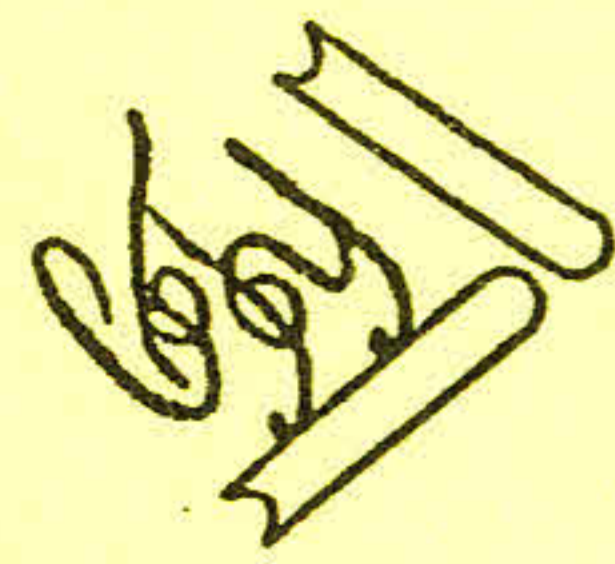


Ю.В. Соловьёв, С.А. Ишин,
В.Г. Андрианов, С.С. Нимон

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
САРАТОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Ю.В. Соловьёв, С.А. Ишин,
В.Г. Андрианов, С.С. Нимон

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

*Учебно-методическое пособие для студентов,
изучающих основы радиозлектроники*

Издательство Саратовского университета
2002

УДК 621.373.5 (075.8)
ББК 32.847.3 я 73
С60

Соловьёв Ю.В., Ишин С.А., Андрианов В.Г., Нимон С.С.

Мультивибраторы: Учеб. - метод. пособие для студентов, изучающих основы радиоэлектроники. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002. - 32 с.: ил.

ISBN 5-292-02656-5

Пособие представляет собой руководство к лабораторной работе по общим и специальным курсам "Основы радиоэлектроники", "Основы схемотехники", "Импульсные устройства" и "Элементы ЭВМ". В нём приводятся краткие теоретические сведения по специфике работы мультивибраторов в различных режимах, излагается порядок расчета мультивибратора в автоколебательном режиме и содержатся необходимые для этого соотношения. Приведены также рабочие задание и методические указания.

Для студентов физического, геологического, географического факультетов и факультета компьютерных наук и информационных технологий.

Рекомендуют к печати:

Кафедра радиотехники и электродинамики
Саратовского государственного университета
Доктор технических наук, профессор *В.Н. Колomeйцев*

УДК 621.373.5 (075.8)
ББК 32.847.3 я 73

Работа издана в авторской редакции

ISBN 5-292-02656-5

© Соловьёв Ю.В., Ишин С.А.,
Андрианов В.Г., Нимон С.С., 2002

Предисловие

Пособие представляет собой руководство к лабораторной работе по общим курсам "Основы радиоэлектроники" для студентов физического и геологического факультетов, по специальным курсам "Основы схемотехники", "Импульсные устройства" и "Элементы ЭВМ" для студентов физического факультета специальности "Радиофизика и электроника", а также для студентов факультета компьютерных наук и информационных технологий.

В работе приводятся краткие теоретические сведения, необходимые для понимания специфики работы мультивибраторов в различных режимах, рассматриваются транзисторные схемы мультивибраторов, а также особенности их работы на элементах в интегральном исполнении.

Практическая часть работы выполняется в соответствии с заданиями и методическими указаниями, приведенными во второй части пособия. Предусмотрено фронтальное выполнение работы на основе единой экспериментальной установки, содержащей стандартный набор электроэлементов, измерительных приборов и универсальную панель.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследование физических процессов в мультивибраторах на транзисторах и интегральных схемах, расчет и измерение их основных параметров.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Общие сведения

Мультивибратор представляет собой генератор релаксационного типа, у которого форма генерируемых колебаний резко отличается от синусоидальной и близка к прямоугольной.

В генераторах релаксационного типа колебания возникают вследствие освобождения запаса энергии в реактивном элементе с помощью ключа (клапана), управляемого цепью обратной связи. Обычно в качестве клапанов применяются транзисторы, работающие в ключевом режиме, или приборы с отрицательным сопротивлением. Когда ключ заперт, происходит накопление энергии в реактивных элементах. При открытии ключа энергия отдается в нагрузку. При этом длительность колебаний зависит от параметров реактивных элементов, входящих в схему режима работы транзистора и напряжения источника питания.

Мультивибратор выполняется как двухкаскадный усилитель на резисторах с положительной обратной связью, в котором выход каждого каскада соединен со входом другого.

Название "мультивибратор" происходит от слов "мульти" - много и "вибратор" - источник колебаний, поскольку колебания мультивибратора представляют собой сумму большого числа гармоник.

Мультивибратор может работать в следующих режимах: в режиме автоколебаний, в ждущем режиме, в режиме синхронизации и деления частоты.

В автоколебательном режиме мультивибратор работает как генератор с самовозбуждением. В таком режиме мультивибратор имеет два состояния неустойчивого равновесия, во время которых в схеме происходят относительно медленные изменения токов и напряжений. Эти состояния неустойчивого равновесия называют также квазиравновесными, или временно устойчивыми. Квазиравновесные состояния завершаются лавинообразными изменениями токов и напряжений - скачками. Таким образом, мультивибратор в режиме без внешнего воздействия скачком переходит из одного квазиравновесного состояния в другое и является автогенератором. Параметры генерируемых импульсов (длительность, частота повторения, амплитуда и др.) определяются только параметрами элементов схемы.

К мультивибраторам предъявляется требование высокой стабильности частоты, которая в автоколебательном режиме невелика. Относительная нестабильность частоты при колебаниях температуры и питающих напряжений достигает нескольких процентов.

В ждущем режиме мультивибратор работает как генератор с пассивным возбуждением. Процессы в схеме совершают один цикл после подачи на вход запускающего импульса. В таком режиме одно состояние равновесия - исходное - является устойчивым, другое - квазиустойчивым. Перевод схемы в квазиустойчивое состояние осуществляется запускающим импульсом, а возврат схемы в исходное состояние происходит в результате внутренних процессов. Во время цикла генерируется один импульс, параметры которого определяются параметрами элементов схемы. Частота выходных импульсов мультивибратора равна частоте запускающих импульсов на входе мультивибратора.

Мультивибратор в ждущем режиме называют одновибратором.

В режиме синхронизации на автоколебательный мультивибратор подается внешнее синхронизирующее напряжение - гармоническое либо импульсное, в результате чего частота повторения выходных импульсов мультивибратора становится равной либо кратной частоте синхронизирующего воздействия.

Все перечисленные режимы работы мультивибраторов возможны лишь при выполнении амплитудных и фазовых условий возникновения скачков.

1.2. Мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями в автоколебательном режиме

Схемы мультивибраторов с коллекторно-базовыми связями, работающих в автоколебательном режиме, показаны на рис. 1. Мультивибратор на рис. 1, а называется мультивибратором с отрицательной базой, а на рис. 1, б - мультивибратором с нулевой базой. Каждый из мультивибраторов представляет собой двухкаскадный усилитель на резисторах со стопроцентной положительной обратной связью.

Выход каждого каскада соединен с входом другого через конденсаторы C_1 и C_2 , которые выполняют роль элементов связи и совместно с резисторами R_1 и R_2 образуют времязадающие цепи. Выходные импульсы снимаются с коллекторов транзисторов T_1 и T_2 . Мультивибратор, у которого транзисторы одноступенчатые, а параметры обеих половин схемы одинаковы, называется симметричным: обе части периода его колебаний равны ($t_{U1} = t_{U2}$) и скважность $Q = (t_{U1} + t_{U2})/t_{U1} = 2$. Если имеются различия в параметрах элементов схемы, то мультивибратор будет несимметричным ($t_{U1} \neq t_{U2}$). Применяют несимметричные мультивибраторы с длительностью импульса меньше длительности паузы ($t_{U1} < t_{U2}$). При этом скважность $Q > 2$.

Итак, мультивибратор в автоколебательном режиме имеет два состояния квазиравновесия, в каждом из которых один из транзисторов находится в запертом состоянии, а другой насыщен. Эти состояния неустойчивы. Переход схемы из одного состояния в другое происходит лавинообразно из-за глубокой положительной обратной связи. При выполнении условий самовозбуждения $K_1 K_2 > 1$ и $\varphi_{K1} + \varphi_{K2} = 2\pi$, где K и φ_K - модуль и фаза коэффициента усиления каждого каскада, возникают скачки, вызывающие поочередное изменение состояний транзисторов, после чего происходит разряд одного и заряд другого конденсатора времязадающих цепей (рис. 2).

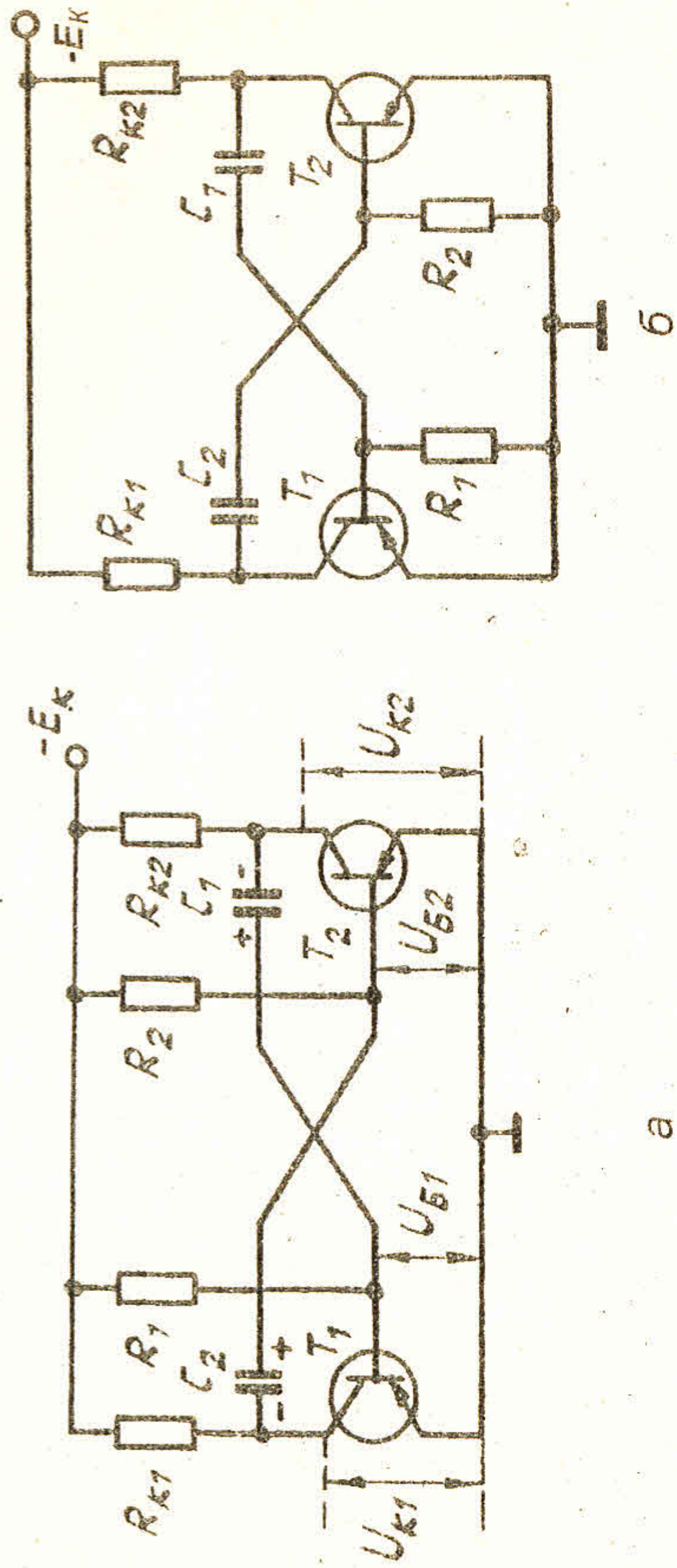


Рис. 1. Мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями в режиме автоколебаний: а - с отрицательной базой; б - с нулевой базой

Физические процессы в мультивибраторе с отрицательной базой иллюстрируются временными диаграммами напряжений (см. рис. 2). В автоколебательном режиме описание процессов можно начать с любого момента. Пусть, например, транзистор T_1 насыщен, а T_2 - заперт. В рассматриваемый момент времени t_1 транзистор T_1 можно представить на эквивалентной схеме (рис. 3, а) эквивалентной точкой, поскольку $U_{K1} \approx 0$ и $U_{B1} \approx 0$. Напряжение на заряженной емкости C_2 с полярностью, как показано на рис. 3, а приложено между базой и эмиттером транзистора T_2 и поддерживает его в запертом состоянии. Напряжение на коллекторе T_2 , $U_{K2} \approx -E_K$; напряжение на базе, $U_{B2} \approx U_{C2}$, вначале близко к $+E_K$, а затем начинает уменьшаться по экспоненциальному закону вследствие разряда конденсатора C_2 по цепи: $(+C_2) - R_{экв2} - (-E_K) - (+E_K) -$ корпус-эмиттер-коллектор $T_1 - (-C_2)$,

$$R_{экв2} = \frac{(r_{K2} + R_{K2})R_2}{r_{K2} + R_{K2} + R_2},$$

где r_{K2} - сопротивление коллекторного перехода T_2 .

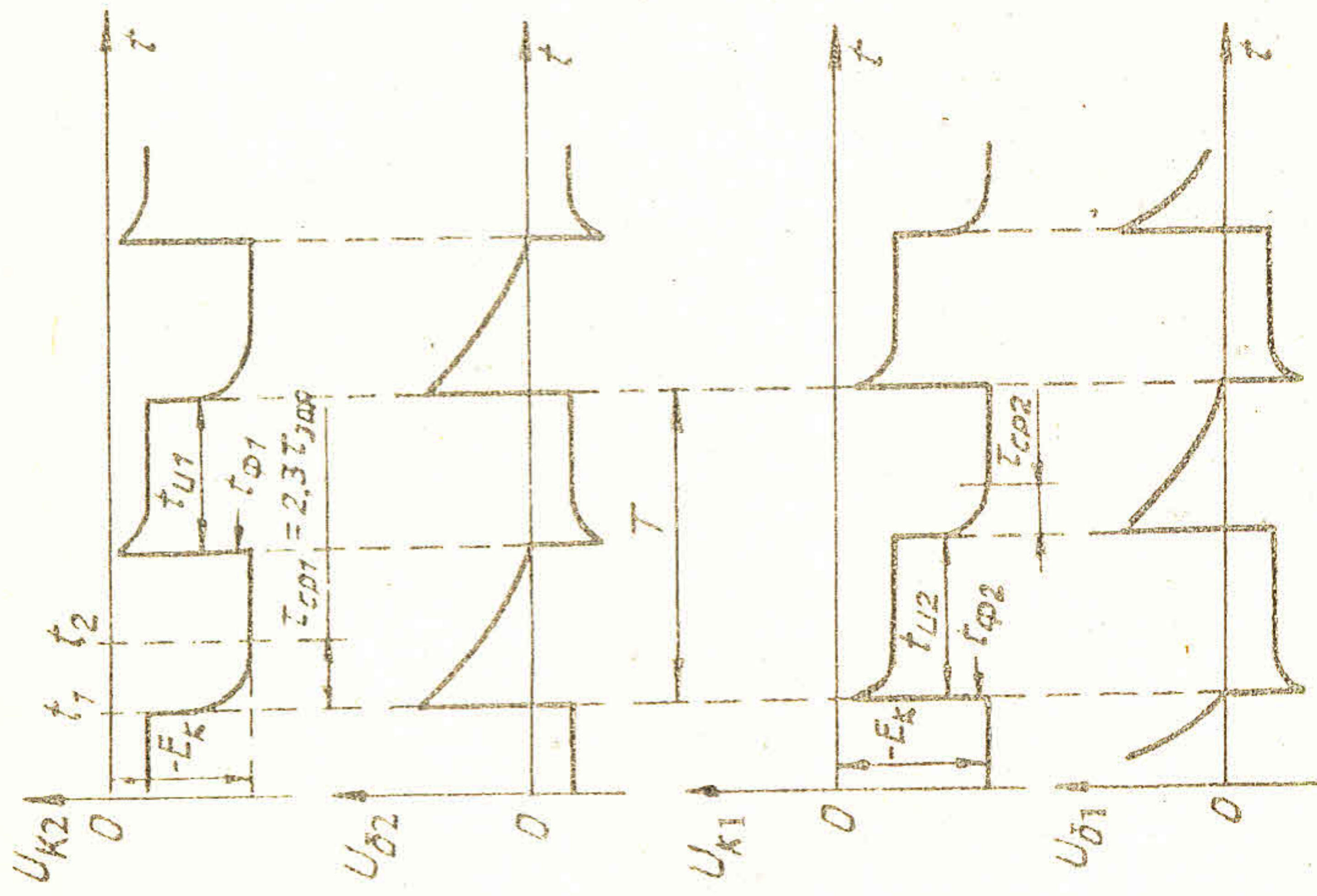


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений мультивибратора с отрицательной базой

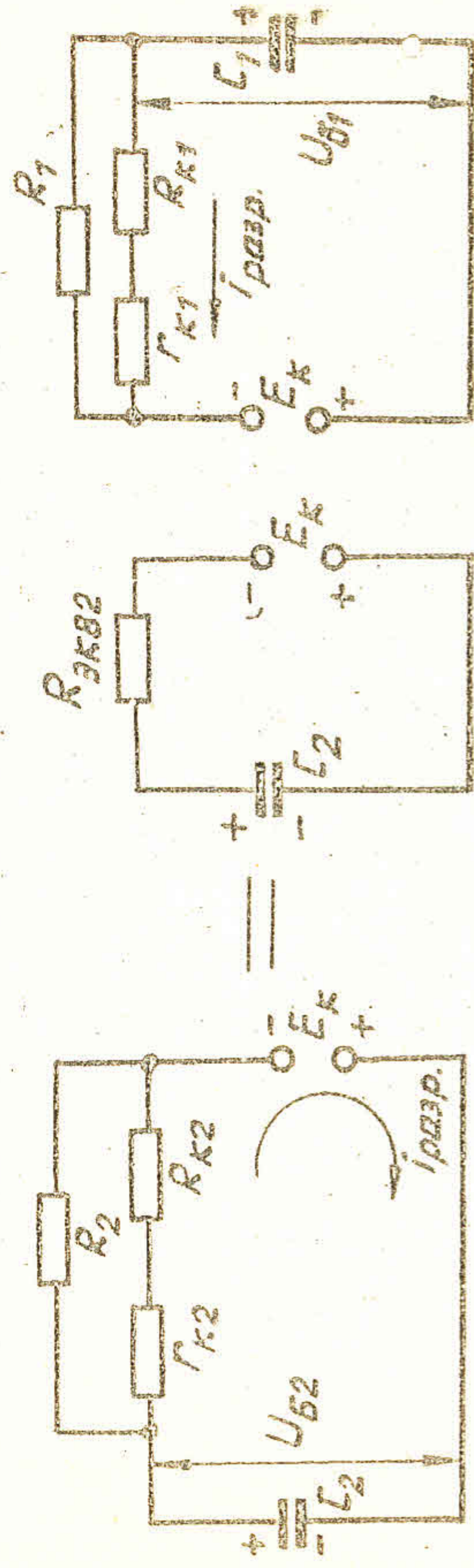


Рис. 3. Эквивалентные схемы перезаряда конденсаторов времязадающих цепей: а - конденсатора C_2 ; б - конденсатора C_1

В то же время конденсатор C_1 заряжается по цепи: $(+E_K) -$ корпус - эмиттер - база $T_1 - C_1 - R_{K2} - (-E_K)$, создавая на эмиттерном переходе T_1 дополнительное отпирающее напряжение U_{B1} , убывающее по экспоненциальному закону. Обычно процесс заряда C_1 проте-

температурной стабильности выбирают $R_1 \ll r_{K1}$. С учетом принятых допущений

$$t_{U2} \approx C_1 R_1 \ln 2 \approx 0,7 C_1 R_1. \quad (1)$$

Аналогично определяется длительность импульса на коллекторе транзистора T_1

$$t_{U1} \approx C_2 R_2 \ln 2 \approx 0,7 C_2 R_2. \quad (2)$$

Период повторения импульсов

$$T = t_{U1} + t_{U2}. \quad (3)$$

Для симметричного мультивибратора, у которого $C_1 = C_2 = C$; $R_1 = R_2 = R$; $R_{K1} = R_{K2} = R_K$ и $t_{U1} = t_{U2} = t_U$, период повторения

$$T = 2t_U \approx 1,4CR. \quad (4)$$

Частота колебаний мультивибратора

$$f = \frac{1}{t_{U1} + t_{U2}}. \quad (5)$$

Амплитуда импульса на коллекторе насыщенного транзистора

$$U_m \approx E_K. \quad (6)$$

Из приведенных формул следует, что регулировать длительность импульсов можно путем изменения постоянных времени элементов цепей, т.е. путем изменения величин емкостей C_1 и C_2 или сопротивлений R_1 и R_2 . Кроме того, длительность импульсов и частоту колебаний можно регулировать изменением напряжения источника питания E_K , а так же изменением сопротивления R_K открытого транзистора — все это приводит к изменению начального перепада напряжения на базе запятого транзистора и, следовательно, к изменению времени его опрокидывания.

Длительности среза отдельных перепадов напряжений на коллекторах транзисторов T_1 и T_2 при их запираии определяется постоянной времени заряда времязадающих емкостей и могут быть оценены по формуле

$$t_{CP1} \approx 2,3 R_{K1} C_2 t_{CP2} \approx 2,3 R_{K2} C_1. \quad (7)$$

Длительность фронта импульса при отпирании транзистора определяется внутренними процессами в нем и может быть оценена по формуле

$$t_\phi \approx (0,3 - 0,5) \frac{1}{f_\alpha}, \quad (8)$$

где f_α — предельная частота усиления транзистора по току. При этом $t_\phi \ll t_{CP}$. Для получения импульсов, форма которых близка к прямоугольной, и увеличения частоты колебаний применяют высокочастотные транзисторы, у которых время включения и выключения мало.

кает быстрее, чем процесс разряда C_2 , что достигается соответствующим подбором параметров цепей.

После окончания заряда C_1 транзистор T_1 остается насыщенным за счет протекания тока базы $J_{B1} = E_K / R_1 \geq J_{BH}$, где J_{BH} — ток базы, переводящей транзистор в режим насыщения.

По мере разряда конденсатора C_2 напряжение на нем уменьшается и, когда оно достигает нуля, начинается лавинообразный процесс опрокидывания схемы.

Действительно, транзистор T_2 начинает отпираться, и напряжение на его коллекторе U_{K2} стремится к нулю. Возникающее при этом положительное приращение напряжения ΔU_{K2} через конденсатор C_1 передается на базу транзистора T_1 , вызывая уменьшение его тока. Это приводит к уменьшению падения напряжения на R_{K1} и возникновению на коллекторе T_1 отрицательного приращения напряжения ΔU_{K1} , которое через C_2 поступает на базу транзистора T_2 , вызывая его отпирание. В результате T_2 насыщается, T_1 запирается, а конденсатор C_2 начинает заряжаться по цепи: $+E_K$ корпус - эмиттер - база $T_2 - C_2 - R_{K1} - (-E_K)$. Одновременно с зарядом емкости C_2 происходит более медленный процесс разряда емкости C_1 в соответствии с эквивалентной схемой цепи перезаряда (рис.3, б). Далее процесс продолжается аналогично описанному выше.

Под длительностью импульса t_U на диаграммах понимается время открытого состояния одного или другого транзистора. Длительность импульса на коллекторе транзистора T_2 , t_{U2} зависит от величины постоянной времени цепи разряда конденсатора C_1 через открытый транзистор T_2 и сопротивление $R_{ЭКВ1}$. Длительность импульса определяется временем уменьшения потенциала базы запятого транзистора до нулевого значения

$$u_{B1}(t) = u_{C1} = R_{ЭКВ1} i_{РАЗР}(t) - E_K, \\ i_{РАЗР}(t) = \frac{u_{C1}(0) + E_K}{R_{ЭКВ1}} e^{-t/\tau}; \tau = C_1 R_{ЭКВ1}, u_{C1}(0) \approx E_K.$$

где $u_{B1}(t_{U2}) = 2E_K e^{-t_{U2}/\tau} - E_K = 0.$

Тогда $t_{U2} = C_1 R_{ЭКВ1} \ln 2,$

где $R_{ЭКВ1} = \frac{(r_{K1} + R_{K1})R_1}{r_{K1} + R_{K1} + R_1}$

Так как сопротивление коллектора r_{K1} запятого транзистора имеет величину порядка $10^5 - 10^6$ Ом, а R_{K1} не превышает 10^3 Ом, сопротивлением R_{K1} можно пренебречь. Кроме того, для повышения

Скважность импульсов несимметричного мультивибратора, как указывалось выше, определяется соотношением

$$Q = \frac{t_{U1} + t_{U2}}{t_{U1}} = 1 + \frac{t_{U2}}{t_{U1}}$$

Для получения наибольшей скважности $Q_{\max} = 1 + t_{U\max}/t_{U\min}$ и не искаженной формы выходного сигнала необходимо выполнение следующих условий

$$t_{U\max} \leq 0,7R_2C_2; t_{U\min} > t_{cp} \approx 2,3R_1C_1$$

При этом $Q_{\max} \leq 1 + 0,3R_2/R_1$, R_2 выбирается из условия насыщения открытого транзистора

$$J_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K} \leq \beta J_{\delta H} = \beta \frac{E_K}{R_2}$$

$$R_2/R_K \leq \beta$$

откуда

Тогда окончательно

$$Q_{\max} \leq 1 + 0,3\beta \quad (9)$$

Для получения достаточно хорошей формы колебаний мультивибратора (близкой к прямоугольной) необходимо, чтобы длительность среза импульса закрытого транзистора была меньше времени, в течение которого он закрыт:

$$t_{cp} = 2,3R_1C_1 < 0,7C_1R_1$$

Отсюда получаем

$$R_1 > (3 \div 4)R_K$$

С другой стороны, из условия насыщения открытого транзистора величины R_1 и R_K должны удовлетворять условию

$$J_{KH} = \frac{E_K}{R_K} < \beta J_{\delta H} = \beta \frac{E_K}{R_1}$$

откуда

$$R_1 < \beta R_K$$

где β — коэффициент усиления по току транзистора.

Таким образом, в схеме с общим эмиттером сопротивление в базе транзистора R_1 выбирается из соотношения

$$(3 \div 4)R_K < R_1 < \beta R_K, \text{ или } R_1 \approx \frac{1}{2}\beta R_K \quad (10)$$

Вместе с тем сопротивление в цепи коллектора R_K определяет нагрузочную способность генератора и должно быть значительно меньше сопротивления нагрузки R_H или $R_K \approx (0,1 \div 0,2)R_H$.

Но уменьшение R_K приводит к росту тока насыщения, который должен быть меньше максимально допустимого для выбранного типа транзистора $J_{K\max}$.

$$J_{KH} = \frac{E_K}{R_K} < 0,5J_{K\max}$$

Тогда окончательно

$$\frac{2E_K}{J_{K\max}} < R_K < (0,1 \div 0,2)R_H \quad (11)$$

1.3. Ждущие мультивибраторы (одновибраторы)

Одновибраторы предназначены для генерации прямоугольных импульсов заданной амплитуды и длительности. Они широко применяются в импульсных устройствах для формирования из коротких запускаящих импульсов более длительных прямоугольных импульсов, для задержки импульсов на заданное время, образования ждущей развертки в осциллографах и для других целей.

Наиболеее практическое применение получила схема одновибратора с эмиттерной связью (рис. 4).

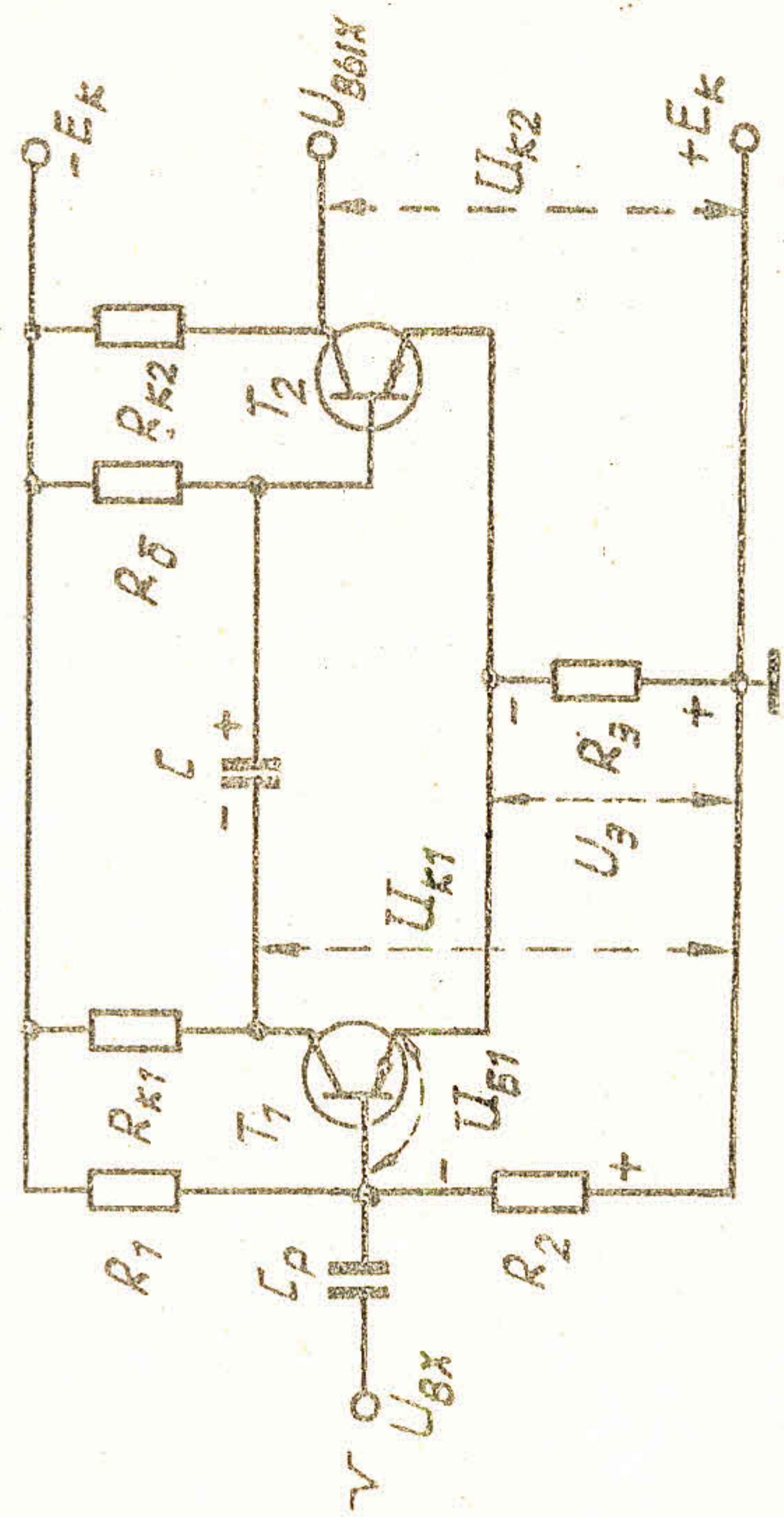


Рис. 4. Схема одновибратора с эмиттерной связью

Одновибратор имеет одно устойчивое состояние равновесия и одно — квазиравновесия. Переход из устойчивого состояния в квазиравновесное происходит под действием запускающего импульса. Возврат схемы в устойчивое состояние — за счет внутренних процессов. Длительность квазиравновесного состояния соответствует длительности выходного импульса и определяется величиной постоянной времени времязадающей цепи CR_3 .

В исходном состоянии устойчивого равновесия транзистор T_1 заперт, а T_2 насыщен. Насыщение транзистора T_2 обеспечивается достаточным по величине базовым током, протекающим через резистор R_3 , при выполнении условия насыщения, $R_3 \leq \beta R_{к2}$. Неглубокое насыщение транзистора T_2 происходит при $R_3 \approx (0,8 - 0,9)\beta R_{к2}$. При этом в це-

ли эмиттера транзистора T_2 протекает ток

$$I_{02} \approx \frac{E_K}{R_{12} + R_3}$$

За счет этого тока на резисторе R_3 , возникает падение напряжения, $U_3 = I_{02}R_3$, с полярностью, показанной на рис. 4. Одновременно через делитель R_1, R_2 течет ток, создающий на резисторе R_2 падение напряжения U_{R2} . Если $|U_{R2}| > |U_{R3}|$, то на базе транзистора T_1 создается положительное напряжение U_{B1} , и транзистор T_1 заперт.

Конденсатор C в исходном состоянии заряжен до напряжения $U_C = E_K - U_3$, полярность которого показана на рис. 4. Цель заряда конденсатора: $(+E_K) - \text{корпус} - R_3 - \text{эмиттер-база } T_2 - C - R_{K1} - (-E_K)$. В момент t_1 поступления на базу транзистора T_1 отрицательного запускающего импульса U_{RX} с амплитудой, превышающей U_{B1} , транзистор T_1 отпирается и напряжение на его коллекторе увеличивается (рис. 5). Возникающее положительное приращение напряжения через

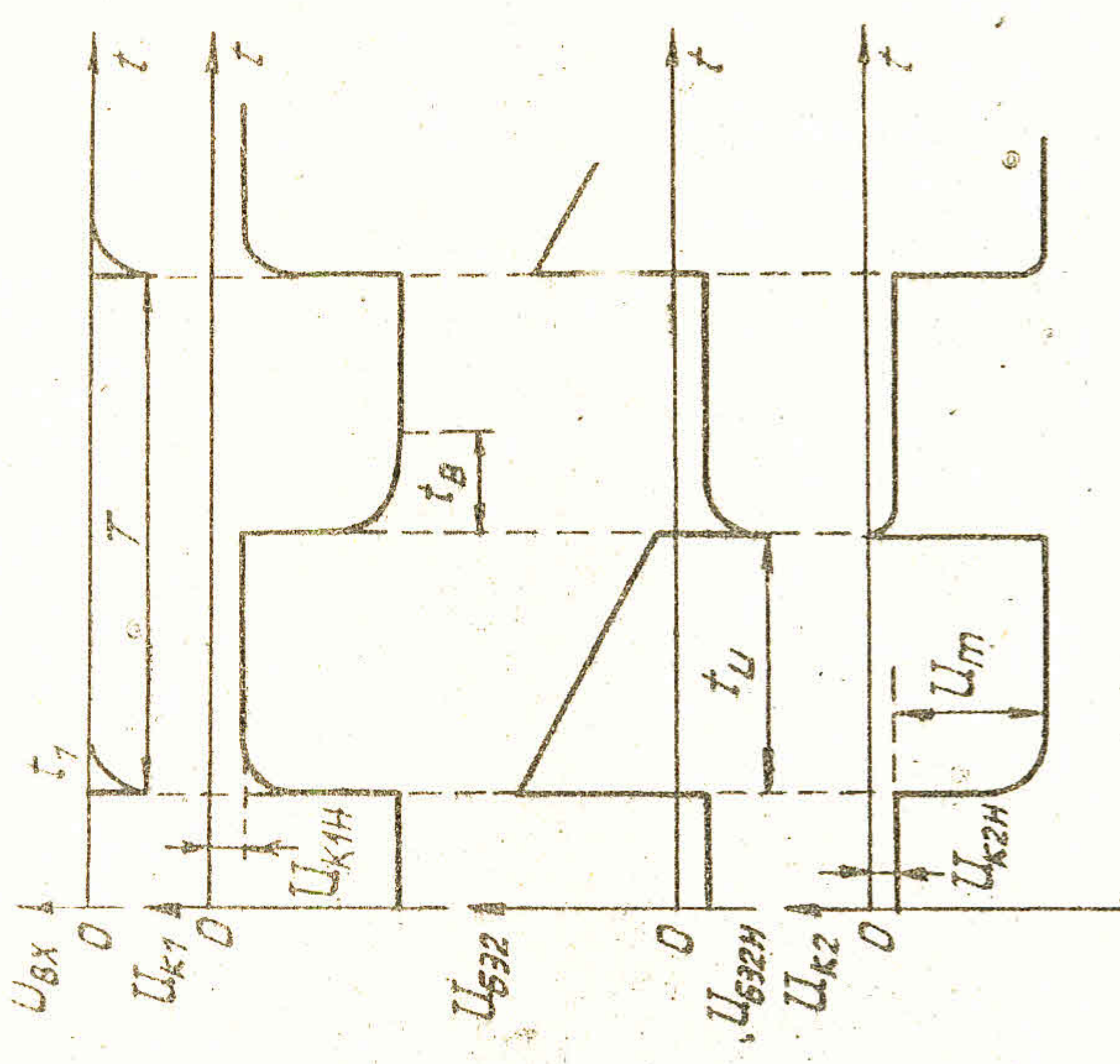


Рис. 5. Временные диаграммы напряжений одновибратора конденсатор C передается на базу транзистора T_2 , вызывая его запираение и уменьшение тока эмиттера. В результате на резисторе R_3 создается положительное (отпирающее T_2) приращение напряжения, которое, однако, оказывается меньше запирающего, приложенного к

базе транзистора T_2 , что вызывает дальнейшее уменьшение тока в цепи его коллектора. Данный процесс протекает лавинообразно и заканчивается запираем T_2 , насыщением T_1 и переходом схемы в состояние квазиравновесия. В таком состоянии ток через резистор R_1 достаточен для насыщения транзистора T_1 , а транзистор T_2 удерживается в запертом состоянии напряжением на конденсаторе C , которое через транзистор T_1 , если его считать эквипотенциальной точкой, приложено между базой и эмиттером T_2 . $U_{B2} = U_C > 0$. При этом происходит постепенный разряд конденсатора C по цепи: $(+U_C) - R_3 - (-E_K) - (+E_K) - \text{корпус} - R_3 - \text{эмиттер-коллектор } T_1 - (-U_C)$. Когда напряжение U_{B2} достигнет нуля, произойдет отпирание транзистора T_2 . В результате возникает лавинообразный процесс опрокидывания, и одновибратор возвратится в исходное состояние устойчивого равновесия. Конденсатор C вновь зарядится почти до E_K . В таком состоянии мультивибратор ждет прихода следующего запускающего импульса. Выходные импульсы снимаются с коллектора транзистора T_2 . Они имеют отрицательную полярность и лучшую форму по сравнению с импульсами на коллекторе T_1 , так как выход схемы не нагружен цепью обратной связи.

Длительность импульса, формируемого на коллекторе транзистора T_2 , определяется из следующего выражения

$$t_U \approx CR_3 \ln 2 \approx 0,7CR_3$$

и может регулироваться изменением сопротивления резистора R_3 либо изменением емкости конденсатора C . Период повторения определяется периодом запускающих импульсов.

Для нормальной работы одновибратора необходимо, чтобы к приходу очередного запускающего импульса процесс восстановления, т.е. возвращения схемы в исходное состояние, закончился. Отсюда следует, что период повторения запускающих импульсов должен быть

$$T \geq t_U + t_B, \tag{12}$$

где t_B - время восстановления одновибратора, определяемое временем полного заряда конденсатора C ,

$$t_B \approx 3\tau_{зар} \approx 3C(R_{K1} + R_3). \tag{13}$$

Длительность фронта и среза импульса выходного напряжения оказываются примерно равными, поскольку выход одновибратора с иммитерной связью не нагружен цепью обратной связи и определяется частотными свойствами используемых транзисторов:

$$t_{\phi} \approx t_{cp} = (0,3 - 0,5) \frac{1}{f_c}. \tag{14}$$

Расчет параметров элементов схемы одновибратора проводится из следующих соображений.

В исходном состоянии транзистор T_2 должен быть насыщен. При этом $J_{K2H} < \beta J_{\delta 2}$ или $\frac{E_K - U_{\delta 2}}{R_{K2}} < \beta \frac{E_K - U_{\delta 2}}{R_{\delta 2}}$.

Откуда следует, что $R_{\delta 2} < \beta R_{K2}$.

Сопротивление R_{K2} выбирается из условия получения необходимой амплитуды выходного сигнала

$$U_m = R_{K2} J_{K2H}, \quad (15)$$

где J_{K2H} - величина тока транзистора T_2 в открытом состоянии выбирается в несколько раз меньше предельно допустимого J_{km} для выбранного транзистора

$$J_{K2H} \approx (0,2 \div 0,5) J_{km},$$

$$R_{K2} = \frac{U_m}{(0,2 - 0,5) J_{km}}. \quad (16)$$

Тогда

Полагая $J_{\delta 2} \approx J_{K2H} = \frac{E_K}{R_{K2} + R_{\delta 2}},$

$$R_{\delta 2} = \frac{E_K}{J_{K2H}} - R_{K2}. \quad (17)$$

находим

Транзистор T_1 в исходном состоянии должен быть запертым, а в квазиустойчивом - насыщенным. Такой режим работы транзистора обеспечивается соответствующим выбором сопротивлений делителя $R_1 - R_2$.

В квазиустойчивом состоянии насыщение транзистора T_1 , не должно быть таким глубоким, как для транзистора T_2 . При этом время рассасывания носителей, время восстановления исходного режима, будет меньше. Для этого сопротивление R_{K1} выбирается больше, чем R_{K2} :

$$R_{K1} \approx (2 \div 3) R_{K2}. \quad (18)$$

При этом режим насыщения будет обеспечиваться соответствующим выбором сопротивления R_1 в цепи базы транзистора T_1 $R_1 < \beta R_{K1}$ или

$$R_1 \approx (0,2 - 0,5) \beta R_{K1}. \quad (19)$$

Задаваясь напряжением $U_{\delta 21}$, запирающим транзистор T_1 (это напряжение в зависимости от типа транзистора выбирается в пределах $0,3 \div 1,5$ В), можно определить величину сопротивления R_2 из следующих соотношений:

$$\frac{E_K}{R_1 + R_2} * R_2 = R_{\delta 2} J_{\delta 2} - U_{\delta 21},$$

$$R_2 = R_1 \frac{R_{\delta 2} J_{\delta 2} - U_{\delta 21}}{E_K - R_{\delta 2} J_{\delta 2} + U_{\delta 21}}. \quad (20)$$

Откуда

Кроме схемы с базовым запуском одновибратора на практике часто применяется диодный коллекторный запуск импульсами поло-

жительной полярности (рис.6), которые через конденсатор воздействуют на базу открытого транзистора T_2 . Диодный коллекторный запуск одновибратора обладает тем преимуществом, что в процессе опрокидывания диод отключает одновибратор от цепи запуска и повышает его устойчивость. Однако запуск на базу T_1 обеспечивает большую стабильность длительности выходного импульса, которая определяется процессами в базовой цепи транзистора T_1 .

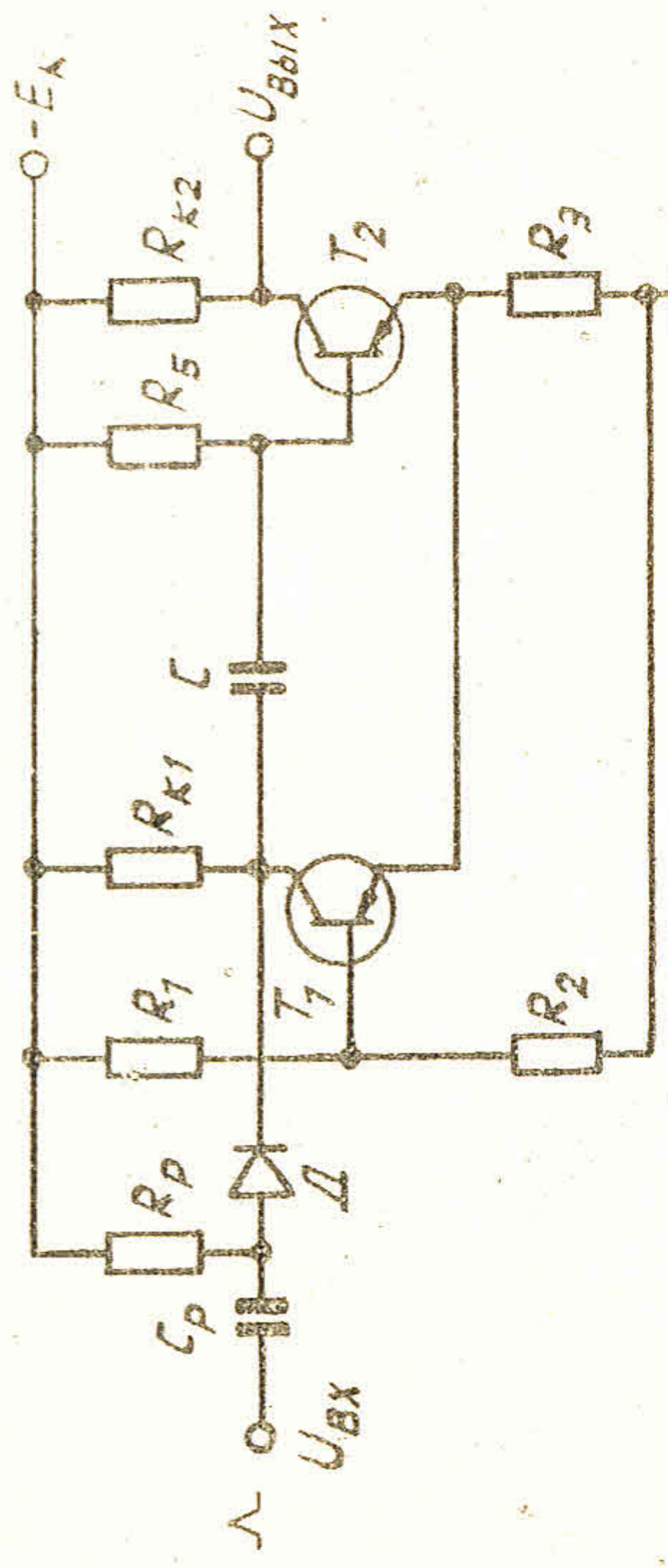


Рис. 6. Одновибратор с эмиттерной связью и коллекторным запуском

Кроме рассмотренных схем в импульсных устройствах применяются одновибраторы с коллекторно - базовыми связями, одновибраторы на полевых транзисторах, а также на операционных усилителях.

1.4. Мультивибраторы на операционных усилителях

Операционные усилители (ОУ) можно использовать для построения схем мультивибраторов, работающих в ждущем (рис.7) и автоколебательном режимах (рис.8) с повышенной стабильностью генерируемых импульсов.

В ждущем бистабильном мультивибраторе на ОУ с положительной обратной связью (рис.7) выходное напряжение $U_{вых}$ скачком меняет свою полярность инверсно по отношению к полярности запускающего импульса. Первый положительный импульс вызывает лавинообразный процесс опрокидывания и формирования плоской части выходного сигнала, который заканчивается с приходом второго запускающего импульса отрицательной полярности, после чего схема возвращается в исходное, стабильное состояние и "ждет" прихода следующего положительного импульса запуска.

Длительность выходного импульса τ_U определяется временным промежутком между фронтами запускающих импульсов положительной и отрицательной полярности. Период повторения импульсов мультивибратора равен периоду повторения импульсов запуска.

Работа мультивибратора в автоколебательном режиме (рис. 8, а) характеризуется графиками (рис. 8, б), где показано симметричное

выходное напряжение, уровни которого $U_{ВЫХ}^+$ и $U_{ВЫХ}^-$ приближаются к питающим напряжениям $+E_{ИП1}$ и $-E_{ИП2}$ и определяются свойствами выходного каскада ОУ.

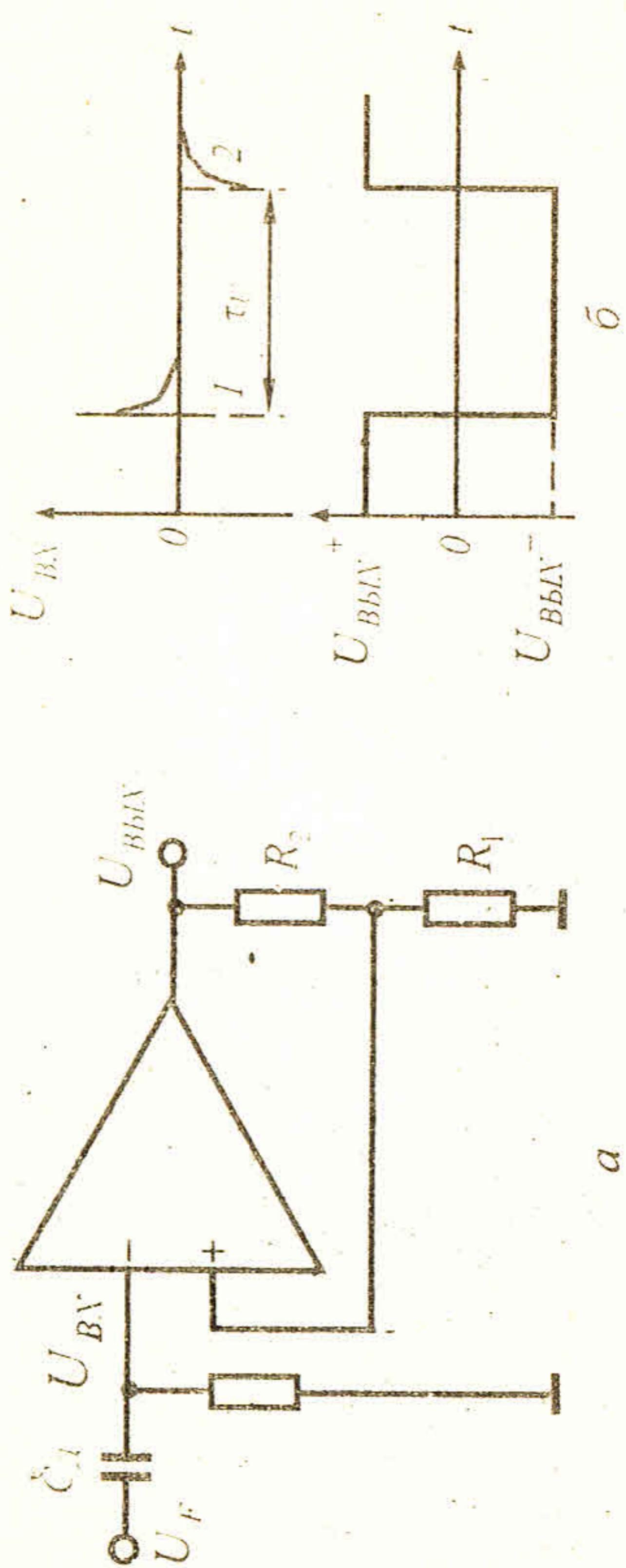


Рис. 7. Ждущий бистабильный мультивибратор:
а — схема; б — графики напряжений

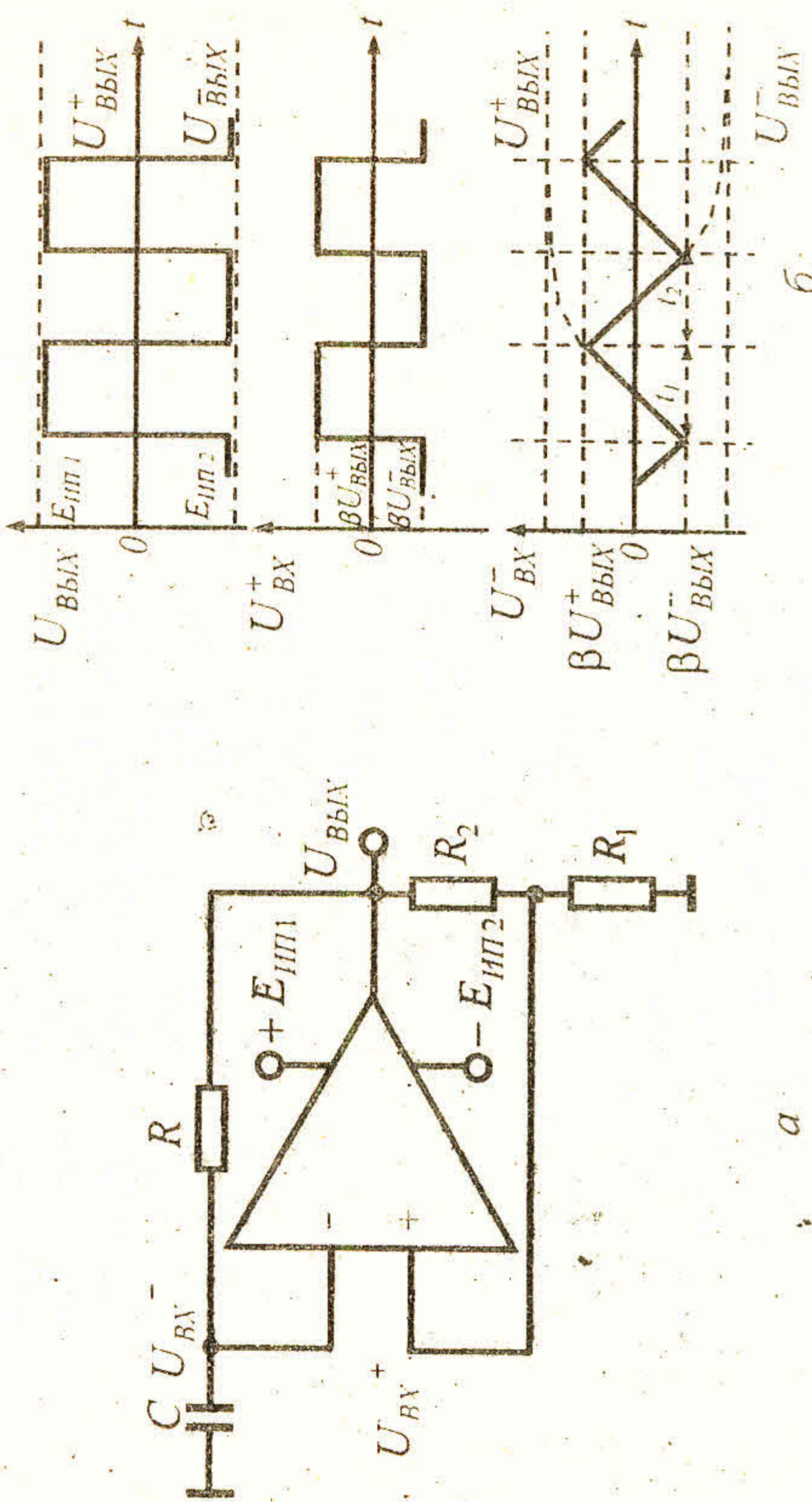


Рис. 8. Мультивибратор в автоколебательном режиме:
а — схема; б — графики напряжений

Напряжение положительной обратной связи, соответствующее по форме выходному напряжению, подается через обратную связь R_1 , R_2 на инвертирующий вход ОУ. Это напряжение $U_{ВХ}^+ = \beta U_{ВЫХ}^+$, где $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ (здесь β , в отличие от предыдущего обозначения, не коэффициент усиления транзистора, а коэффициент ослабления цепи обратной связи). Так как напряжение между входами ОУ в линейном режиме приближается к нулю (на основании принципа виртуального замыкания), то скачки и смена полярности выходного напряжения происходят лишь в те моменты времени,

когда напряжение на конденсаторе $U_C = U_{ВХ}^-$ достигает значений $\beta U_{ВЫХ}^+$ и $\beta U_{ВЫХ}^-$. В остальное время конденсатор C перезаряжается в обеих полярностях током, вызываемым выходным напряжением, который протекает через резистор R . Постоянная времени цепи перезаряда равна RC .

Так как полное напряжение, до которого может зарядиться конденсатор, равно $U_{ВЫХ}^+$ или $U_{ВЫХ}^-$, а смена полярности выходного напряжения, определяющая длительность его перепадов, происходит при достижении напряжения на конденсаторе значений $\beta U_{ВЫХ}^+$ и $\beta U_{ВЫХ}^-$, то можно записать

$$\beta U_{ВЫХ}^+ + \beta U_{ВЫХ}^- = (U_{ВЫХ}^+ + \beta U_{ВЫХ}^-)(1 - e^{-t_1/RC}).$$

Левая часть полученного выражения — это напряжение на конденсаторе C при его заряде за время t_1 ; $U_{ВЫХ}^+ + \beta U_{ВЫХ}^-$ — полное напряжение, приложенное к цепи перезаряда конденсатора. После преобразований получаем

$$e^{t_1/RC} = (U_{ВЫХ}^+ + \beta U_{ВЫХ}^-) / (U_{ВЫХ}^+ - \beta U_{ВЫХ}^-)$$

Логарифмируя обе части равенства определим время t_1

$$t_1 = RC \ln[(U_{ВЫХ}^+ + \beta U_{ВЫХ}^-) / (U_{ВЫХ}^+ - \beta U_{ВЫХ}^-)] \quad (21)$$

Аналогично получаем выражение для t_2

$$t_2 = RC \ln[(U_{ВЫХ}^- + \beta U_{ВЫХ}^+) / (U_{ВЫХ}^- - \beta U_{ВЫХ}^+)] \quad (22)$$

Если выходной сигнал симметричен относительно оси времени,

то

$$t_1 = t_2 = RC \ln[(1 + \beta) / (1 - \beta)] = RC \ln(1 + 2R_1/R_2).$$

При этом период повторения равен

$$T = t_1 + t_2 = 2RC \ln(1 + 2R_1/R_2).$$

Таким образом, длительность и период повторения импульсов мультивибратора не зависят от свойств ОУ, а определяются только параметрами элементов схемы, чем и объясняется высокая стабильность генерируемых импульсов.

1.5. Мультивибраторы на логических элементах в интегральном исполнении

В настоящее время цифровые серии интегральных схем (ИС), включающих базовые логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ широко используются для построения импульсных устройств, в том числе и мультивибраторов (обычно в качестве тактовых генераторов, управляющих устройств и ключей). Времязадающие цепи при этом выполняются на навесных элементах.

Для примера рассмотрим одну из возможных схем ждущего мультивибратора (одновибратора) на ИС И-НЕ, показанную на рис. 9, совместно с временными диаграммами напряжений.

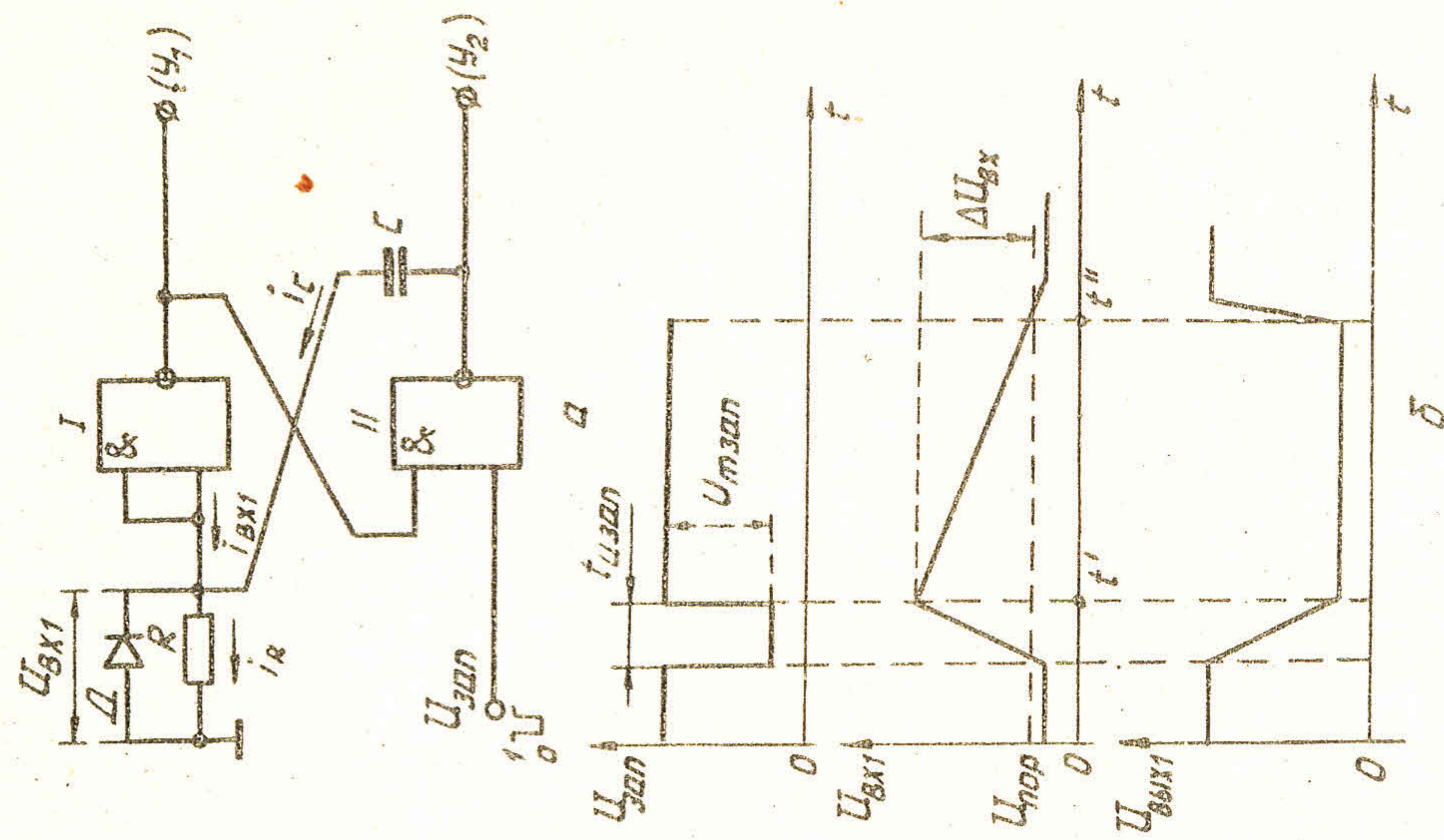


Рис. 9. Ждущий мультивибратор (одновибратор) на ИС И - НЕ:
 а - схема; б - временные диаграммы напряжений

В исходном состоянии элемент I закрыт, на его выходе высокий уровень напряжения, $U_{вых1} = E^1, Y_1 = 1$, а элемент II открыт, на его выходе низкий уровень напряжения, $U_{вых2} = E^0, Y_2 = 0$.
 В таком состоянии ток i_C через конденсатор C не течет. Входное напряжение на элементе I будет равно

$$U_{вх1} = R_{ЭКВ} J_{вх1}^0 = (R \parallel R_{вх}) J_{вх1}^0$$

где $J_{вх1}^0$ - входной ток элемента при отсутствии входного воздействия,

$R_{вх}$ - входное сопротивление собственно логического элемента.
 Сопротивление R выбирают таким, чтобы выполнялось условие $U_{вх1} < U_{пор}$, где $U_{пор}$ - пороговый уровень входного напряжения, при котором отпирается элемент И - НЕ. Элемент I закрыт, элемент II открыт, так как на его входы действуют высокие уровни напряжений, $E^1 > U_{пор}$ и $U_{зап} > U_{пор}$.

Таким образом, должно выполняться неравенство

$$R_{ЭКВ} < \frac{U_{пор}}{J_{вх1}^0}$$

Например, для элементов ТТЛ при напряжении питания $E = 5В$ имеем $U_{пор} \approx 1,5В, I_{вх}^0 \approx 0,5мА, R_{вх} \approx 10кОм$, для получения нормального исходного режима следует, согласно условию, выбрать $R < 4кОм$.

Запуск схемы производят короткими импульсами $U_{зап}$ подаваемыми на вход элемента II. Амплитуда импульса $U_{мзоп}$ и его длительность $t_{U_{зап}}$ должны быть достаточны для переключения элементов I и II. Процесс переключения аналогичен процессу переключения ждущего мультивибратора. В результате переключения элемент I отпирается ($Y_1 = 0$), на его выходе создается низкий уровень напряжения, а элемент II запирается ($Y_2 = 1$), на его выходе создается высокий уровень напряжения - E^1 .

По окончании процесса переключения, с момента t' в схеме наступает режим квазиравновесия, при котором конденсатор C заряжается через резистор R. По мере заряда ток заряда i_C уменьшается и падение напряжений на резисторе R соответственно падает $U_R = U_{вх1} = R i_C(t) = E^1 e^{-t/\tau}$. В момент t'' входное напряжение достигает порогового значения, происходит обратное переключение элементов I и II и процесс восстановления исходного состояния схемы. При этом на входе элемента I может создаваться отрицательный выброс напряжения. Для предотвращения подобных выбросов и сокращения времени восстановления резистор R шунтируется диодом.

Длительность формируемого импульса t_n (без учета длительности фронтов) при выполнении неравенств $R_{вх1} < R, J_{вх1} R \ll E^1$, где $R_{вх1}$ - выходное сопротивление собственно логического элемента (порядка сотен Ом), может быть определена из следующих соотношений:
 при $t = t_n$

$$U_{вх1} = U_{пор} = E^1 e^{-t_n/\tau}$$

откуда

$$t_U \approx \tau \ln \frac{E^1}{U_{\text{пор}}}$$

Так как обычно E^1 равно (2-3) $U_{\text{пор}}$, то t_U оказывается близкой к величине τ :

$$(23)$$

где $\tau = C(R + R_{\text{вых}})$ — постоянная времени цепи заряда конденсатора C .

2. РАСЧЕТ МУЛЬТИВИБРАТОРА В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

1-й вариант

Считаются заданными: тип и параметры транзисторов напряжения питания E_K , длительность импульса t_U , частота колебаний и сопротивление нагрузки — R_H .

Расчету подлежат: параметры элементов схемы, длительность фронта и среза, максимально возможная скважность импульсов с выбранными транзисторами.

Рекомендуется следующий порядок расчета.

1. Определяют R_{K1} и R_{K2} из соотношения (11)

$$\frac{2E_K}{J_{K \text{ max}}} < R_K < (0,1 \div 0,2)R_H$$

2. R_1 и R_2 находят из соотношения (10)

$$R_1 = \frac{1}{2} \beta R_{K1}, \quad R_2 = \frac{1}{2} \beta R_{K2}$$

3. Определяют емкости времязадающих конденсаторов C_1 и C_2 из соотношений (1) и (2)

$$C_1 \approx \frac{t_{U2}}{0,7R_1}, \quad C_2 \approx \frac{t_{U1}}{0,7R_2}$$

4. Определяют длительность среза импульсов и длительность фронта из (7) и (8):

$$t_{CP1} = 2,3R_{K1}C_2, \quad t_{CP2} = 2,3R_{K2}C_1, \\ t_{\phi} \approx \frac{0,3 - 0,5}{f_{\alpha}}$$

5. Находят частоту колебаний из соотношений (1) - (5)

$$f \approx 0,7CR$$

6. Определяют максимально возможную скважность импульсов несимметричного мультивибратора на выбранных транзисторах из соотношения (9):

$$Q_{\text{max}} = 1 + 0,3\beta$$

II-й вариант

Считаются заданными: тип и параметры транзисторов, напряжение питания E_K , параметры элементов схемы мультивибратора $R_1, R_2, C_1, C_2, R_{K1}, R_{K2}$. Расчету подлежат: параметры импульсов $t_{U1}, t_{U2}, f, t_{CP1}, t_{CP2}, Q_{\text{max}}$, которые определяются в соответствии с выражениями (1) - (9)

3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. Исследование мультивибратора с коллекторно-базовыми связями в режиме автоколебаний

а. Рассчитать длительность импульсов на коллекторах транзисторов t_{U1} и t_{U2} , длительность фронта и среза импульсов t_{CP1}, t_{CP2} и период колебаний T мультивибратора с коллекторно-базовыми связями в режиме автоколебаний. Исходные данные взять из табл. 1 приложения. Проверить, выполняются ли для заданных значений R_1, R_2, R_{K1}, R_{K2} условия насыщения транзисторов. Определить максимально возможную скважность импульсов Q_{max} несимметричного мультивибратора на выбранном транзисторе.

б. Установить печатную плату с транзисторами и элементы мультивибратора на универсальной панели; произвести монтаж схемы мультивибратора (рис. 10).

в. Подключить вход осциллографа к коллектору транзистора T_2 (клемма К7).

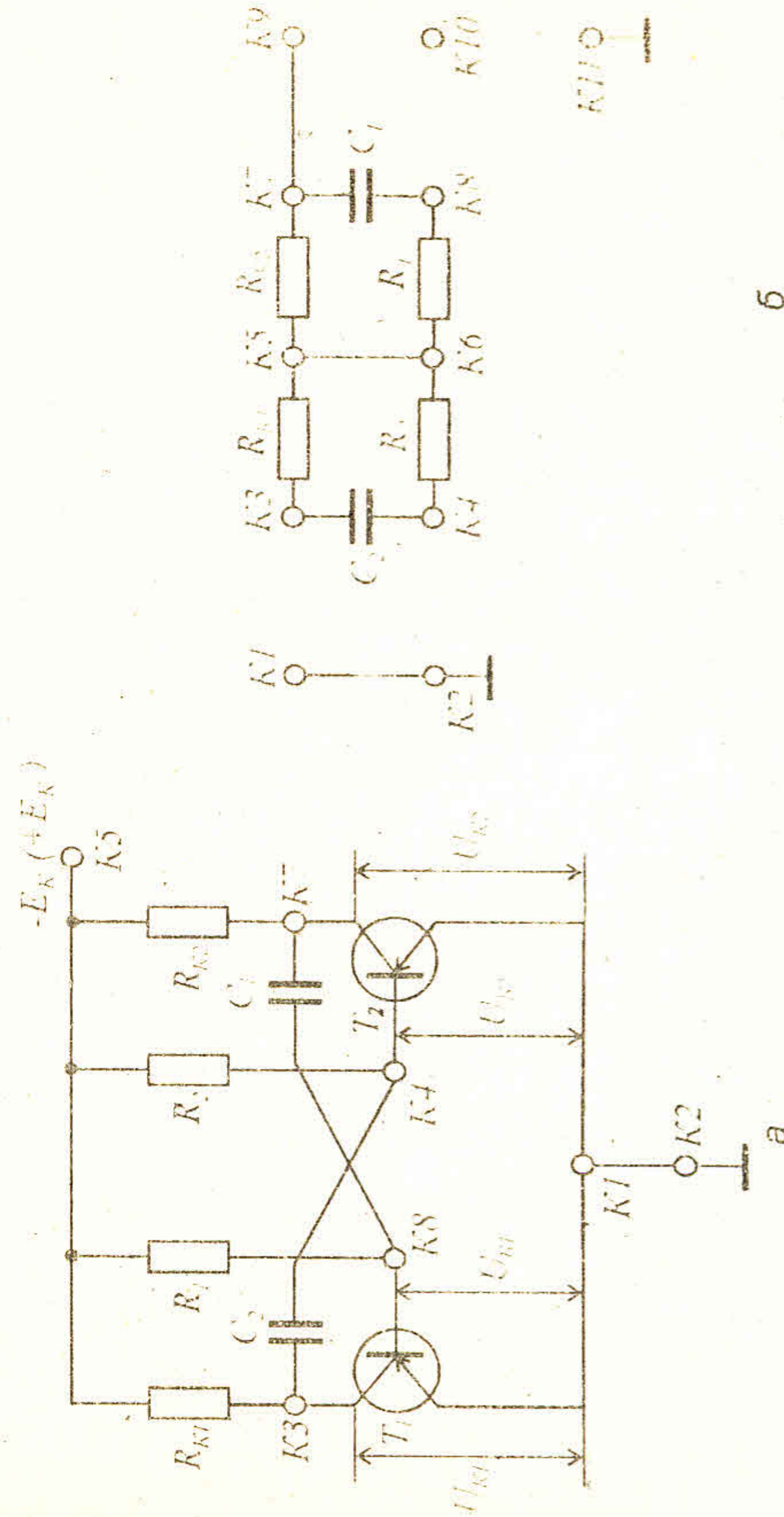


Рис. 10. Мультивибратор с коллекторно-базовыми связями с отрицательной базой в режиме автоколебаний.

а — принципиальная электрическая схема; б — монтажная схема

г. Включить питание мультивибратора и осциллографа, убедиться в наличии автоколебаний.

д. Снять осциллограммы напряжений на коллекторах и базах транзисторов, $U_{K2}, U_{K1}, U_{B2}, U_{B1}$, при неизменной длительности разетки осциллографа в режиме внешней синхронизации (синхроимпульсы снимать с К9); измерить и обозначить на осциллограммах длительность, период T , и амплитуду импульсов U_{K1} и U_{K2} , длительности фронта и среза. В отчете осциллограммы расположить по вертикали, соблюдая временные соотношения. Рассчитанные и измеренные величины занести в таблицу.

Рассчитанные и измеренные значения параметров мультивибратора в автоколебательном режиме

$t_{ср1}$, МКС	$t_{ср2}$, МКС	T , МКС	f , ГЦ	$t_{ф}$, МКС	$t_{ср1}$, МКС	$t_{ср2}$, МКС	Q , max

Примечание. Данные расчета записать в первой строке, данные измерений - во второй.

е. Сопоставить рассчитанные величины с измеренными, сделать краткие выводы.

3.2. Исследование одновибратора с эмиттерной связью

а. Рассчитать длительность, время нарастания $t_{ф}$ и амплитуду выходного импульса на коллекторе транзистора T_2 одновибратора с эмиттерной связью (рис. 11). Определить, закончится ли процесс восстановления к моменту прихода очередного запускающего импульса для заданной частоты следования этих импульсов. Расчеты производить, пользуясь соотношениями (12) - (20). Исходные данные взять из табл. 2 приложения.

б. Установить печатную плату с транзисторами и элементами одновибратора на универсальной панели в соответствии с монтажной схемой (рис. 11, б).

в. Подключить выход генератора сигналов к клеммам К9-К11 на универсальной панели, установить заданную частоту колебаний генератора.

г. Подключить вход осциллографа к коллектору транзистора T_2 (клемма К7).

д. Включить питание одновибратора, осциллографа и генератора сигналов, увеличивать на выходе генератора напряжение до возникновения колебаний на экране осциллографа. Если колебания отсутствуют, проверить наличие запускающих импульсов на входе од-

новибратора (клеммы К10 - К11) и исходный (статический) режим схемы (T_1 - закрыт, T_2 - открыт), измерив постоянные напряжения на коллекторах T_1 и T_2 (клеммы К3, К7).

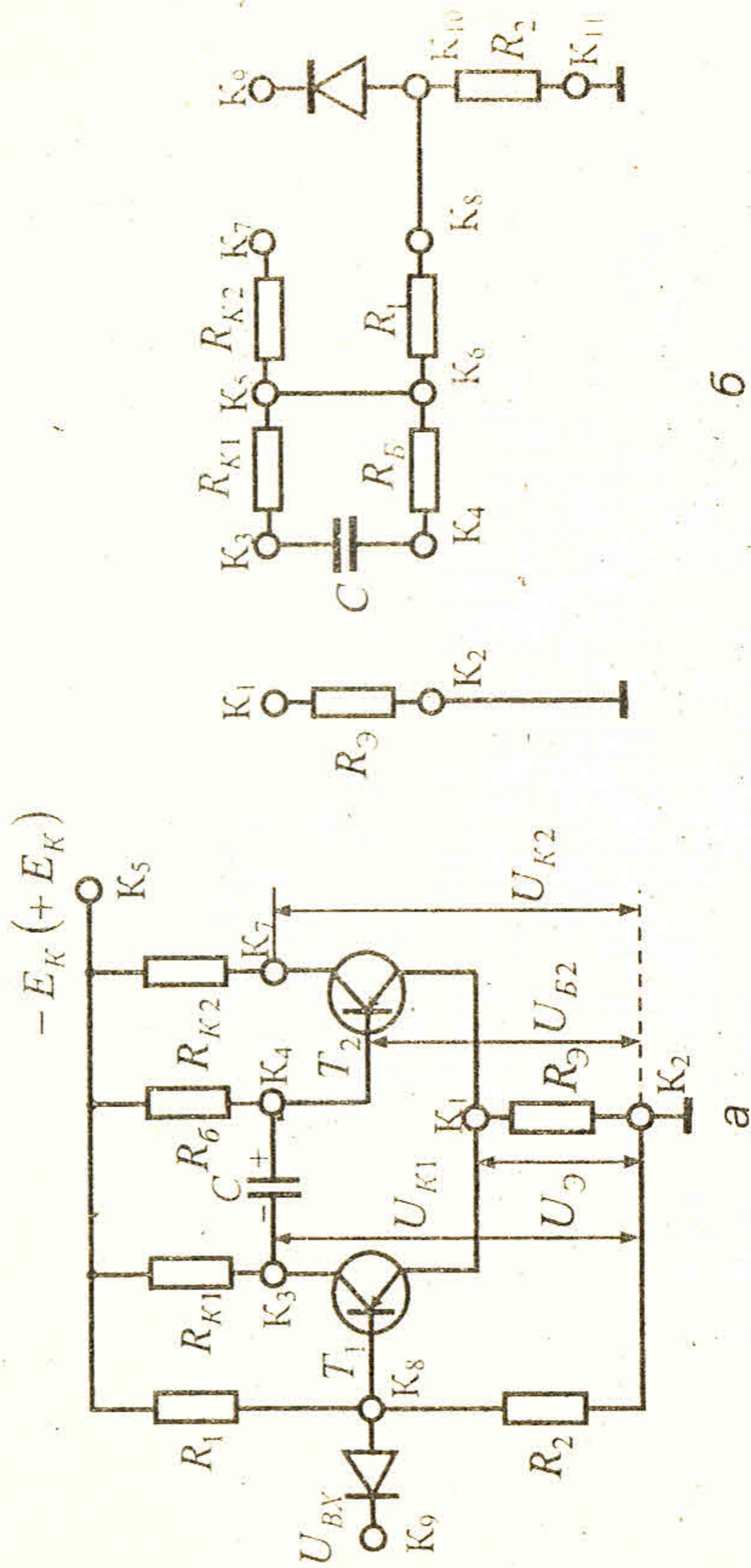


Рис. 11. Одновибратор с эмиттерной связью: а - принципиальная электрическая схема; б - монтажная схема

3.3. Исследование мультивибраторов на операционном усилителе

а. Рассчитать длительности и частоту повторения импульсов мультивибратора на операционном усилителе (рис. 12, а), используя соотношения (21), (22). Исходные данные взять из табл. 3 приложения.

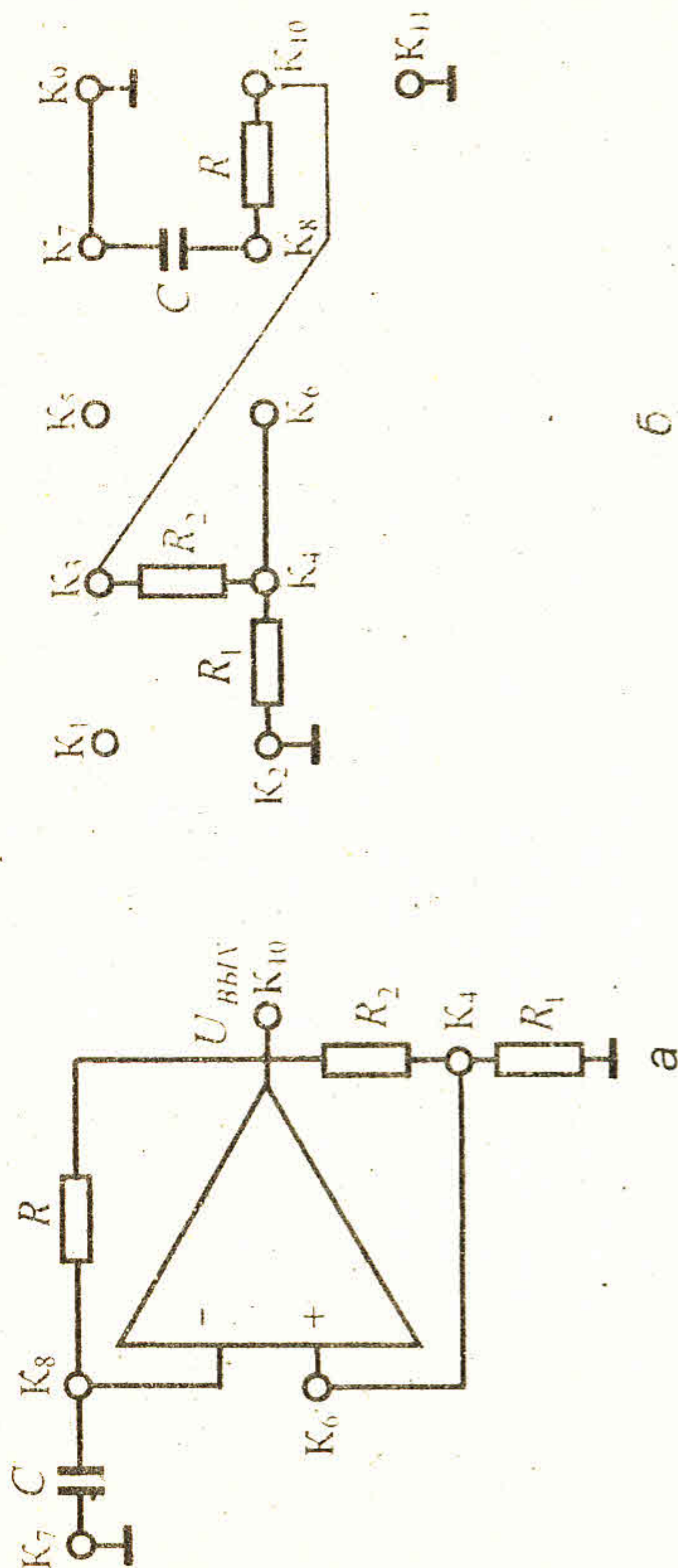


Рис. 12. Мультивибраторы на ОУ в автоколебательном режиме: а - принципиальная схема; б - монтажная схема

б. Установить печатную плату с ОУ на универсальной панели, произвести монтаж схемы в соответствии с рис. 12, б (клеммы К3 и К10 соединить внешним проводником).

в. Подключить вход осциллографа к выходу ОУ (клемма К10).
 г. Включить питание универсальной панели и осциллографа, убедиться в наличии автоколебаний.

д. Снять осциллограммы напряжений на входе и выходе ОУ (клеммы К6, К8, К10) - U_{BX}^+ ; U_X^- ; $U_{ВЫХ}$; при неизменной длительности развертки осциллографа в режиме внешней синхронизации. Изменить амплитуду, длительность и период повторения генерируемых импульсов. Сравнить экспериментальные данные с расчетными, сделать краткие выводы.

е. Собрать схему и исследовать работу ждущего бистабильного мультивибратора (рис 13, а, б), подавая на вход напряжение U_F в форме прямоугольных импульсов (меандр) с выхода генератора сигналов.

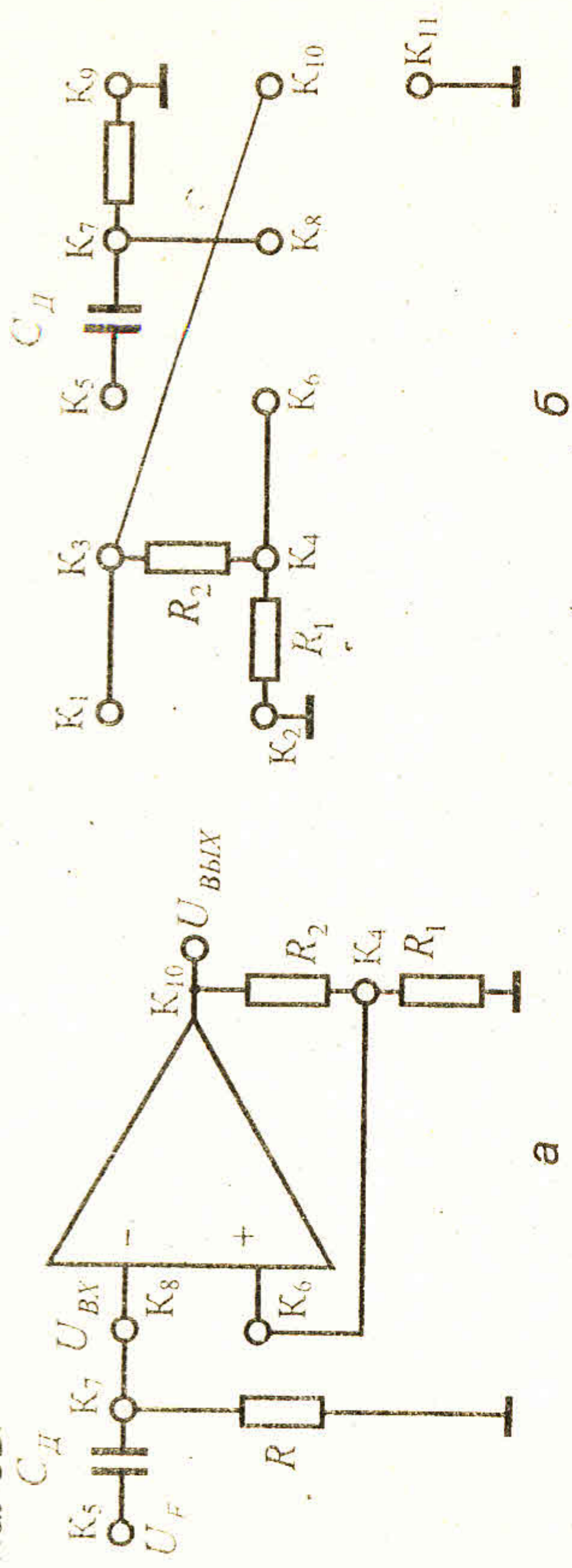


Рис. 13. Ждущий бистабильный мультивибратор:
 а - принципиальная схема; б - монтажная схема

ж. Величину ёмкости C_D рассчитать исходя из условия дифференцирования входного меандра на заданной частоте F

$$\tau = RC_D \ll T = \frac{1}{F}, \text{ откуда } C_D \leq \frac{1}{10RF}.$$

з. Измерить длительность импульсов t_n и время нарастания t_ϕ . Сравнить выходные импульсы с соответствующими для одновибратора на транзисторах. Сделать краткие выводы.

3.4. Исследование одновибратора на интегральной схеме И-НЕ

а. Рассчитать параметры времязадающей цепи R и C одновибратора, выполненного на интегральной схеме И-НЕ (рис. 14) для получения длительности импульса, ранее рассчитанной по заданию для одновибратора на транзисторах. Согласно изложенным в теоретическом разделе сведениям; целесообразно выбрать $R = 2 \text{ кОм}$. C считать из соотношения (23). Рассчитать также ёмкость C_D дифференцирующей цепи импульсов запуска.

б. Установить печатную плату с микросхемой на универсальной панели, произвести монтаж схемы одновибратора в соответствии с рис. 14,б.

в. Подключить выход генератора сигналов в режиме прямоугольных импульсов "меандр" к клеммам К3 - К1 на универсальной панели; установить частоту колебаний генератора F согласно заданию для одновибратора на транзисторах.

г. Вход осциллографа соединить с выходом одновибратора (клеммы К5, К9 и корпус-клемма К11).

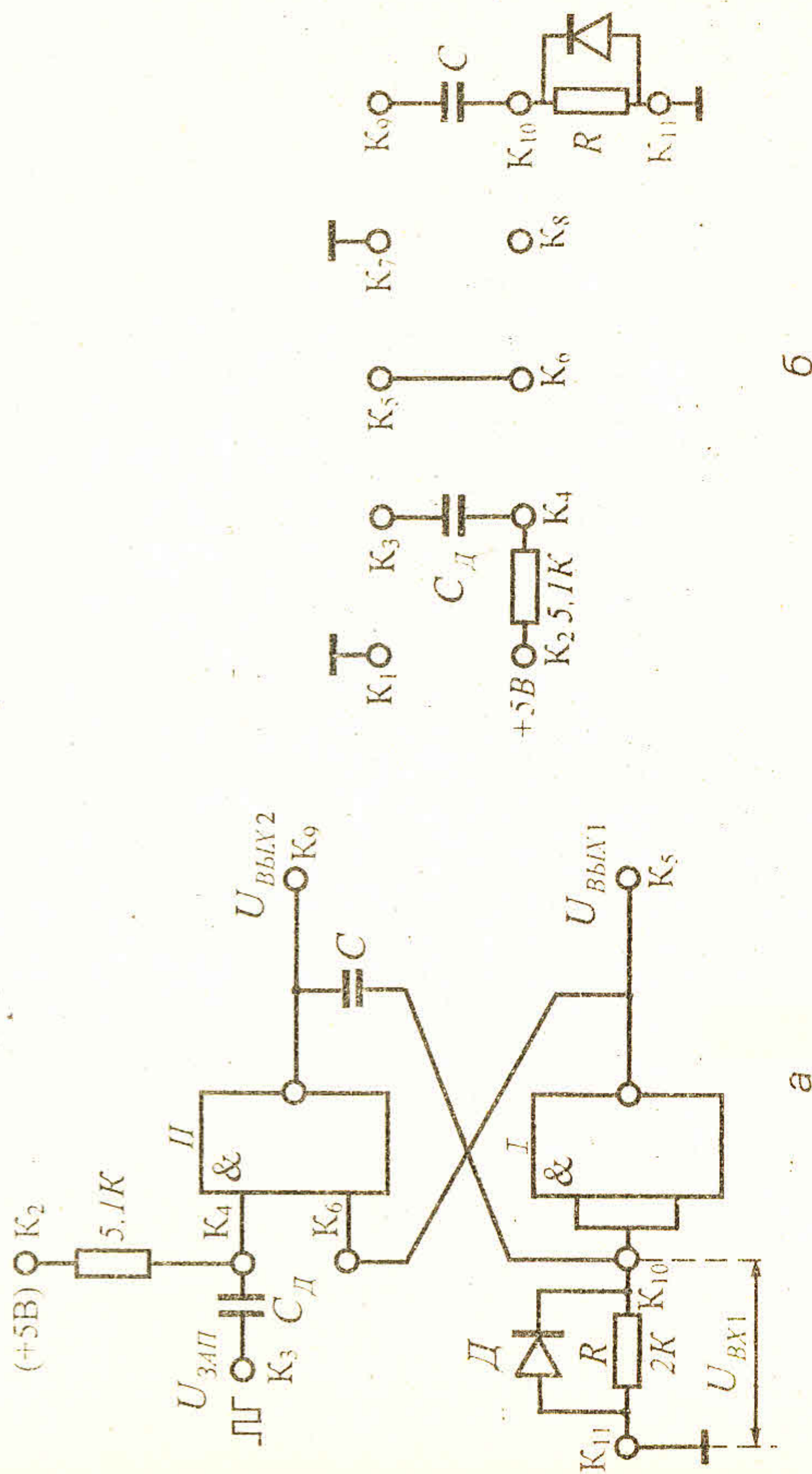


Рис. 14. Одновибратор на логической интегральной схеме И-НЕ:
 а - функциональная схема; б - монтажная схема

д. Включить питание осциллографа, генератора сигналов и универсальной панели и питание одновибратора ($F_{II} = 5B$); увеличить напряжение на выходе генератора до возникновения колебаний на экране осциллографа.

е. Снять осциллограммы напряжений $U_{I,II}$, $U_{ВЫХ1}$, $U_{ВЫХ2}$ при неизменной длительности развертки осциллографа в режиме внешней синхронизации; измерить и обозначить на осциллограммах длительность и амплитуду выходного импульса

ж. Сопоставить рассчитанные и измеренные величины; сравнить параметры выходных импульсов одновибраторов на транзисторах и на интегральной схеме; сделать краткие выводы

Контрольные вопросы

1. Дать определение мультивибратора.
2. В каких режимах может работать мультивибратор? Дать характеристику режимов.
3. Изложить физические процессы в мультивибраторе с отрицательной базой и условия самовозбуждения. Начертить эюры напряжений на коллекторах и базах транзисторов мультивибратора.
4. Написать выражения для длительности и периода повторения импульсов мультивибратора в режиме самовозбуждения.
5. Пояснить работу мультивибратора в ждущем режиме (одновибраторы)
6. Построение мультивибраторов на операционных усилителях и интегральных микросхемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций. СПб., 2000.
2. Завадский В.А. Компьютерная электроника, Киев, 1996.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М., 1998.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Заданные величины и параметры элементов мультивибратора в автоколебательном режиме

№ задания	Тип транзисторов	β	R_{K1} , КОМ	R_{K2} , КОМ	R_{11} , КОМ	R_{21} , КОМ	C_{11} , МКФ	C_{21} , МКФ	E_{K1} , В
1	КТ361Г	200	1	2	51	100	0,015	0,01	12
2	КТ361Г	200	1,5	1	20	15	0,01	0,015	12
3	КТ361Г	200	1	2	51	100	2200	1500	12
4	КТ361Г	200	1	2	51	100	2200	3300	12
5	КТ361Г	200	1,5	1	20	15	2200	1500	12
6	КТ361Г	200	1	2	51	100	0,022	0,01	12
7	КТ361Г	200	2	1,5	30	20	6800	0,01	12
8	КТ361Г	200	2	1,5	30	20	2200	3300	12
9	КТ361Г	200	2	1,5	100	75	6800	0,01	12
10	КТ361Г	200	2	1,5	100	75	2200	3300	12
11	КТ361Г	200	3	2	51	30	6800	0,01	12
12	КТ361Г	200	3	2	120	100	0,022	0,033	12

Таблица 2

Заданные величины и параметры одновибратора на транзисторах

№ задания	Тип транзисторов	β	f_{α} , МГц	F , кГц	R_{K1} , КОМ	R_{K2} , Ом	R_{11} , КОМ	R_{21} , Ом	R_{β} , КОМ	R_{11} , КОМ	R_{β} , КОМ	C , пФ
1	КТ361Г	50	250	1	3	750	5,1	510	30	200	200	1000
2	КТ361Г	50	250	2	1,5	510	5,1	750	51	200	200	6800
3	КТ361Г	50	250	1	2	750	10	1 К	51	200	200	1500
4	КТ361Г	50	250	0,5	1,5	750	10	1 К	30	100	100	2200
5	КТ361Г	50	250	2,5	1,5	300	20	2 К	15	51	51	3300
6	КТ361Г	50	250	1,3	2	510	3	0,3	20	100	100	4700
7	КТ361Г	50	250	0,8	3	1,5 К	5,1	750	15	300	300	6800
8	КТ361Г	50	250	0,5	3	1 К	5,1	750	30	200	200	6800
9	КТ361Г	50	250	0,25	2	1 К	5,1	750	20	200	200	0,01 МКФ
10	КТ361Г	50	250	0,5	2	1 К	10	1 К	15	100	100	0,022 МКФ
11	КТ361Г	50	250	0,1	3	510	10	1 К	15	100	100	0,05 МКФ
12	КТ361Г	50	250	0,5	5,1	2 К	1,5	1,5 К	10	200	200	0,047 МКФ

Таблица 3

Заданные величины и параметры элементов мультивибраторов на операционном усилителе

№ задания	Тип операционного усилителя	R , кОм	C , мкФ	R_1 , кОм	R_2 , кОм	F , кГц
1	К140УД1Б	5,1	0,1	100	10	4,2
2	К140УД1Б	10	0,068	100	20	1,1
3	К140УД1Б	10	0,01	100	30	2,6
4	К140УД1Б	7,5	0,05	120	51	3
5	К140УД1Б	30	0,05	120	75	4
6	К140УД1Б	20	0,033	150	51	1,5
7	К140УД1Б	20	0,022	300	150	1
8	К140УД1Б	120	6800	300	150	0,5
9	К140УД1Б	51	0,05	75	30	3,5
10	К140УД1Б	10	0,015	51	20	4,2
11	К140УД1Б	75	0,015	51	30	1,3
12	К140УД1Б	51	4700	75	30	2,7

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Мультивибраторы с коллекторно-базовыми связями в автоколебательном режиме.....	5
1.3. Ждущие мультивибраторы (одновибраторы).....	11
1.4. Мультивибраторы на операционных усилителях.....	15
1.5. Мультивибраторы на логических элементах в интегральном исполнении.....	17
2. РАСЧЕТ МУЛЬТИВИБРАТОРА В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ	20
3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	21
3.1. Исследование мультивибратора с коллекторно-базовыми связями в режиме автоколебаний.....	21
3.2. Исследование одновибратора с эмиттерной связью.....	22
3.3. Исследование мультивибраторов на операционном усилителе.....	23
3.4. Исследование одновибратора на интегральной схеме И - НЕ.....	24
Контрольные вопросы	26
Список литературы	26
Приложение.....	27

Учебное издание

Соловьёв Юрий Васильевич,
Ишин Сергей Анатольевич,
Андреианов Виталий Геннадьевич,
Нимон Соломон Самойлович

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

Учебно-методическое пособие для студентов,
изучающих основы радиозлектроники

Отв. за выпуск Н. И. Д р у з и н а
Технический редактор Л. В. А г а л ь ц о в а

Изд. лиц. ЛР № 020305 от 19.02.1997. Подписано в печать 14.01.2002.
Формат 60x84 1/16. Бумага типографская №1. Гарнитура Ариал. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,86 (2). Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 150. Заказ 12

Издательство Саратовского университета,
410026, Саратов, Астраханская, 83.
Типография Издательства Саратовского университета,
410026, Саратов, Астраханская, 83.