

Интегральный таймер 555

Цель работы.

Изучить структуру и принципы функционирования интегрального таймера 555, ознакомиться с основными типами импульсных устройств на его основе.

Освоить расчёт номиналов элементов в устройствах на основе интегрального таймера 555.

Интегральный таймер NE555 был впервые выпущен в начале 70-х годов прошлого века фирмой Signetics. Микросхема оказалась очень удачной для применения в импульсных устройствах, и её производство под разными названиями (как правило, содержащих префикс 555) было быстро освоено различными фирмами. Промышленностью СССР выпускался её аналог под маркой КР1006ВИ1.

Упрощённая структура таймера 555 приведена на рис.1.

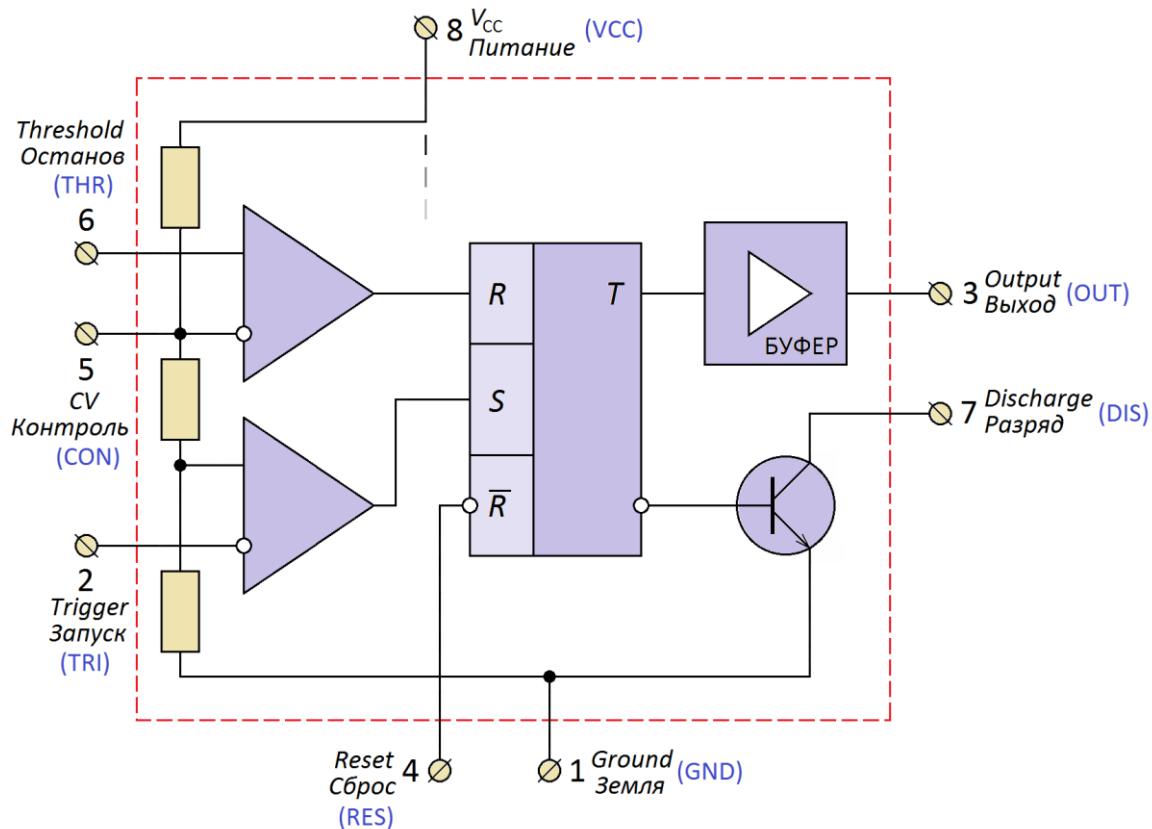


Рис.1. Упрощённая структура таймера 555

Для устойчивой работы таймер требует однополярный источник питания (вывод VCC, от +4,5 В до +18 В) и представляет собой RS-триггер с асинхронным (инвертированным) входом R, дополненный буферным каскадом, обеспечивающим значительный (до 200 мА) ток, как истекающий с выхода 3 (OUT), так и втекающий извне. При этом непосредственно для своей работы таймер потребляет ток около 5 мА. На входы R и S триггера подаются напряжения двух компараторов, сравнивающих входные сигналы THR и TRI с напряжениями $\frac{1}{3}U_0$ и $\frac{2}{3}U_0$, где U_0 – напряжение источника питания (VCC). Эти напряжения создаются прецизионным делителем напряжения на резисторах 5 кОм, что послужило поводом дать микросхеме название 555.

Так же, как входящий в его структуру триггер, таймер может находиться в одном из двух состояний – в состоянии «1», при котором его выходной сигнал близок к напряжению источника питания, либо в состоянии «0», когда потенциал его выхода чуть-чуть (доли вольта) выше нуля. Длительность переключения из одного состояния в другое определяется используемым триггером и составляет обычно несколько микросекунд.

Вывод 5 (CON) позволяет устанавливать напряжения срабатывания компараторов независимо от напряжения источника питания и практически никогда не используется, для надёжности он обычно подключается к общей шине через конденсатор малой ёмкости.

В схеме используется дополнительный ключ на транзисторе, обеспечивающий ускоренный разряд какого-либо внешнего конденсатора при переходе выхода таймера в состояние «0» (ножка DIS).

На основе таймера 555 разработано очень большое количество импульсных схем. Рассмотрим некоторые из них.

Триггер Шмитта

Наиболее простое устройство с использованием таймера 555 – триггер Шмитта. Его схема и передаточная характеристика приведены на рис.2.

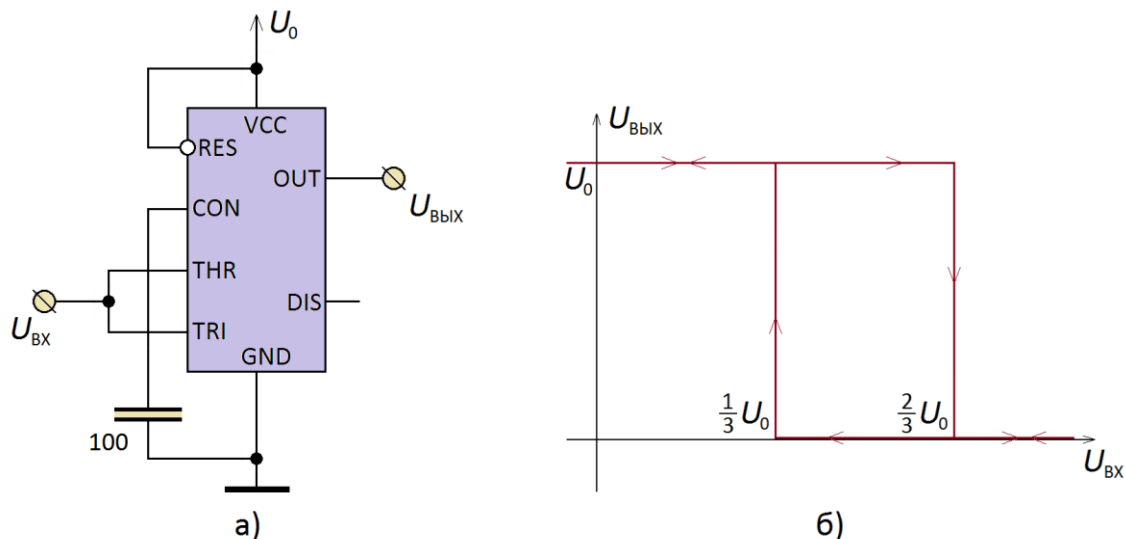


Рис.2. Триггер Шмитта на интегральном таймере 555 (а) и его передаточная характеристика (б)

Как это легко видно из рис.1, при превышении входным сигналом уровня $\frac{2}{3}U_0$ на вход R RS-триггера поступает высокое напряжение (при нулевом потенциале на входе S), он однозначно переходит в состояние «0», и на выход устройства подаётся нулевой потенциал.

В случае, если входной сигнал становится меньше уровня $\frac{1}{3}U_0$, высокое напряжение поступает на вход S RS-триггера (при нулевом потенциале на входе R), он однозначно переходит в состояние «1», и на выход устройства поступает напряжение источника питания.

Если же входной сигнал имеет значение в диапазоне от $\frac{1}{3}U_0$ до $\frac{2}{3}U_0$, оба компаратора выдают нулевой сигнал, и триггер сохраняет своё предыдущее состояние.

Мультивибратор со скважностью 2.

Как известно, на основе триггера Шмитта очень просто построить мультивибратор – для этого необходимо оба его абсолютно устойчивых состояния превратить в квазиустойчивые. Схема мультивибратора, работающего по этому принципу, приведена на рис.3. Если таймер находится в состоянии «1», конденсатор C заряжается через резистор R и потенциал его верхней обкладки (и, соответственно, входной сигнал триггера Шмитта) нарастает, стремясь к значению U_0 . Как только он достигает уровня $\frac{2}{3}U_0$, таймер перебрасывается в состояние «0», и конденсатор C начинает разряжаться через тот же резистор R . Потенциал его верхней обкладки стремиться к нулевому уровню, и когда он достигает значения $\frac{1}{3}U_0$, таймер перебрасывается в состояние «1», после чего все процессы повторяются.

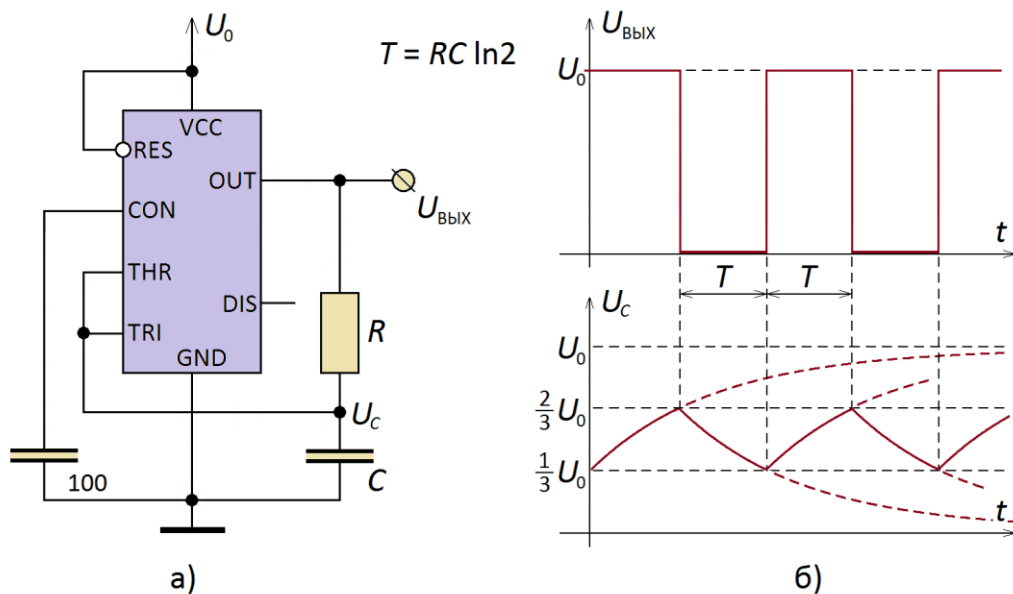


Рис.3. Мультивибратор на интегральном таймере 555 (а)
и диаграммы его работы (б)

Нетрудно показать, что полупериод выходного сигнала устройства определяется формулой $T = RC \ln 2$. Симметричность выходного сигнала определяется точностью выставления уровней $\frac{1}{3}U_0$ и $\frac{2}{3}U_0$, что обеспечивается прецизионностью значений резисторов во внутренней структуре таймера.

Мультивибратор с произвольной скважностью.

В схемотехнике импульсных устройств востребованными являются также мультивибраторы, выходной сигнал которых имеет различную длительность полупериодов. Схемы двух вариантов таких мультивибраторов приведены на рис.4а и 4б.

В схеме рис.3а заряд и разряд конденсатора происходит по различным цепям, что обеспечивается двумя диодами. Заряд конденсатора происходит через резистор R_1 , а разряд – через резистор R_2 . По этой причине продолжительность состояния «1» мультивибратора составляет $T_1 = R_1 C \ln 2$, а состояния «0» – $T_2 = R_2 C \ln 2$. Таким образом, длительность полупериодов выходного сигнала мультивибратора можно регулировать независимо друг от друга.

В схеме рис.3б заряд конденсатора C осуществляется через последовательно соединённые резисторы R_1 и R_2 , поэтому продолжительность состояния «1» мультивибратора составляет $T_1 = (R_1 + R_2) C \ln 2$. В течение этого полупериода выход таймера DIS имеет высокоомное состояние и никак не влияет на процесс заряда конденсатора. При переключении таймера в состояние «0» его выход DIS практически накоротко соединяется с землёй, и разряд конденсатора осуществляется только через резистор R_2 , в силу чего продолжительность состояния «0» таймера составляет $T_1 = R_2 C \ln 2$.

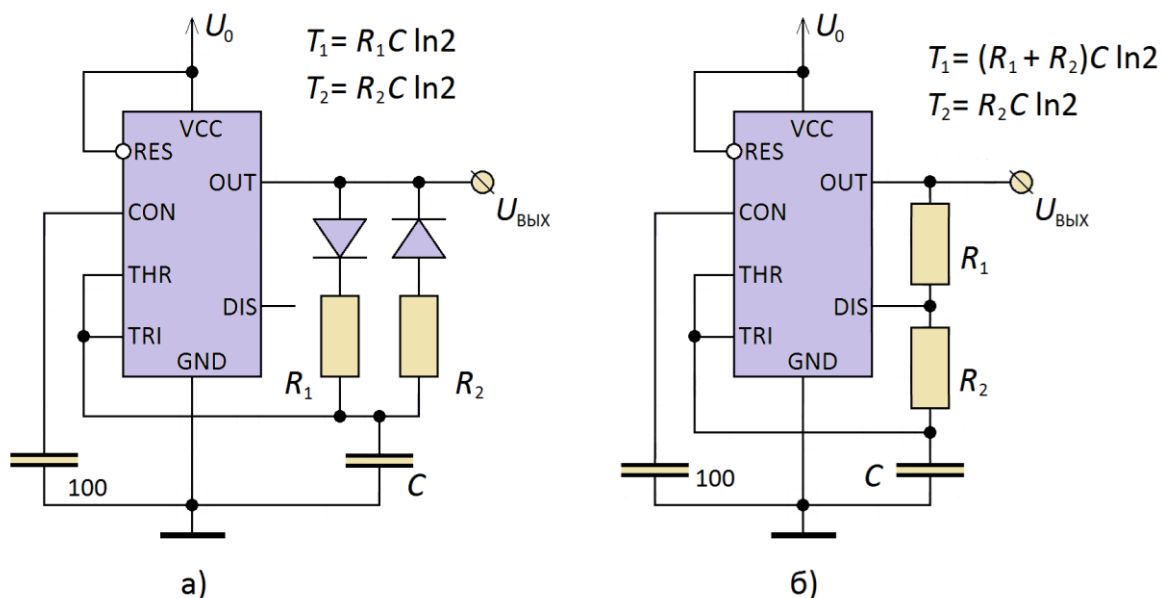


Рис.4. Схемы асимметричного мультивибратора на интегральном таймере 555

Таким образом, выходной сигнал мультивибратора рис.4б имеет продолжительность состояния «1» непременно большую, чем продолжительность состояния «0».

Ждущий мультивибратор

Один из вариантов ждущего мультивибратора на основе интегрального таймера 555 приведён на рис.5. Пусть первоначально таймер находится в состоянии «0». Это имеет место, если на входе ждущего мультивибратора (вывод TRI) присутствует потенциал $U_{BX} > \frac{1}{3}U_0$, при этом конденсатор C оказывается разряжен через вывод таймера DIS. Если теперь на короткое время входной сигнал устройства примет значение, меньшее $\frac{1}{3}U_0$, таймер перейдёт в состояние «1», вывод DIS отключится от земли, и конденсатор начнёт заряжаться через резистор R . При возвращении входного сигнала к уровню $U_{BX} > \frac{1}{3}U_0$ потенциалы на входах R и S внутреннего триггера таймера имеют нулевое значение, поэтому триггер сохраняет своё состояние и таймер остаётся в состоянии «1». Это, однако, не может продолжаться длительное время, поскольку потенциал верхней обкладки конденсатора C экспоненциально приближается к значению U_0 и скоро достигает значения $\frac{2}{3}U_0$, при этом таймер

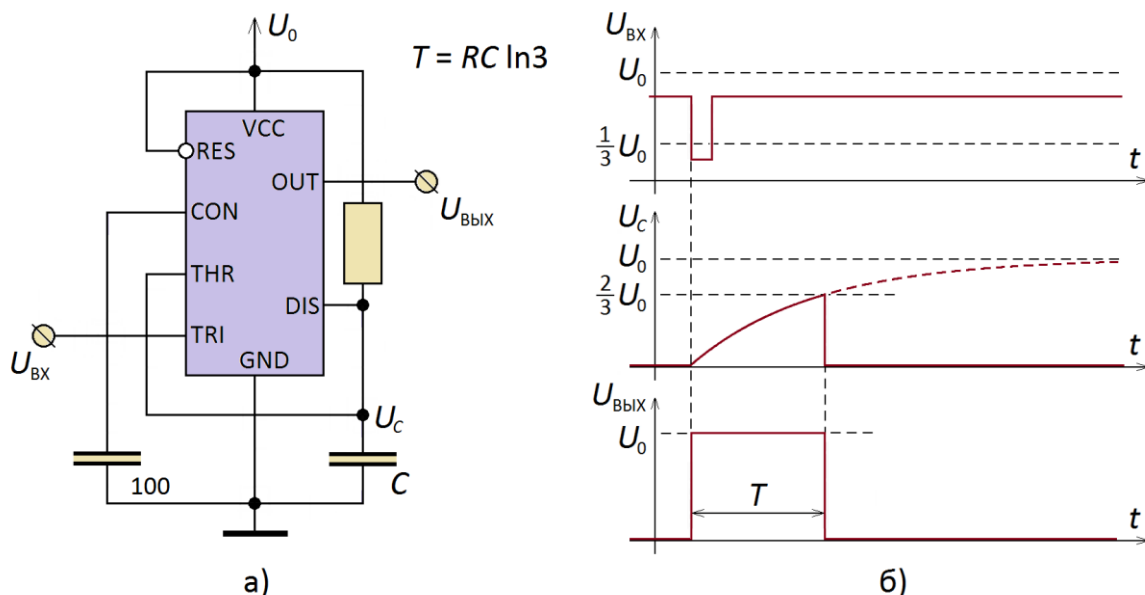


Рис.5. Ждущий мультивибратор на интегральном таймере 555 (а) и диаграммы его работы (б)

сбрасывается в состояние «0», и конденсатор C разряжается через вывод DIS. Такое состояние может сохраняться сколь угодно долго, поскольку на входах R и S триггера поддерживаются нулевые потенциалы.

Для устойчивой работы ждущего мультивибратора длительность запускающего импульса должна быть существенно меньше длительность выходного импульса.

Нетрудно показать, что длительность импульса ждущего мультивибратора рис.5 составляет $T = RC \ln 3$.

Преобразователь напряжение-частота

В схемотехнике импульсных устройств широко используется генератор импульсов, частота следования которых задаётся внешним управляющим сигналом. Один из вариантов такого преобразователя напряжение-частота приведён на рис.6а. В качестве основы построения устройства служит схема мультивибратора (рис.3), в которой, для обеспечения линейности характеристики, RC -цепочка заменена источником «стабильного» тока на транзисторах $VT1$ и $VT2$. Коллекторный ток транзистора $VT1$, величина которого определяется входным напряжением ($I_1 = \beta_1 U_{BX} / R$) является током базы транзистора $VT2$, поэтому ток I_2 , протекающий через транзистор $VT2$ и заряжающий конденсатор C , имеет значение

$$I_2 = \beta_2 I_1 = \beta_1 \beta_2 U_{BX} / R$$

В процессе заряда конденсатора C потенциал его верхней обкладки повышается и в момент времени, когда он достигает уровня $\frac{2}{3}U_0$, таймер переключается из состояния «1» в состояние «0». С этого момента конденсатор начинает быстро разряжаться через вывод таймера DIS. Однако разряд не заканчивается нулевым

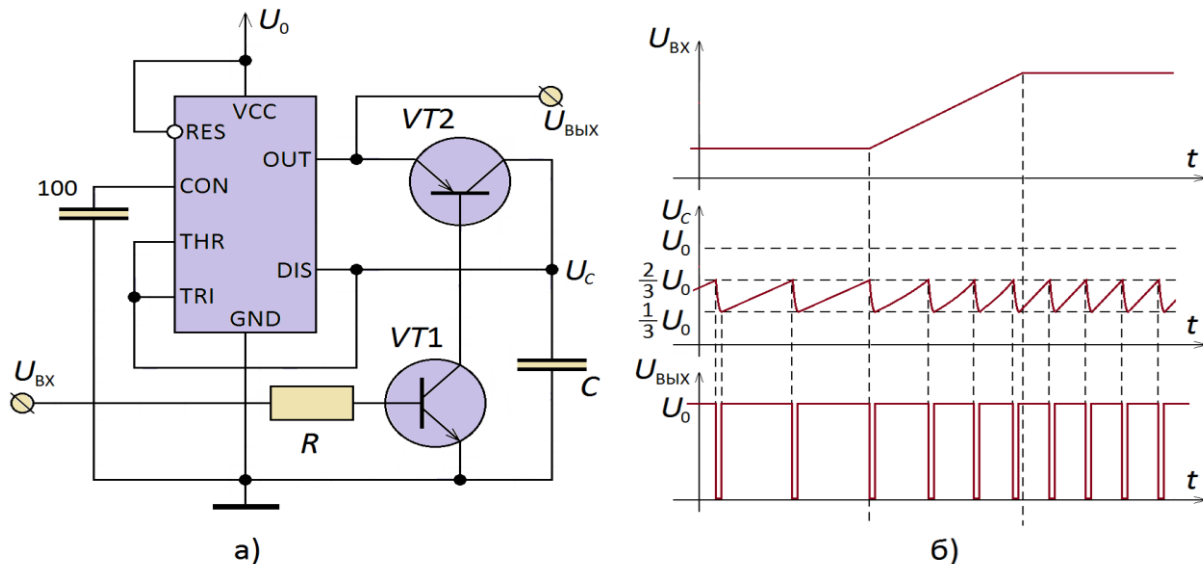


Рис.6. Преобразователь напряжение-частота на интегральном таймере 555 (а) и диаграммы его работы (б)

значением потенциала U_C – как только потенциал верхней обкладки конденсатора станет меньше значения $\frac{1}{3}U_0$, таймер переключится из состояния «0» в состояние «1» и процесс начнёт повторяться.

Таким образом, устройство генерирует очень короткие импульсы нулевого потенциала (на фоне постоянного уровня U_0 , см.рис.6б), период следования которых определяется медленно меняющимся уровнем входного сигнала:

$$T = \frac{RCU_0}{3\beta_1\beta_2 U_{BX}}$$

а частота оказывается пропорциональной входному напряжению:

$$f = \frac{1}{T} = K_{U-f} U_{BX} = \frac{3\beta_1\beta_2}{RCU_0} U_{BX}.$$

Если линейность зависимости $f(U)$ не играет особой роли, источник стабильного тока в схеме можно заменить просто резистором. Если зависимость $f(U)$, наоборот, должна быть абсолютно линейной, следует использовать в качестве источника тока прецизионную схему на операционном усилителе.

Упрощённый алгоритм расчёта схемы рис.6 основан на построении и анализе вспомогательной схемы, рис.7.

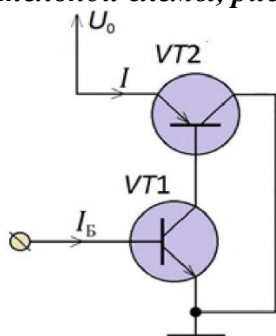


Рис.7. Вспомогательная схема для определения токов.

1. Подключить эмиттер транзистора **VT2** к источнику питания, а его коллектор соединить с землёй и выбрать значение тока I , которым будет заряжаться конденсатор схемы рис.4. Следует иметь в виду, что этот ток является выходным током таймера, и нежелательно выбирать его величину большей 100 мА.

2. Подобрать величину тока I_B , при которой через транзистор **VT2** будет протекать выбранный ток I .

3. Установить в схеме рис.6 величину ёмкости конденсатора $C = 3IT/U_0$, где T – наименьшее значение периода следования выходных импульсов, $T = 1/f_{\max} = 1/(KU_{\max})$, U_0 – напряжение источника питания, а U_{\max} – максимальное значение входного напряжения.

4. Установить в схеме рис.6 величину сопротивления резистора $R = U_{\max}/I_B$.

Порядок выполнения работы.

1. Получить у преподавателя исходные данные для всех исследуемых устройств:

– амплитуду генерируемых импульсов U_0 ;

для мультивибратора:

– полупериоды генерируемых импульсов T_1 и T_2 ;

для ждущего мультивибратора:

– длительность генерируемых импульсов T ;

для преобразователя напряжение-частота:

– максимальное значение входного напряжения U_{\max} ;

– коэффициент преобразования K_{U-f} .

2. Собрать схему мультивибратора (рис.4а либо рис.4б).

Рассчитать необходимые значения сопротивлений резисторов и ёмкости конденсатора, входящих в схему, после чего установить в схему необходимые резисторы и конденсатор.

Измерить параметры выходного сигнала мультивибратора и сравнить их с заданными значениями.

3. Собрать схему ждущего мультивибратора, рис.5.

Рассчитать необходимые значения сопротивления резистора и ёмкости конденсатора, входящих в схему, после чего установить в схему необходимые резистор и конденсатор.

Подать на вход ждущего мультивибратора импульсный сигнал с параметрами, иллюстрирующими устойчивую работу схемы.

Измерить длительность выходных импульсов ждущего мультивибратора и сравнить их с заданными значениями.

4. Собрать схему преобразователя напряжение-частота.

Выбрать используемые в схеме транзисторы. При этом следует руководствоваться теми соображениями, что напряжение коллектор-эмиттер транзисторов схемы не может превысить значения U_0 , а коллекторный ток – максимального выходного тока таймера (около 100 мА).

Определить значения коэффициента усиления тока выбранных транзисторов. При этом можно воспользоваться справочными данными, а можно использовать простую схему (рис.8) и измерить этот коэффициент непосредственно.

Рассчитать необходимые значения сопротивлений резисторов и ёмкости конденсатора, входящих в схему, после чего установить в схему необходимые резисторы и конденсатор.

Снять график зависимости частоты выходного сигнала преобразователя от величины входного напряжения.

Определить по построенному графику величину коэффициента K_{U-f} исследуемого устройства.

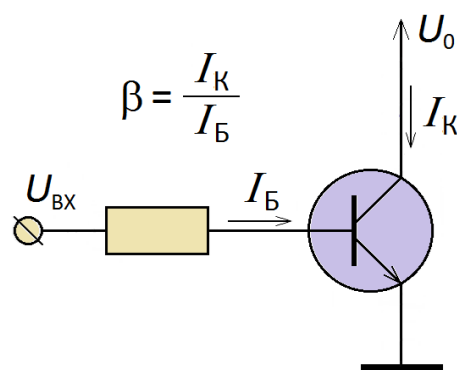


Рис.8. Измерение коэффициента усиления по току транзистора

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Исходные данные для лабораторной работы.
2. Расчёт номиналов элементов мультивибратора.
3. Схему исследуемого мультивибратора с номиналами элементов.
4. Измеренную длительность полупериодов выходного сигнала мультивибратора с указанием погрешности измерений.
5. Расчёт номиналов элементов ждущего мультивибратора.
6. Измеренную длительность импульсов выходного сигнала ждущего мультивибратора с указанием погрешности измерений.
7. Выбранные марки транзисторов, используемых в схеме преобразователя напряжение-частота и определённые значения коэффициента усиления по току этих транзисторов.
8. Схему исследуемого мультивибратора преобразователя напряжение-частота с номиналами элементов.
9. Таблицу измерений зависимости частоты выходного сигнала преобразователя от величины входного напряжения.
10. График зависимости частоты выходного сигнала преобразователя от величины входного напряжения с указаниями погрешностей измерений.
11. Определённое по построенному графику значение коэффициента K_{U-f} исследуемого устройства.

Контрольные вопросы.

1. В каких пределах можно изменять амплитуду выходных импульсов интегрального таймера 555?
2. Оцените входное сопротивление интегрального таймера 555.
3. Можно ли подключить к выходу интегрального таймера 555 низкоомную ($< 10 \text{ Ом}$) нагрузку?
4. Почему во всех приведённых схемах вывод RES соединён с выводом подачи питания VCC?
5. Как изменятся алгоритмы работы рассмотренных устройств, если в их схемах изъять конденсатор 100 пФ и оставить вывод таймера CON «висящем в воздухе»?
6. Чем определяется симметричность выходного сигнала мультивибратора рис.3?
7. Можно ли получить выходной сигнал со скважностью 2 в схеме рис.4б?
8. Оцените максимальную частоту сигнала, генерируемого мультивибратором рис.3.