



# ІІТМО

## Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

Николаев Николай Анатольевич

2023

*Темы, освещенные в презентации:*



- Мультивибраторы основные сведения
- Ждущие мультивибраторы
- Автоколебательные мультивибраторы

Практически любое электронное устройство содержит в своем составе генератор сигналов какой-либо формы (типа).

В зависимости от приложений могут использоваться генераторы импульсные, синусоидальные, прямоугольные, треугольные и пилообразные.

Импульс прямоугольной формы является наиболее распространенным типом колебаний в цифровой технике.

Основные параметры импульса:

- Амплитуда;
- Длительность;
- Частота повторения;
- Период следования.



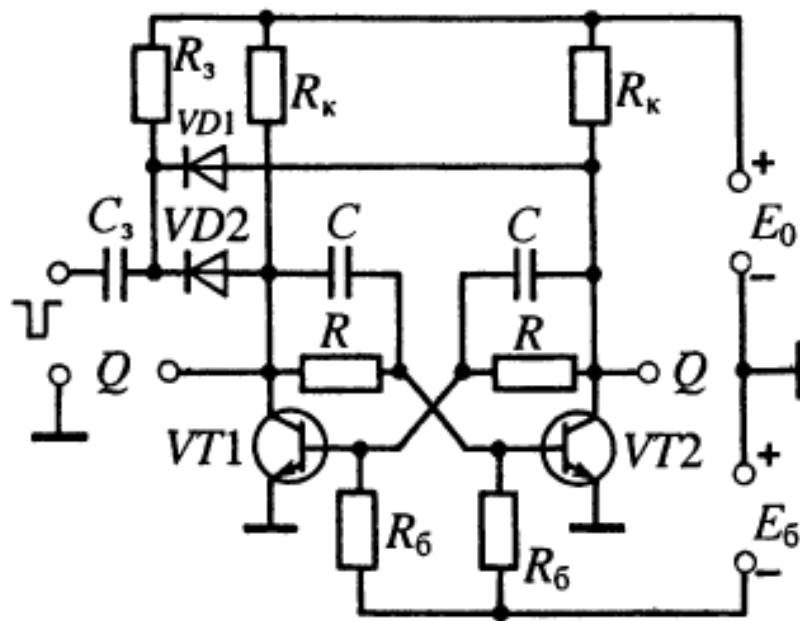
Генераторы прямоугольных импульсов можно разделить на:



- **бистабильные**, когда равновесные состояния являются постоянно устойчивыми и изменение состояния происходит под воздействием внешнего управляющего импульса (например триггер);
- **моностабильные**, когда одно из состояний является устойчивым, а второе временно устойчивым (запуск такого генератора производится внешним запускающим импульсом);
- **астабильные** – генераторы, которые не имеют постоянно устойчивых состояний.

Скачкообразный переход из одного состояния в другое реализуется так называемым ключевым режимом работы электронных приборов.

Т-Триггер



## Мультивибраторы



**Мультивибратор** - релаксационный генератор электрических прямоугольных колебаний с короткими фронтами.

Название мультивибратор предложил голландский физик ван дер Поль, и отражает тот факт, что в спектре прямоугольных колебаний мультивибратора присутствует множество высших гармоник — в отличие от генератора синусоидальных колебаний («моновибратора»).

Мультивибратор является одним из самых распространённых генераторов импульсов прямоугольной формы, используемый в электронике и радиотехнике. Обычно представляет собой двухкаскадный резистивный усилитель, охваченный глубокой положительной обратной связью.

В зависимости от назначения используют два основных типа мультивибраторов: **ждуший**, или заторможенный (моностабильный генератор) и **автоколебательный** (астабильный генератор).

Амплитуда и длительность генерируемых импульсов (в автоколебательных мультивибраторах также и период следования) определяются параметрами схем генератора. Период следования импульсов ждущего мультивибратора задается периодом внешних запускающих импульсов.

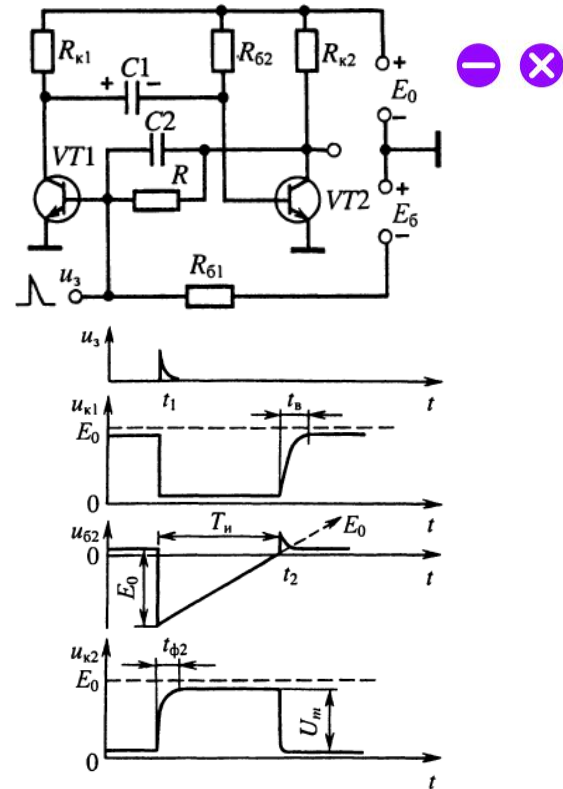
# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

## Ждущие мультивибраторы

Внешнее отличие схемы простейшего ждущего мультивибратора (рисунок) от схемы триггера заключается в отсутствии связи по постоянному току коллектора транзистора VT1 и базы транзистора VT2.

Кроме того, к базе последнего не подводится напряжение смещения от внешнего источника, которое требовалось в триггере для удерживания транзистора в режиме отсечки после опрокидывания.

В рассматриваемой схеме напряжение смещения создается на конденсаторе C1, причем оно оказывается непостоянным и поддерживает транзистор VT2 в состоянии отсечки в течение заданного отрезка времени.

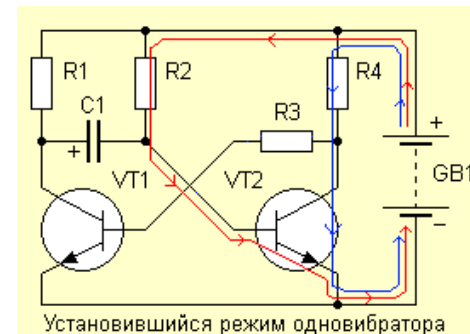
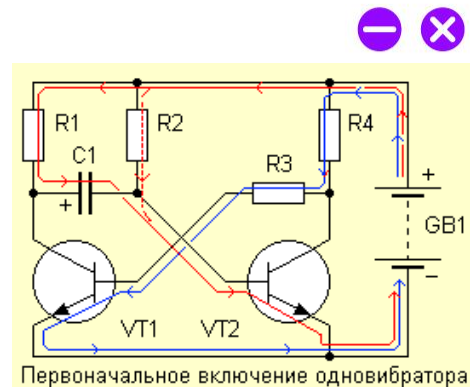


# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

## Ждущие мультивибраторы

В начальный момент подачи питания практически никаких переходных процессов в ждущем мультивибраторе не происходит. После подачи питания по цепям ждущего мультивибратора протекает два основных тока, стремящихся открыть транзисторы:

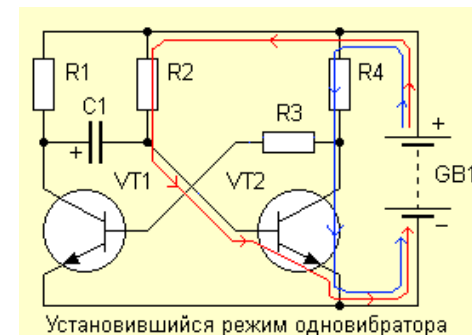
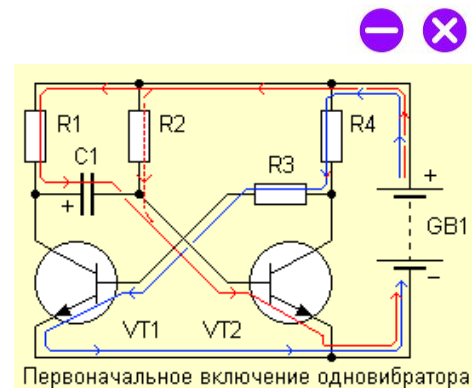
- VT2 по пути (показано красным цветом): «+ источника питания > резистор R1 > малое сопротивление разряженного C1 > базово-эмиттерный переход VT2 > - источника питания»;
- VT1 по пути (показано синим цветом): «+ источника питания > резистор R4 > резистор R3 > базово-эмиттерный переход VT1 > - источника питания».
- Поскольку сопротивление резистора R1, конденсатора C1 и параллельно подключенного к этой цепи резистора R2 намного меньше сопротивления последовательно включенных резисторов R4 и R3, то базовый ток транзистора VT2 значительно превосходит базовый ток транзистора VT1. Поэтому транзистор VT2 открывается.





## Ждущие мультивибраторы

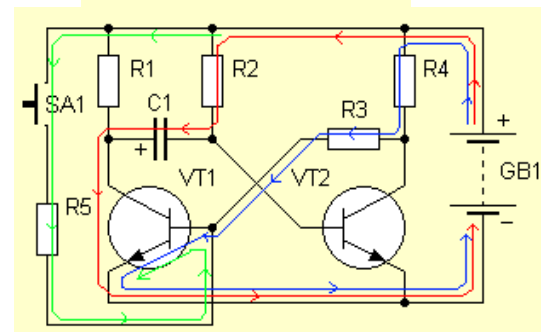
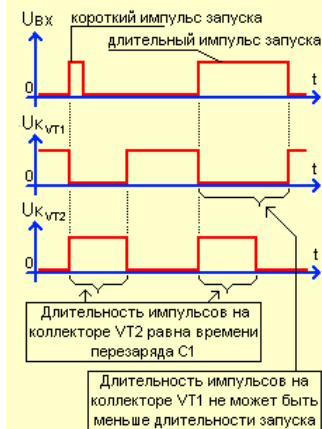
База транзистора VT1, оказывается шунтирована на эмиттер VT1 через резистор R3 и малое сопротивление открытого перехода коллектор-эмиттер транзистора VT2. В результате этого, транзистор VT1 закрывается. Одновременно происходит «быстрый» заряд конденсатора C1 по пути: «+ источника питания > резистор R1 > конденсатор C1 > базово-эмиттерный переход VT2 > - источника питания». Конденсатор зарядится до значения, равного напряжению источника питания. В таком состоянии, являющимся **«Установившимся режимом ожидания импульса запуска»** ждущий мультивибратор и остается до прихода импульса запуска.



# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

## Ждущие мультивибраторы

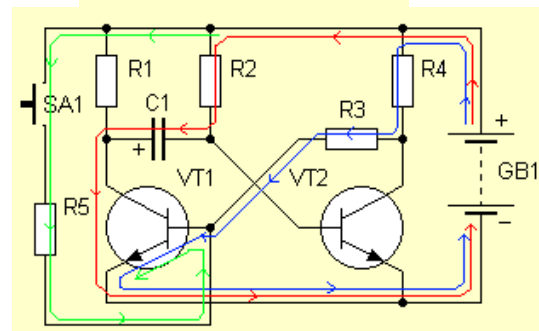
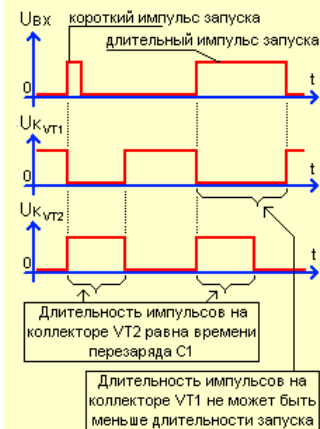
При кратковременном нажатии кнопки, на переход Б-Э VT1 подается отпирающее напряжение и VT1 открывается. При этом, напряжение заряженного конденсатора C1, через открытый переход К-Э VT1 окажется приложенным к переходу Б-Э VT2 обратной полярностью. В результате VT2 закроется (начало выходного импульса), а ток, который ранее проходил через открытый переход К-Э VT2, побежит по цепи: «+ ист. пит. > резистор R4 > резистор R3 > переход Б-Э VT1 > - ист. пит.». Этот ток удерживает транзистор VT1 в открытом состоянии. Одновременно происходит перезаряд конденсатора C1 (от напряжения ист. пит. одной полярности, до напряжения 0,7...1,0 В противоположной полярности) по цепи: «+ ист. пит. > резистор R2 > правая обкладка C1 > левая обкладка C1 > переход транзистора К-Э VT1 > -ист. пи.».



# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

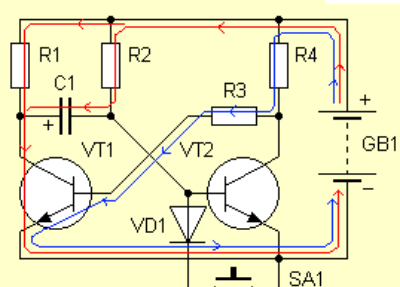
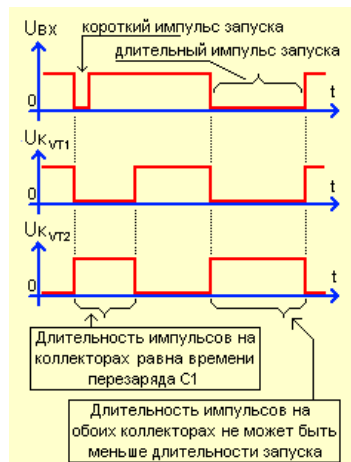
## Ждущие мультивибраторы

Когда конденсатор  $C1$  перезарядится, его сопротивление увеличится, и ток, который ранее бежал через малое сопротивление конденсатора и открытый переход К-Э  $VT1$ , побежит на базу  $VT2$ , заставляя его открыться (конец выходного импульса). В результате ток, ранее идущий с резистора  $R4$ , через резистор  $R3$  на базу  $VT1$ , пойдёт через открытый переход К-Э  $VT2$  на минус ист. пит. Падение потенциала базы транзистора  $VT1$  вызовет его закрывание.



# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

## Ждущие мультивибраторы. Схемы запуска

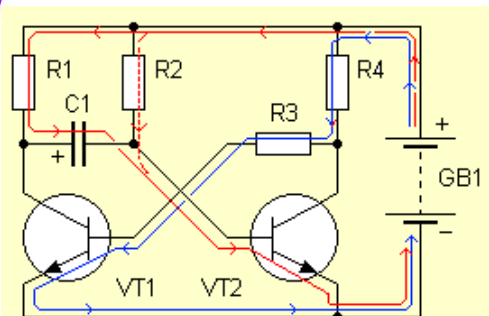


Для того, чтобы закрыть VT2, достаточно его базу соединить с эмиттером (с минусом ист. пит.). При такой схеме управления добавочный резистор не нужен. Но необходим диод VD1, исключающий влияние на перезарядные процессы.

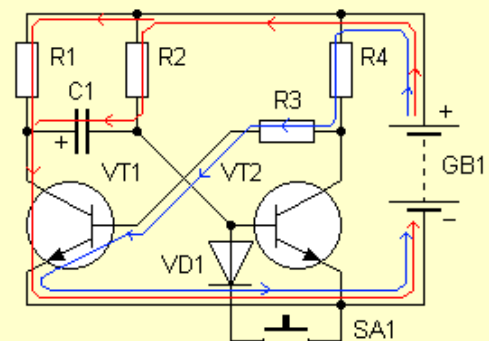
При нажатии на кнопку SA1 VT2 закрывается (начало выходного импульса). В результате, потенциал на коллекторе VT2, а следовательно и на базе VT1 повышается. VT1 открывается, и происходит перезаряд C1, от значения, равного напряжению ист. пит. одной полярности, до напряжения 0,7...1,0 В противоположной полярности. Перезаряд происходит по цепи: «+ ист. пит. > R2 > правая обкладка C1 > левая обкладка C1 > переход К-Э VT1 > - ист. пит.». До полного разряда, C1 является ист. пит., запирающим VT2 обратным напряжением, приложенным к переходу Э-Б VT2 через открытый переход К-Э VT1.

Когда C1 перезарядится, его сопротивление увеличится, и ток, который ранее протекал через малое сопротивление конденсатора и открытый переход К-Э VT1, побежит на базу VT2, заставляя его открыться (конец выходного импульса). В результате ток, ранее идущий с R4, через R3 на базу VT1, пойдёт через открытый переход К-Э VT2 на минус ист. пит. Падение потенциала базы VT1 вызовет его закрытие. Окончания выходного импульса не произойдёт, если удерживать SA1. её нажатой. Это связано с тем, что при удержании кнопки, в случае завершения перезаряда, ток будет проходить не через переход Б-Э VT2, а через шунтирующую его цепочку – диод VD1 и выключатель SA1.

## Ждущие мультивибраторы. Схемы запуска



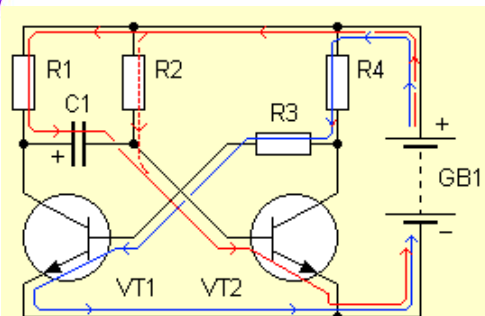
Первоначальное включение одновибратора



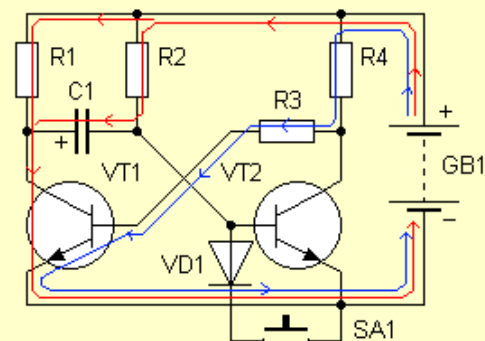
Если в первом варианте (запуска через базу VT1) длительность выходных импульсов на коллекторах транзисторов зависит от длительности нажатия кнопки (подачи импульса запуска) только на коллекторе VT1, то в этом - втором варианте, длительность подачи импульса запуска влияет на выходные сигналы обоих коллекторов. Другими словами, выходной импульс начнётся с момента нажатия кнопки, а закончится по окончании перезаряда конденсатора только в том случае, если кнопка будет выключена. Нажатая кнопка SA1 будет удерживать оба транзистора - VT1 в открытом состоянии, а VT2 в закрытом состоянии. Для исключения такого состояния, возможно применение дифференцирующей цепочки, состоящей из конденсатора и резистора, «укорачивающей» импульс запуска ждущего мультивибратора.

Особенностью второго варианта запуска ждущего мультивибратора является то, что в качестве диода используется не обычный выпрямительный, или импульсный диод, а диод Шоттки. Это связано с тем, что для надёжного запираания транзистора VT2 необходим диод с малым падением напряжения на его p-n переходе.

## Ждущие мультивибраторы. Схемы запуска



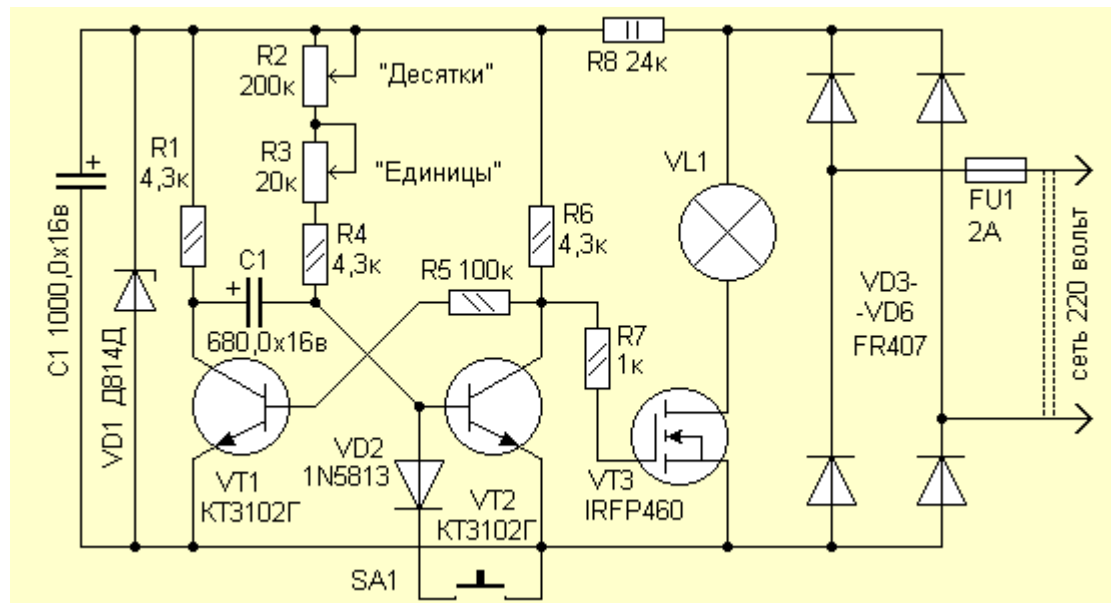
Первоначальное включение одновибратора

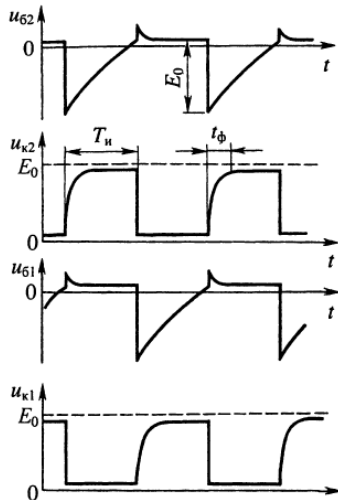
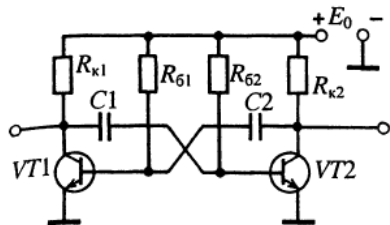


Особенностью второго варианта запуска ждущего мультивибратора является то, что в качестве диода используется не обычный выпрямительный, или импульсный диод, а диод Шоттки. Это связано с тем, что для надёжного запираания транзистора VT2 необходим диод с малым падением напряжения на его р-n переходе.

В рассмотренных вариантах запуска ждущего мультивибратора используется простейший элемент - кнопка, но вместо кнопки может выступать любой коммутирующий элемент - контакты реле, транзистор, и т.п. Кроме того, входные импульсы могут формироваться любым другим электронным устройством, формирующим импульс.

## Ждущие мультивибраторы. Типовая схема





## Автоколебательные мультивибраторы

Используются в качестве генераторов импульсов почти прямоугольной формы в том случае, если к стабильности их частоты повторения и длительности не предъявляются жесткие требования.

Простейшая схема такого мультивибратора показана на рисунке.

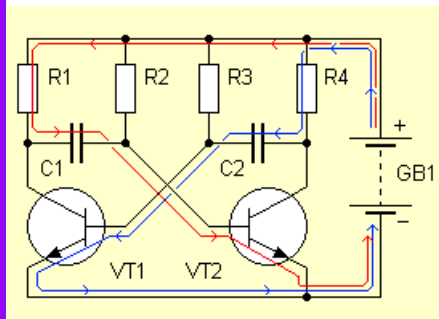
Если симметричные элементы схемы имеют одинаковые номиналы и параметры, то мультивибратор называют симметричным.

В схеме нет постоянно устойчивых состояний, поэтому процессы, происходящие в ней имеют много общего с процессами в ждущем мультивибраторе, находящемся во временно устойчивом состоянии.





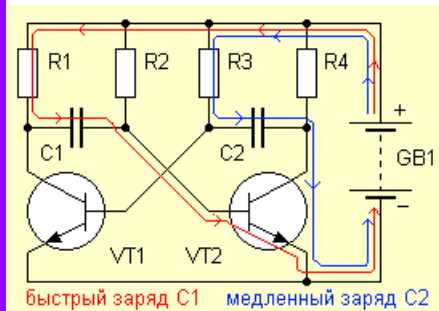
## Переходные процессы автоколебательного мультивибратора



В начальный момент подачи питания  $C1$  и  $C2$  разряжены, поэтому их сопротивление току мало. Малое сопротивление конденсаторов приводит к тому, что происходит «быстрое» открывание транзисторов, вызванное протеканием тока:

- $VT2$  по пути (показано красным цветом): «+ ист. пит. >  $R1$  > малое сопр. разряженного  $C1$  > переход Б-Э  $VT2$  > - ист. пит.»;

- $VT1$  по пути (показано синим цветом): «+ ист. пит. >  $R4$  > малое сопр. разряженного  $C2$  > переход Б-Э  $VT1$  > - ист. пит.».



быстрый заряд  $C1$  медленный заряд  $C2$

Это является «неуставившимся» режимом работы мультивибратора. Длится он в течение очень малого времени, определяемого лишь быстродействием транзисторов. А двух абсолютно одинаковых по параметрам транзисторов, не существует. Какой транзистор откроется быстрее, тот и останется открытым - «победителем». Предположим, что на нашей схеме это оказался  $VT2$ . Тогда, через малое сопротивление разряженного конденсатора  $C2$  и малое сопротивление коллекторно-эмиттерного перехода  $VT2$ , база транзистора  $VT1$  окажется замкнута на эмиттер  $VT1$ . В результате транзистор  $VT1$  будет вынужден закрыться - «стать побеждённым».

# Формирователи сигналов. Мультивибраторы.

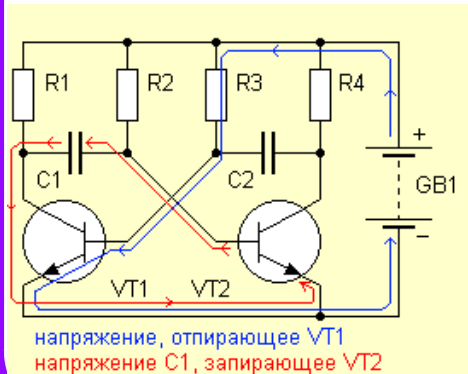
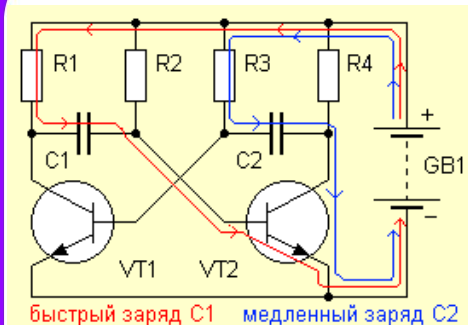
## Переходные процессы автоколебательного мультивибратора

Т.к. VT1 закрыт, происходит «быстрый» заряд C1 по пути:

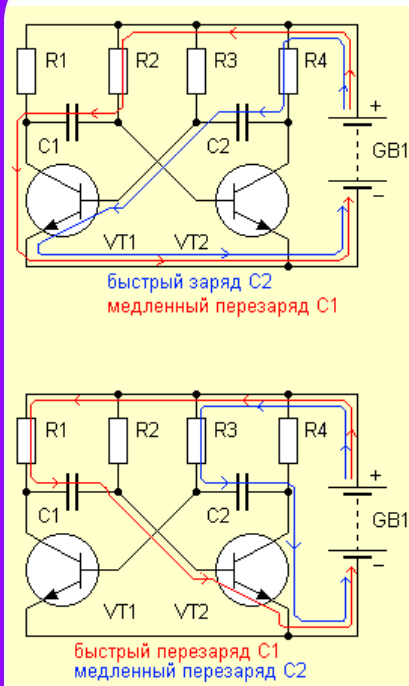
«+ ист. пит. > резистор R1 > малое сопротивление разряженного C1 > переход Б-Э VT2 > - ист. пит.». Заряд происходит до напряжения источника питания.

Одновременно происходит заряд C2 током обратной полярности по пути: «+ ист. пит. > R3 > малое сопротивление разряженного C2 > переход К-Э VT2 > - ист. пит.». Длительность заряда определяется номиналами R3 и C2. Они и определяют время, при котором VT1 находится в закрытом состоянии.

Когда C2 зарядится до напряжения приблизительно 0,7-1,0 В, его сопротивление увеличится и VT1 откроется напряжением приложенным по пути: «+ ист. пит. > резистор R3 > переход Б-Э VT1 > - ист. пит.». При этом, напряжение заряженного C1, через открытый переход К-Э VT1 окажется приложенным к переходу Б-Э VT2 обратной полярностью. В результате VT2 закроется, а ток, который ранее проходил через открытый переход К-Э VT2 побегит по цепи: «+ ист. пит. > резистор R4 > малое сопротивление C2 > переход Б-Э VT1 > - ист. пит.». По этой цепи произойдёт быстрый перезаряд C2. С этого момента начинается «установившийся» режим автогенерации.



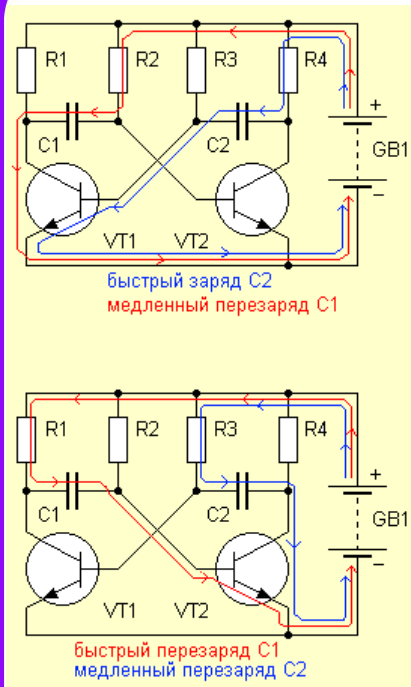
Мультивибратор в «установившемся» режиме



## Первый полупериод работы (колебания) мультивибратора.

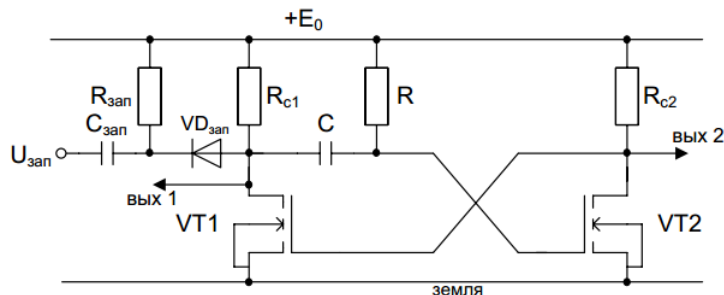
При открытом VT1 и закрытом VT2, происходит быстрый перезаряд C2 (от напряжения 0,7...1,0 В одной полярности, до напряжения ист. пит. противоположной полярности) по цепи: «+ ист. пит. > R4 > малое сопротивление C2 > переход Б-Э VT1 > - ист. пит.». Кроме того, происходит медленный перезаряд C1 (от напряжения ист. пит. одной полярности, до напряжения 0,7...1,0 В противоположной полярности) по цепи: «+ ист. пит. > R2 > правая обкладка C1 > левая обкладка C1 > переход К-Э VT1 > - ист. пит.». Когда, в результате перезаряда C1, напряжение на базе VT2 достигнет значения +0,6 В относительно эмиттера VT2, транзистор откроется. Поэтому, напряжение заряженного C2, через открытый переход К-Э VT2 окажется приложенным к переходу Б-Э VT1 обратной полярностью. VT1 закроется.

## Мультивибратор в «установившемся» режиме



### Второй полупериод работы (колебания) мультивибратора.

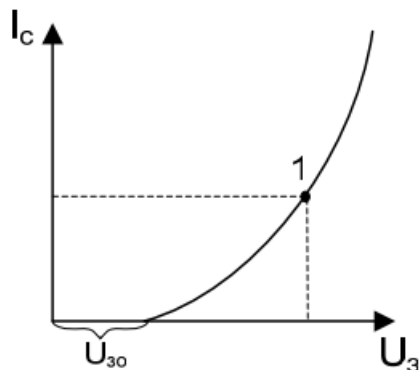
При открытом VT2 и закрытом VT1 происходит быстрый перезаряд конденсатора C1 (от напряжения 0,7...1,0 В одной полярности, до напряжения ист. пит. противоположной полярности) по цепи: «+ ист. пит. > R1 > малое сопротивление C1 > переход Б-Э VT2 > - ист. пит.». Кроме того, происходит медленный перезаряд конденсатора C2 (от напряжения ист. пит. одной полярности, до напряжения 0,7...1,0 В противоположной полярности) по цепи: «правая обкладка C2 > переход К-Э VT2 > - ист. пит. > + ист. пит. > R3 > левая обкладка C2». Когда напряжение на базе VT1 достигнет значения +0,6 В относительно эмиттера VT1, транзистор откроется. Поэтому, напряжение заряженного C1, через открытый переход VT1 К-Э окажется приложенным к переходу Э-Б VT2 обратной полярностью. VT2 закроется. На этом, второй полупериод колебания мультивибратора заканчивается, и снова начинается первый полупериод.



## Ждущий мультивибратор на униполярных транзисторах

После включения напряжения питания образуются две почти равноценные цепи:  $+E_0 \dots R \dots 3 - И VT2 \dots земля$  и  $+E_0 \dots RC2 \dots 3 - И VT1 \dots земля$ . Тем не менее, открывается транзистор VT2 и в этом состоянии он находится в режиме ожидания, а VT1 закрыт. Конденсатор C в режиме ожидания разряжен, так как слева от него находится сток закрытого транзистора VT1 (напряжение  $+E_0$ ), справа тоже напряжение  $+E_0$ , потому что между затвором и истоком VT2 изоляция.

Выключенное состояние VT1 и включенное VT2 наблюдается потому, что между стоком VT1 слева и затворной цепью VT2 справа находится разрыв по постоянному току в режиме ожидания через конденсатор C. Для данных транзисторов входная характеристика имеет вид, представленный на рисунке



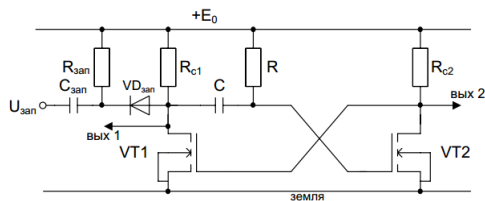
## Ждущий мультивибратор на униполярных транзисторах



Подобная характеристика носит название “правой”, так как она расположена в правом поле рисунка. Есть зона нечувствительности –  $U_{30}$  (от десятых долей вольта до нескольких вольт). Далее следует участок обогащения.

Открытый транзистор VT2 находится в положении точки 1. Для того, чтобы его закрыть, необходимо подать напряжение, способное переместить рабочую точку влево, т.е. в направлении отрицательной полярности. Значит, диод на схеме должен иметь направление “влево”.

После подачи импульса запуска VT2 закрывается, а VT1 открывается. Образуется цепь заряда конденсатора C:  $+E_0 \dots R \dots C \dots$  откр. VT1... земля. Заряд происходит по экспоненте, следовательно плюсовая полярность напряжения справа на конденсаторе C нарастает. Спустя некоторое время, когда это напряжение превысит  $U_{30}$ , VT2 открывается скачком, VT1 закрывается. Генерация импульса заканчивается.



# Контрольные вопросы

12.



# Список использованных источников

1. Основы радиоэлектроники, радиотехники и связи: Учебное пособие для вузов / А.Д. Гуменюк, В.И. Журавлев, Ю.Ю. Мартюшев и др.: Под редакцией Г.Д. Петрухина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 480 с.





**Спасибо  
за внимание!**

**it**'s **MO**re than a  
**UNIVERSITY**

[Nikolay.A.Nikolaev@gmail.com](mailto:Nikolay.A.Nikolaev@gmail.com)