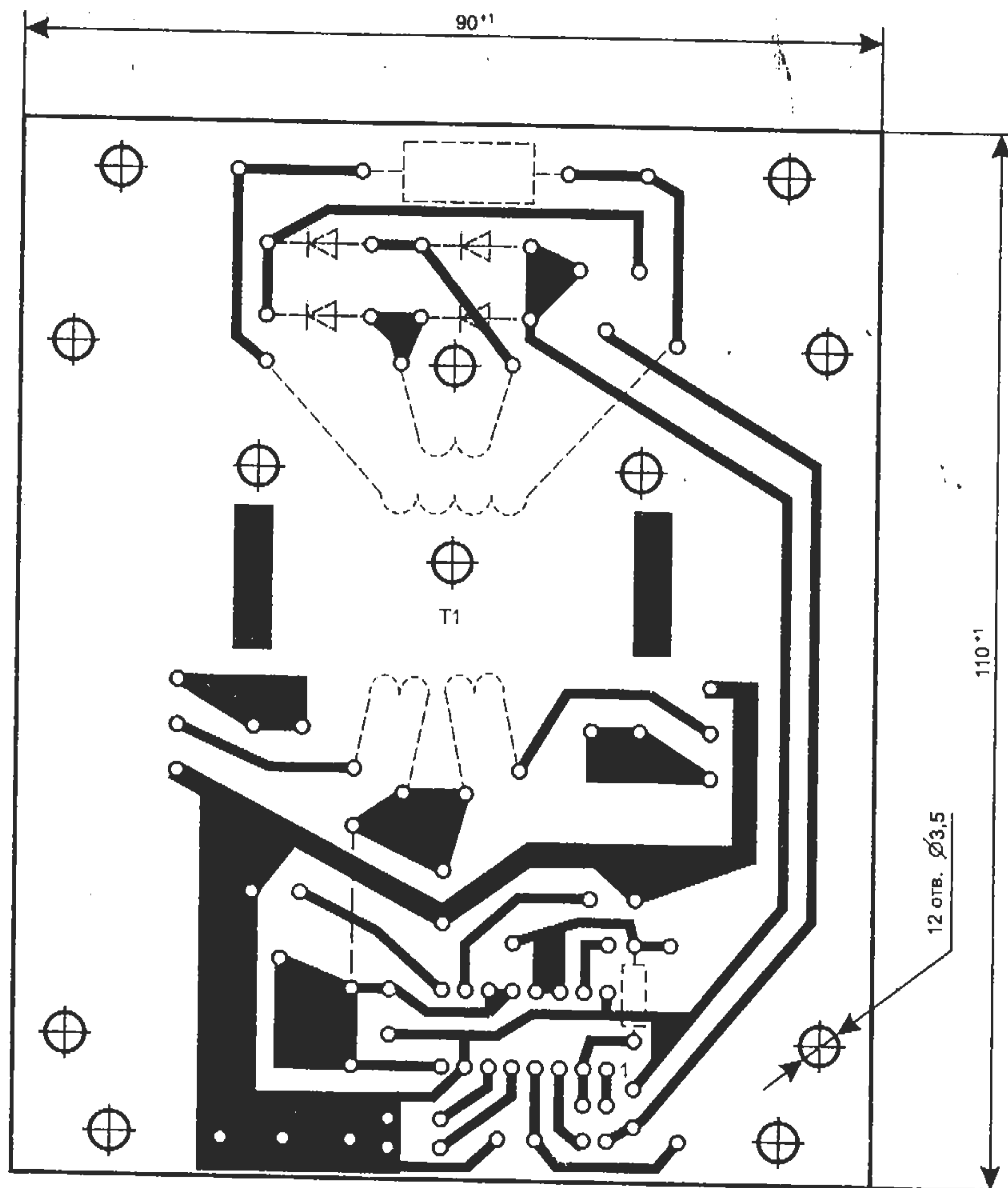


Рис. 4.21. Топология печатной платы

никах питания. Физика работы такого транзистора близка к работе обычного биполярного, но из-за конструктивных особенностей он имеет ряд преимуществ:

- 1) низкое падение напряжения исток-сток в открытом состоянии;
- 2) повышенный коэффициент усиления;
- 3) высокое быстродействие при переключении;
- 4) повышенная устойчивость к тепловому пробую.

В этом случае транзисторы лучше подобрать с одинаковыми параметрами, а резисторы R9 и R10 уменьшить до 100...150 Ом.

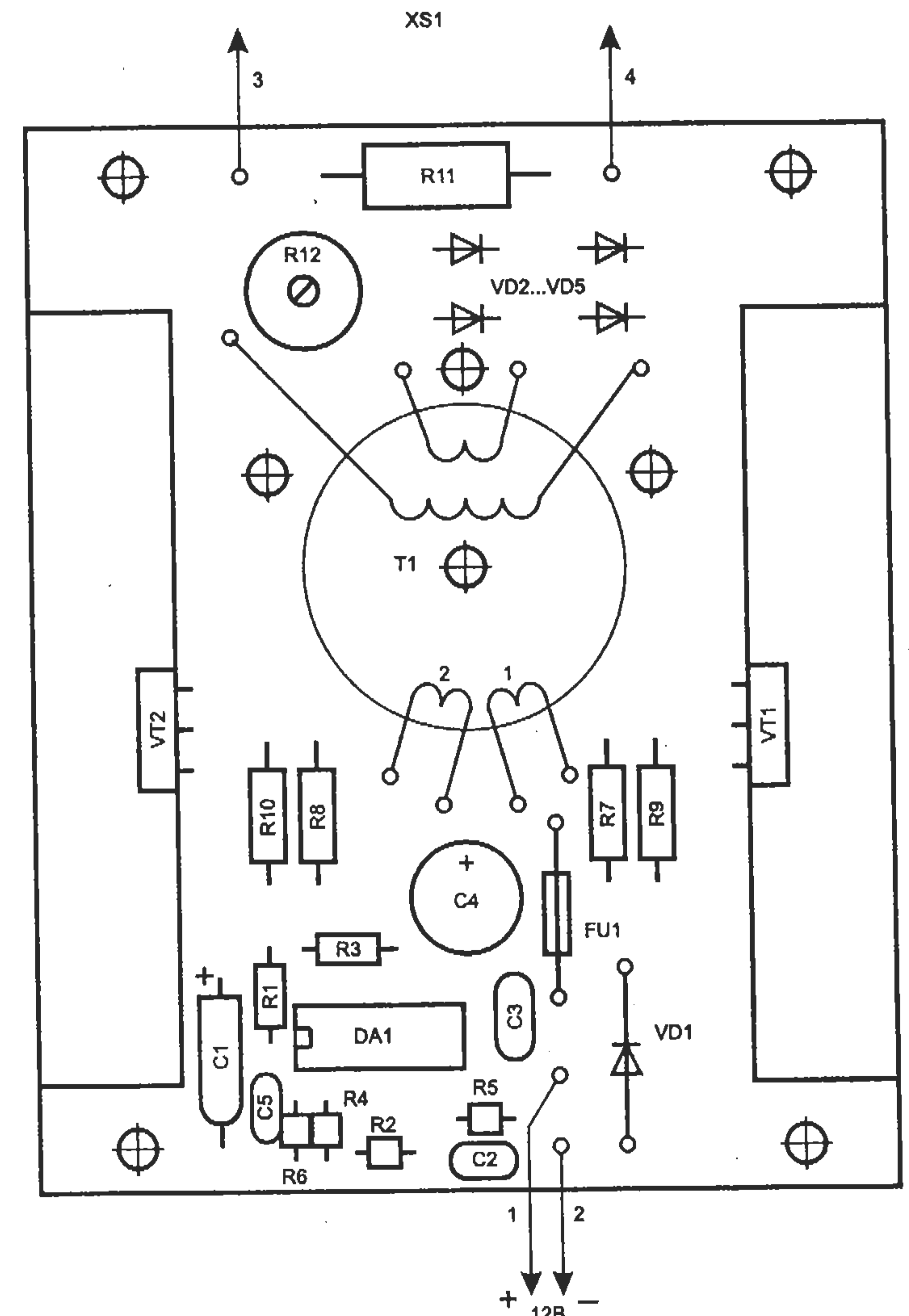


Рис. 4.22. Расположение элементов

Некоторые типы пьезофильтров вносят большое затухание (8...10 дБ) проходящему сигналу. В этом случае для получения генерации может использоваться схема, состоящая из трех логических элементов (рис. 5.34). В таком включении будут работать любые пьезокерамические фильтры.

Применение в схеме (рис. 5.34) элементов микросхемы 561ЛН2, из-за ее большего быстродействия может приводить к возникновению генерации на высокочастотных гармониках пьезофильтра с ухудшением стабильности (подбор оптимального значения сопротивления резистора R1 позволяет ее улучшить).

Генераторы с использованием в качестве резонаторов пьезофильтров имеют меньшую стабильность частоты, чем специальные кварцы, но для многих применений ее вполне достаточно.

Как видно по результатам измерений, приведенным в табл. 5.3, непосредственное включение кварца без подстроечного конденсатора дает пониженную частоту работы генератора, а при увеличении питающего напряжения с 5 до 15 В частота немного увеличивается. Что, видимо, вызвано уменьшением входной емкости полевых транзисторов, из которых выполнен входной каскад логических КМОП элементов. Эта емкость вносится в контур цепи резонатора.

Наименьшее влияние изменения питающего напряжения на частоту имеется в схеме рис. 5.18. А лучшую стабильность частоты показали автогенераторы, приведенные на рис. 5.24 и 5.28.

На частоте генерации 1 МГц наименьший ток потребляют схемы автогенераторов, показанные на рис. 5.32 и 5.27. Причем, применение микросхемы К561ЛН2 приводит к значительному увеличению потребляемого тока, а некоторые из схем (с указанными на рисунках номиналами элементов) на частоте 1 МГц вообще перестают работать (в таких случаях в таблице стоит прочерк).

## 5.4. Формирователь кодовой последовательности импульсов

Электрическая схема формирователя (рис. 5.35) выполнена всего на двух КМОП микросхемах и позволяет получить кодовую последовательность с заданной вами комбинацией импульсов. Такая схема может пригодиться при проверке некоторых узлов радиоаппаратуры или для дистанционного управления устройствами.

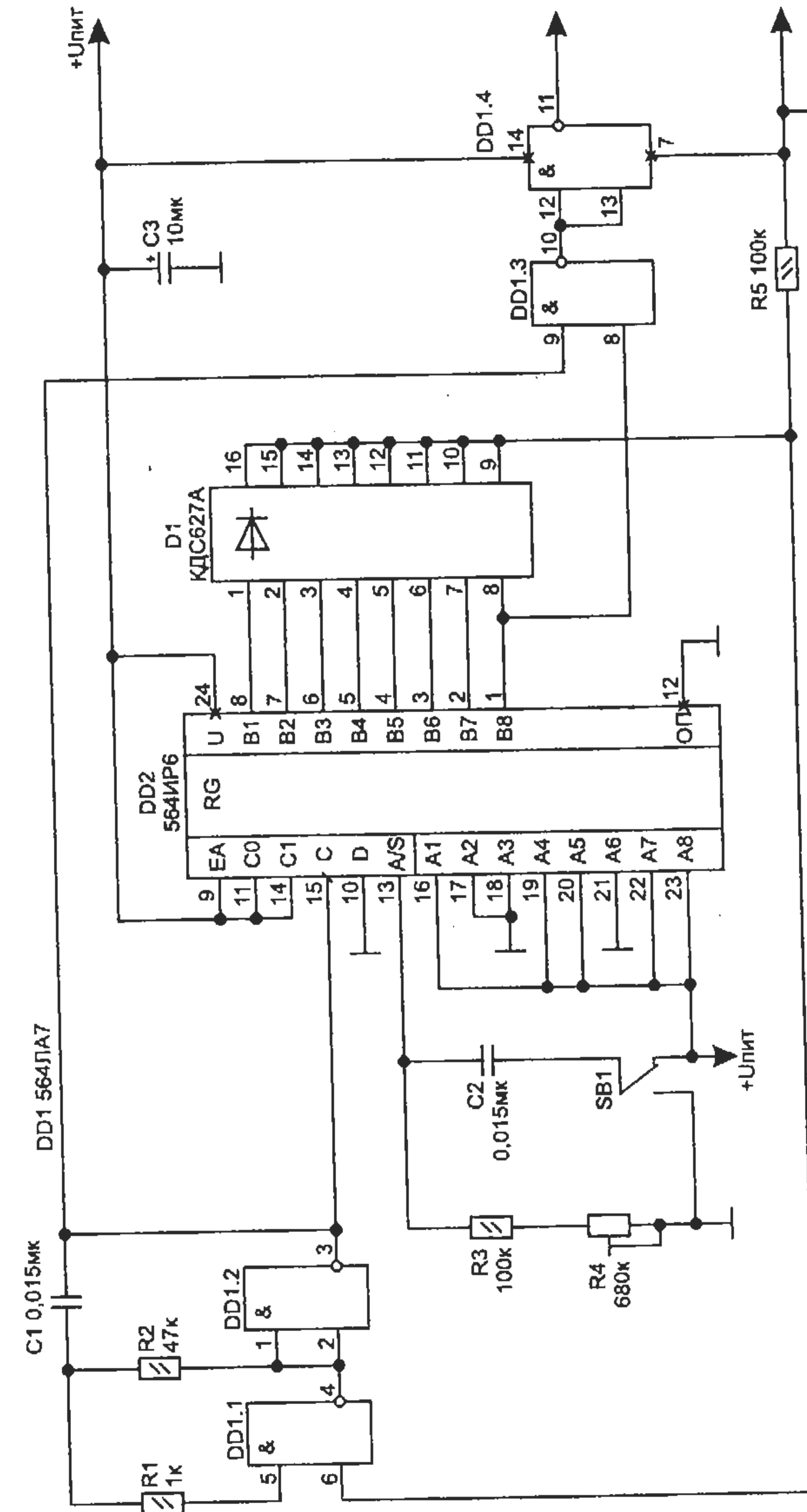


Рис. 3.35. Электрическая схема формирователя кодовой последовательности

Формирователь состоит из тактового генератора на элементах DD1.1-DD1.2 и сдвигающего регистра DD2, работающего в режиме последовательного сдвига. В микросхеме регистра 561IP6 имеется возможность осуществлять предварительную запись двоичного кода, установленного на входах A1...A8. Запись выполняется в начальный момент при подаче питания (за счет цепи C2-R3-R4) или же при нажатии кнопки SB1 — по фронту импульса на входе DD2/13, сформированного при заряде конденсатора C2.

Диаграмма напряжений на выводах (рис. 5.36) поясняет работу схемы. Пока идет заряд конденсатора C2 (участок А графика), на выходе DD2/1 будет присутствовать лог. "1", что разрешает прохождение через элемент DD1.3 импульсов от тактового генератора на выход.

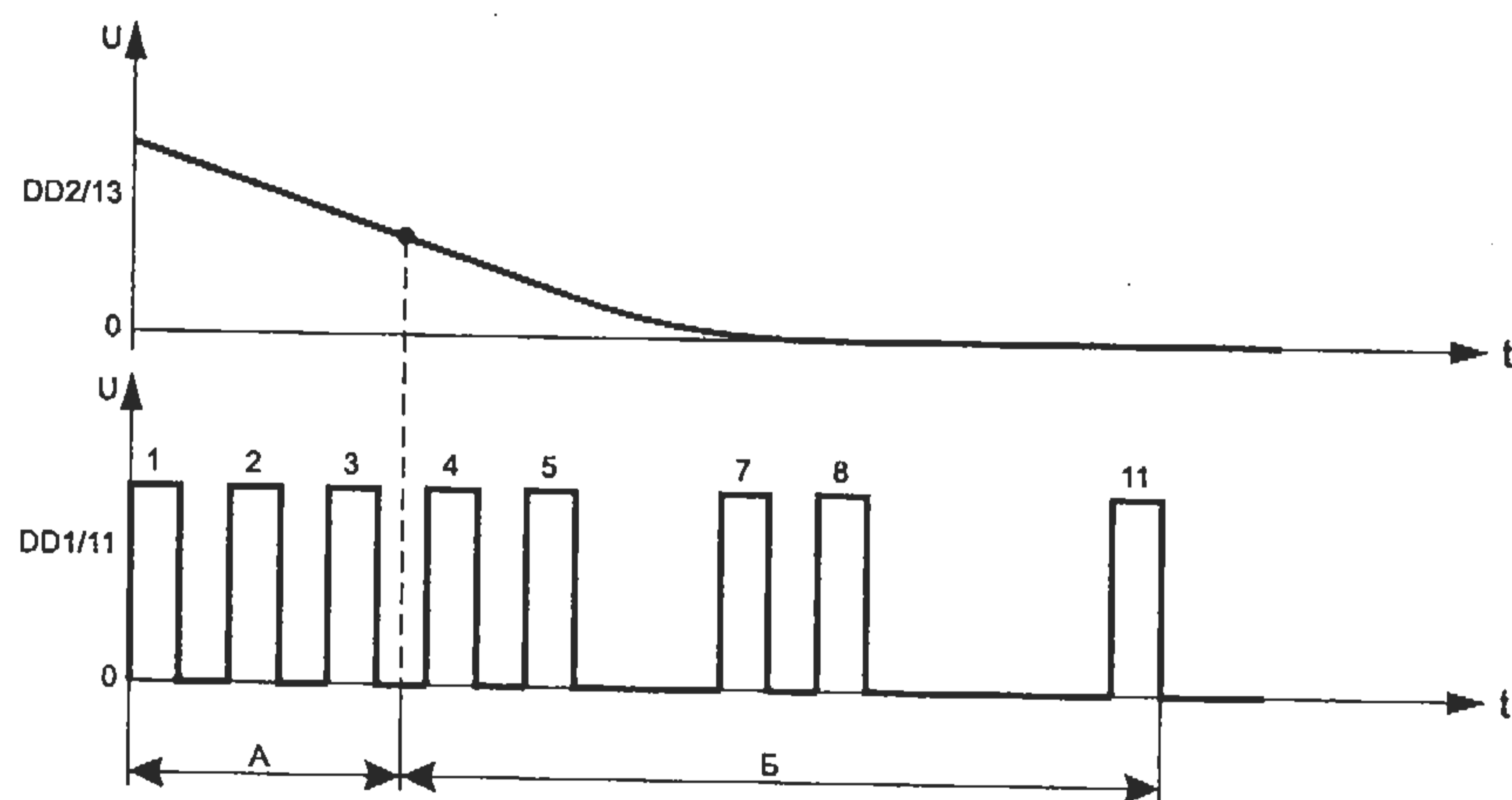


Рис. 5.36. Форма напряжения на выводах

На участке Б графика, когда напряжение на входе DD2/13 снизится до уровня лог. "0", начинает работать сдвигающий регистр и последовательно выдает на выходе DD2/1 записанную в него кодовую последовательность.

Так как на последовательном входе регистра (DD2/10) всегда присутствует лог. "0", то, сдвинув все записанные разряды, на его выходах В1...В8 установятся нулевые уровни. Это приведет к появлению "0" на DD1/6, и работа тактового генератора заблокируется. В этом состоянии схема будет находиться до следующего нажатия кнопки SB1.

Схема настраивается резистором R4 так, чтобы на интервале А было нужное число импульсов, а момент окончания заряда конденсатора C2 приходился на паузу между тактовыми импульсами.

## 5.5. Простые цифровые фильтры

Используя логические микросхемы, можно собрать фильтр, обеспечивающий прохождение импульсов до определенной частоты (фильтр низких частот) или выше заданной частоты. На основе комбинации таких схем можно обеспечить пропускание или режекцию полосы частот. При этом цифровой фильтр позволяет получить почти идеальную фильтрацию импульсного сигнала, что может пригодиться, например, в приемнике для борьбы с помехами.

На рис. 5.37 показан фильтр низких частот, выполненный с использованием RC-цепей, установленных на входе RS-триггера. Частота среза ( $f_{cp}$ ) у такого фильтра зависит от времени заряда конденсаторов до порогового уровня, при котором триггер переключится. Она может быть определена по формуле:

$$f_{cp} = 1/1,37RC,$$

при условии что  $R=R1=R2$ , а  $C=C1=C2$ .

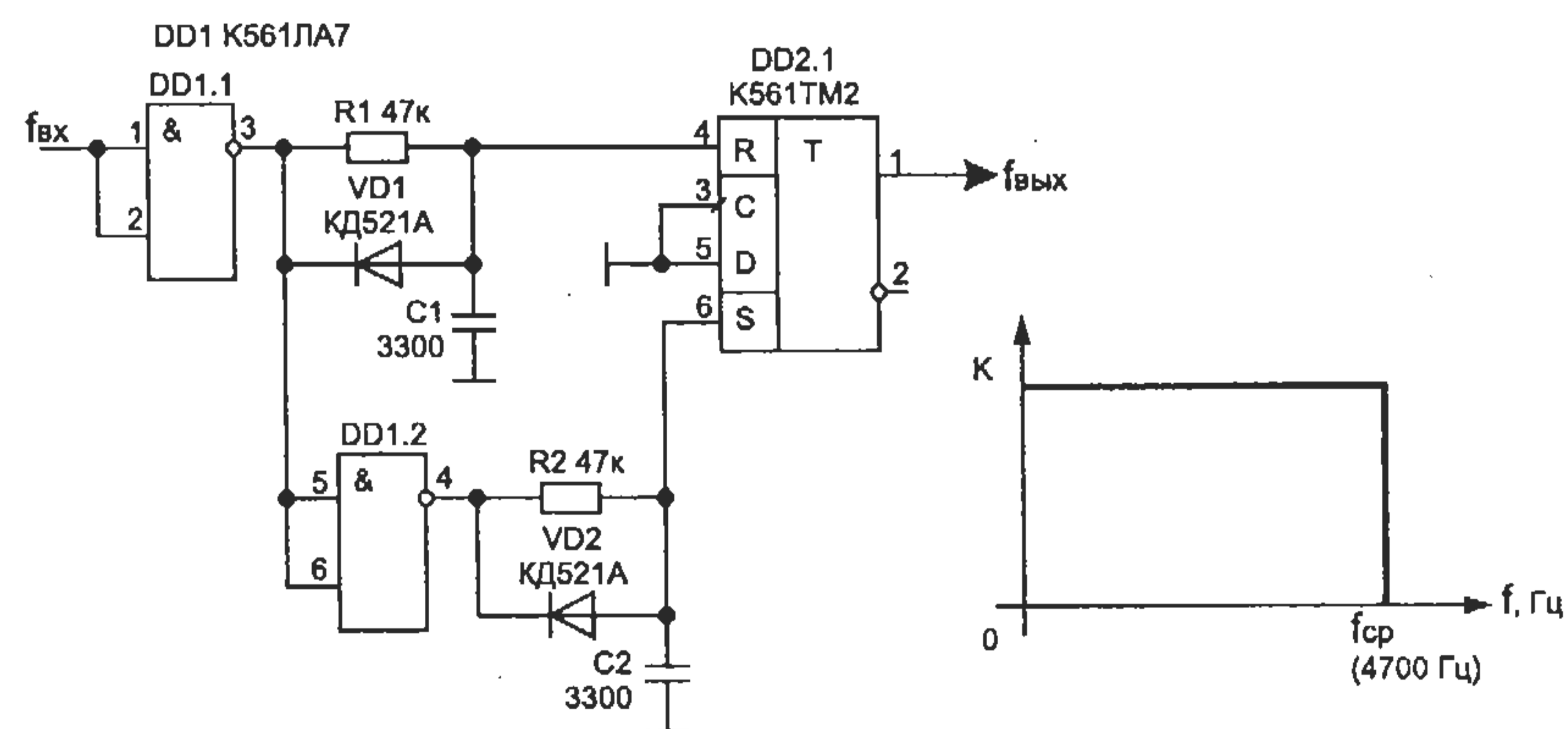


Рис. 5.37. Схема цифрового фильтра нижних частот

Для элементов, указанных на схеме (при  $U_{пит}=6$  В), она составит 4,7 кГц.

Так как время разряда конденсаторов через диоды VD1, VD2 (и соответствующие входы логических элементов) очень мало, то если



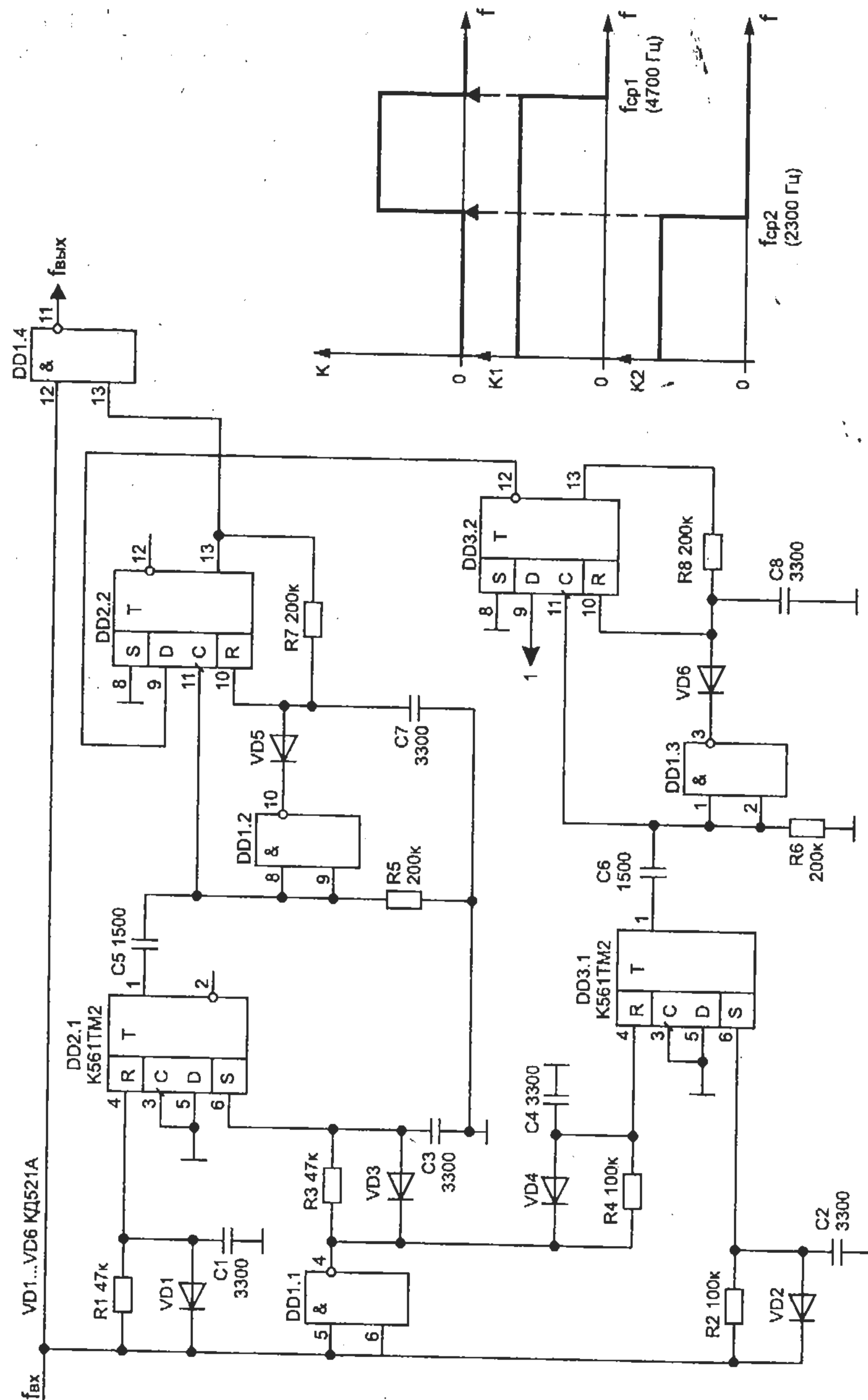


Рис. 5.38. Полосовой фильтр

входная частота импульсов будет превышать  $F_{cp}$  всего на 10 Гц, конденсаторы не успеют зарядиться до логического уровня и триггер DD2.1 переключаться не будет.

На рис. 5.38 показана схема полосового фильтра, выполненная на трех микросхемах. Она состоит из двух аналогичных каналов, обеспечивающих фильтрацию низких частот. В отличие от выше приведенной схемы, в этой имеются перезапускаемые одновибраторы (DD2.2 и DD3.2). На выходах DD2/13 и DD3/13 будет присутствовать лог. "1", пока частота входных импульсов не превысит  $F_{cp}$ .

Для того чтобы обеспечить прохождение на выход только узкой полосы частот, два канала фильтра имеют разные частоты среза ( $F_{cp1}$  и  $F_{cp2}$ ). Лог. "1", подаваемая на вход DD1/13, разрешает прохождение входной частоты на выход. Но, так как переключение триггера DD2.1 происходит только когда на его входе D (DD2/9) присутствует лог. "1", триггер DD3.2 обеспечивает режекцию частот ниже его частоты среза  $F_{cp1}$ .

Для нормальной работы цифрового фильтра постоянная времени цепей R7-C7 и R8-C8 должна быть больше, чем минимальная длительность импульсов, приходящих на вход схемы. Это необходимо для того, чтобы триггеры одновибраторов постоянно находились в одном из своих устойчивых состояний (импульсы с выходов DD1/10 и DD1/3 не дадут зарядиться конденсаторам C7 и C8 до уровня, при котором происходит обнуление триггера).

Поняв принцип работы данного фильтра, несложно ввести небольшие изменения, которые позволят превратить схему в режекторный фильтр или фильтр верхних частот.

Максимальный частотный диапазон такого фильтра ограничивается лишь быстродействием применяемых микросхем.

## 5.6. Одновибратор с повышенной длительностью импульсов

Схема одновибратора (рис. 5.39; Л31), отличается минимальным числом деталей и позволяет получать на выходе импульсы большей длительности, чем входные. Причем, это будет всегда, независимо от длительности входных импульсов. Кроме этого, оба фронта выходных импульсов будут синхронизированы с тактовой частотой генератора ( $F_r$ ), приходящей на вход D1/3. Такая синхронизация час-

то бывает необходима для дальнейшей обработки полученных асинхронных сигналов.

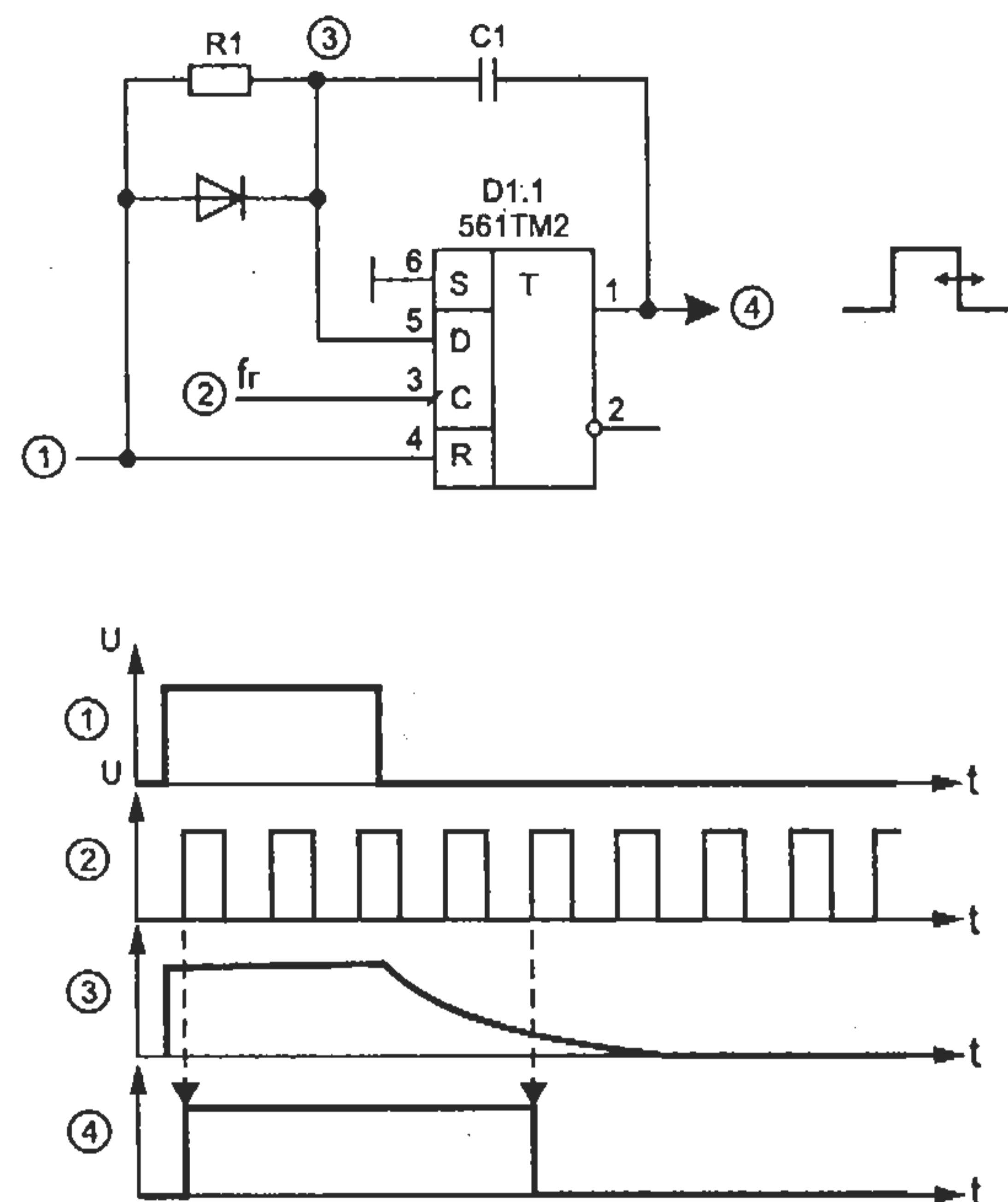


Рис. 5.39. Одновибратор с повышенной длительностью импульсов

Работу схемы поясняет диаграмма. На выходе триггера появляется импульс, как только приходит входной сигнал и передний фронт синхроимпульса. Длительность выходного импульса после прекращения действия входного сигнала будет определяться временем разряда C1 через резистор R1.

### 5.7. Помехоустойчивый повторитель сигнала

Вариант схемы помехоустойчивого повторителя сигнала приведен на рис. 5.40. В ней элементы D1.1, D1.2 и резисторы R1-R2 образуют триггер Шмитта, а D1.3, D1.4 — RS-триггер. Ширина петли гистерезиса ( $\Delta E$ ) зависит от соотношения резисторов:

$$\frac{\Delta E}{U_{пор}} = \frac{R1}{R2}, \quad \Delta E = (U_{пор} \cdot R1) / R2,$$

где  $U_{пор}$  — напряжение порога переключения логического элемента (при питании схемы от источника 5 В —  $U_{пор}=3,5$  В, а при 10 В —  $U_{пор}=7$  В).

Такую схему удобно применять в случае медленного изменения входного сигнала, например, от фотодатчика, когда необходимо обеспечить четкое срабатывание исполнительного устройства. При этом имеется возможность снимать с выходов RS-триггера как прямой (D1/11), так и инверсный (D1/10) сигналы.

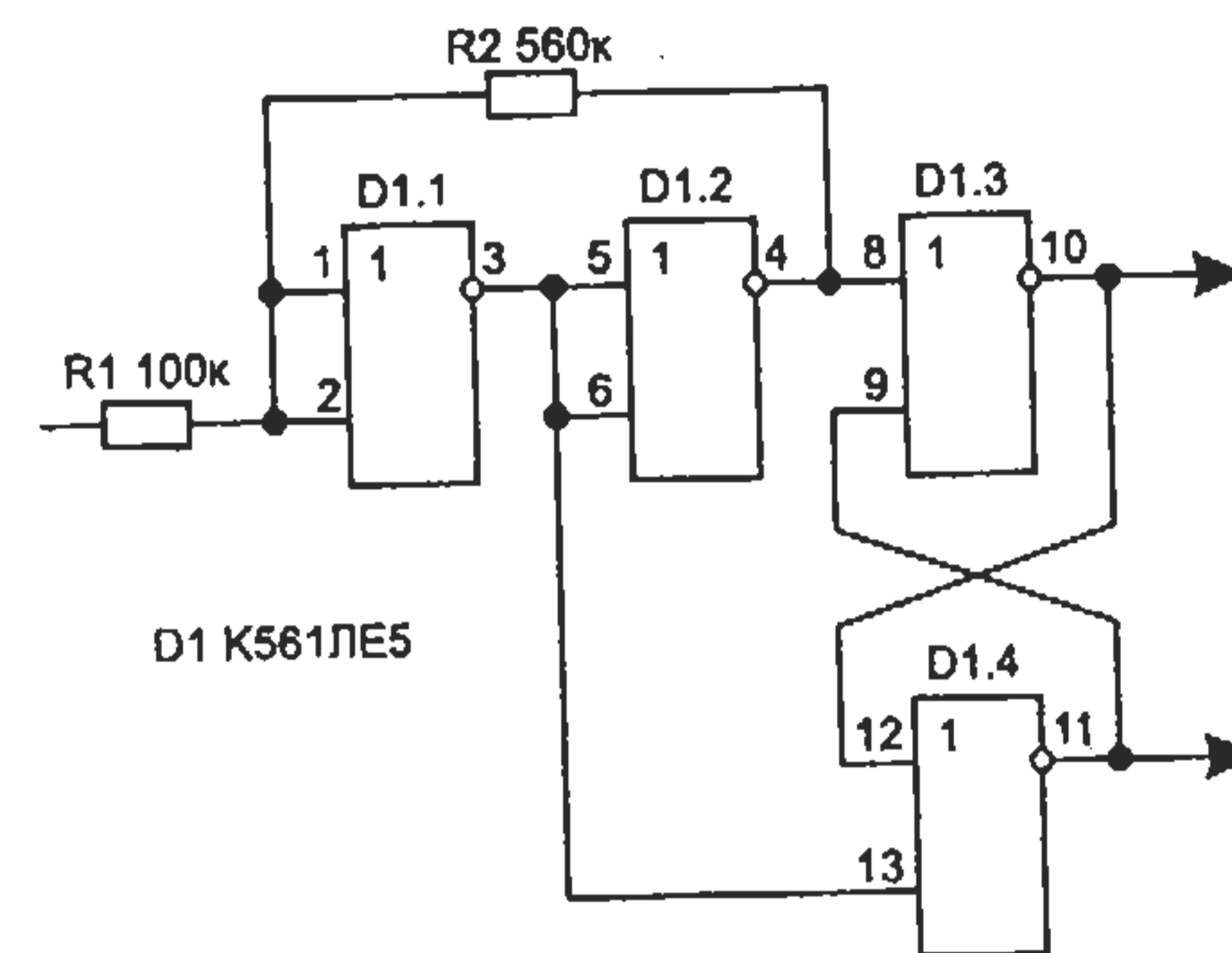


Рис. 5.40. Помехоустойчивый повторитель сигнала

### 5.8. Перечень публикаций по схемотехнике за последние годы

Здесь дается краткий перечень статей, опубликованных в различных популярных радиотехнических журналах, которые могут пригодиться при разработке нового устройства. Конечно, я понимаю, что читателю было бы удобнее, если все их привести в одной книге, но не нарушая авторских прав, сделать это нельзя. Поэтому ограничусь только информацией, которая в случае возникшей необходимости может быстро найти необходимые материалы.