

7. Генераторные схемы

7.1. Общая характеристика импульсных генераторов

Электронные генераторы – это устройства, на выходе которых возникают периодические колебания напряжения или тока различной формы. Различают генераторы непрерывных (синусоидальных) колебаний и импульсных. Форма импульсной последовательности может быть прямоугольной, треугольной, пилообразной.

В устройствах информационной и вычислительной техники преимущественно используются генераторы прямоугольной формы, предназначенные для формирования тактовых импульсов.

Генераторы импульсов могут работать в автоматическом режиме и в ждущем режиме — режиме внешнего запуска. В автогенераторах колебания на выходе возникают сразу при подаче питания. Примером таких генераторов являются симметричные и несимметричные **мультивибраторы**. В симметричных мультивибраторах колебания имеют форму типа меандр, при котором длительность импульса равна длительности паузы. В несимметричных мультивибраторах длительность импульса и паузы различны.

Генераторы с внешним запуском вырабатывают одиночный импульс с фиксированной длительностью при поступлении на его вход импульса запуска. Такие генераторы получили название **одновибраторы**.

Классическая схема симметричного мультивибратора на транзисторах изображена на рисунке 7.1а, а временные диаграммы работы – на рис.7.1б. У такого мультивибратора транзисторы идентичны, а параметры симметричных элементов одинаковы. Обе части периода его колебаний равны и скважность равна 2.

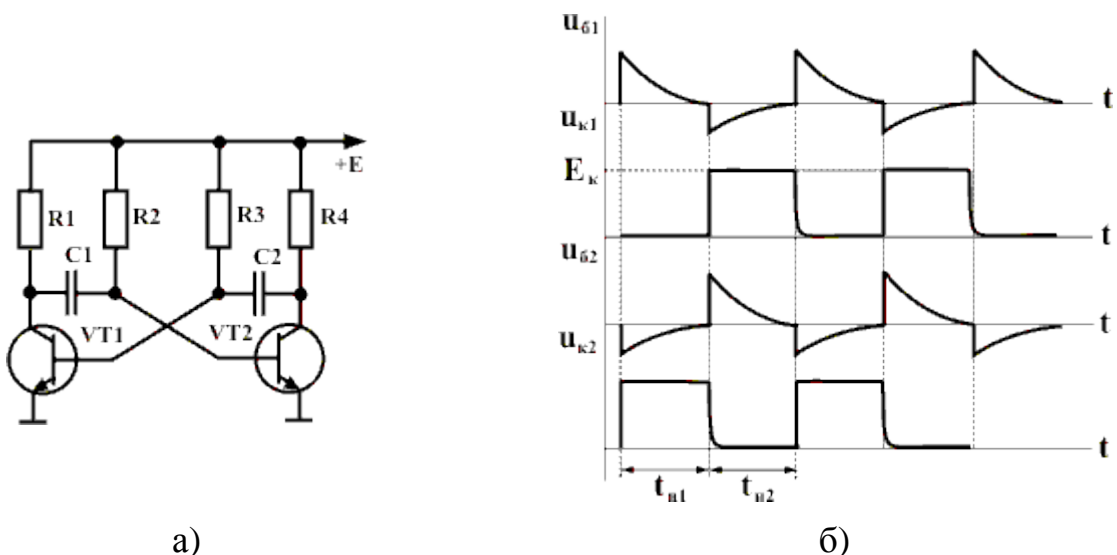


Рисунок 7.1 – Схема симметричного мультивибратора (а) и временные диаграммы работы (б)

Рассмотрим подробно работу мультивибратора. Схема классического мультивибратора с путями протекания токов изображена на рис.7.2.

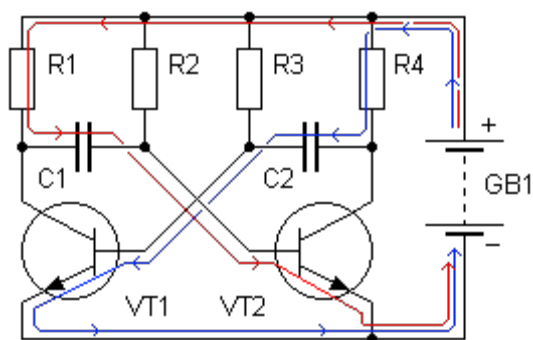


Рисунок 7.2 – Классическая схема симметричного мультивибратора на транзисторах

Мультивибратор состоит из двух последовательно соединенных по переменному току инверторов с положительной обратной связью (выход инвертора VT2 соединен со входом первого инвертора VT1).

Мультивибратор работает следующим образом. В начальный момент подачи питания конденсаторы 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): «+ источника питания > резистор R1 > малое сопротивление разряженного C1 > базово-эмиттерный переход VT2 > - источника питания»;

VT: по пути (показано синим цветом): «+ источника питания > резистор R4 > малое сопротивление разряженного C2 > базово-эмиттерный переход VT1 > - источника питания».

Это является «неустановившимся» 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.

Предположим, что на нашей схеме это оказался VT2 (рис.7.3). 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.

Поскольку транзистор VT1 закрыт, происходит «быстрый» заряд конденсатора C1 по пути: «+ источника питания > резистор R1 > малое сопротивление разряженного C1 > базово-эмиттерный переход VT2 > - источника питания». Этот заряд происходит почти до напряжения источника питания. Одновременно происходит заряд конденсатора C2 током обратной полярности по пути: «+ источника питания > резистор R3 > малое сопротивление разряженного C2 > коллекторно-эмиттерный переход VT2 > - источника питания».

Длительность заряда определяется номиналами $R3$ и $C2$. Они и определяют время, при котором $VT1$ находится в закрытом состоянии.

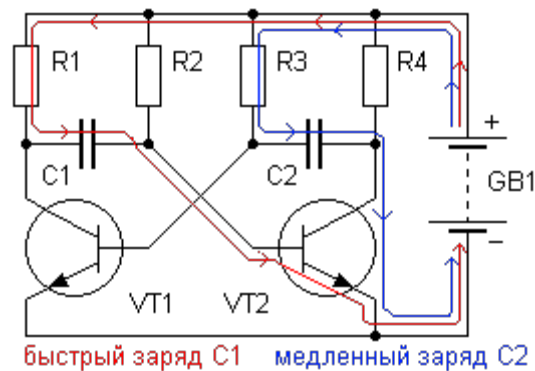


Рисунок 7.3 – Пути зарядов конденсаторов мультивибратора

Когда конденсатор $C2$ зарядится до напряжения приблизительно равным напряжению 0,7-1,0 вольт, его сопротивление увеличится и транзистор $VT1$ откроется напряжением приложенным по пути: «+ источника питания > резистор $R3$ > базово-эмиттерный переход $VT1$ > - источника питания». При этом, напряжение заряженного конденсатора $C1$, через открытый коллекторно-эмиттерный переход $VT1$ окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора $VT2$ обратной полярностью (рис.7.4).

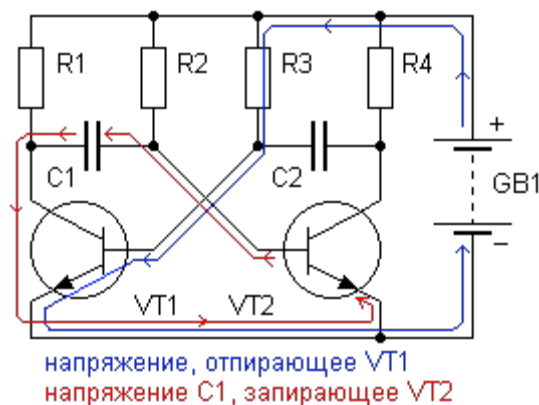


Рисунок 7.4 – Схема напряжений на базах транзисторов

В результате $VT2$ закроется, а ток, который ранее проходил через открытый коллекторно-эмиттерный переход $VT2$ побежит по цепи: «+ источника питания > резистор $R4$ > малое сопротивление $C2$ > базово-эмиттерный переход $VT1$ > - источника питания». По этой цепи произойдет быстрый перезаряд конденсатора $C2$. С этого момента начинается «установившийся» режим автогенерации.

Рассмотрим работу симметричного мультивибратора в «установившемся» режиме генерации. При открытом транзисторе $VT1$ и закрытом $VT2$, как отмечалось выше, происходит быстрый перезаряд конденсатора $C2$ (от напряжения 0,7...1,0 вольт одной полярности, до напряжения источника питания противоположной полярности) по цепи: «+ источника питания > резистор $R4$ >

малое сопротивление $C2 >$ базово-эмиттерный переход $VT1 >$ - источника питания» (рис.7.5).

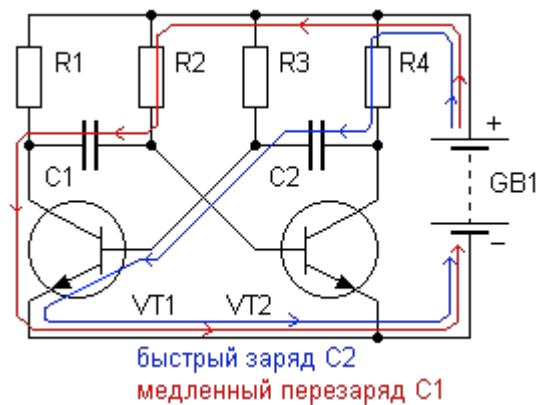


Рисунок 7.5 – Формирование первого полупериода колебания

Кроме того, происходит медленный перезаряд конденсатора $C1$ (от напряжения источника питания одной полярности, до напряжения $0,7...1,0$ вольт противоположной полярности) по цепи: «+ источника питания > резистор $R2 >$ правая обкладка $C1 >$ левая обкладка $C1 >$ коллекторно-эмиттерный переход транзистора $VT1 >$ - источника питания».

Когда, в результате перезаряда $C1$, напряжение на базе $VT2$ достигнет значения $+0,6$ вольт относительно эмиттера $VT2$, транзистор откроется. Поэтому, напряжение заряженного конденсатора $C2$, через открытый коллекторно-эмиттерный переход $VT2$ окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора $VT1$ обратной полярностью. $VT1$ закроется. **Начинается второй полупериод работы (колебания) мультивибратора.**

При открытом транзисторе $VT2$ и закрытом $VT1$ происходит быстрый перезаряд конденсатора $C1$ (от напряжения $0,7...1,0$ вольт одной полярности, до напряжения источника питания противоположной полярности) по цепи: «+ источника питания > резистор $R1 >$ малое сопротивление $C1 >$ базово-эмиттерный переход $VT2 >$ - источника питания» (рис.7.6).

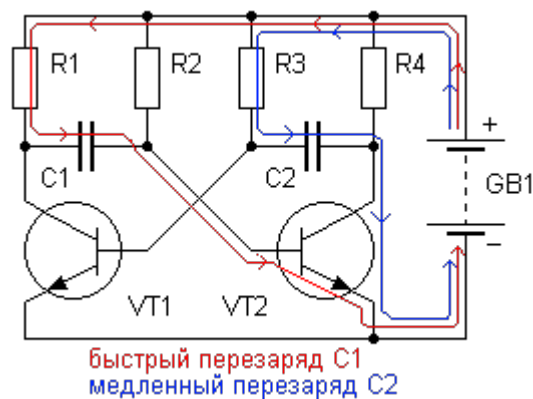


Рисунок 7.6 – Формирование второго полупериода колебания

Кроме того, происходит медленный перезаряд конденсатора $C2$ (от напряжения источника питания одной полярности, до напряжения $0,7...1,0$

вольта противоположной полярности) по цепи: «правая обкладка C2 > коллекторно-эмиттерный переход транзистора VT2 > - источника питания > + источника питания > резистор R3 > левая обкладка C2». Когда напряжение на базе VT1 достигнет значения +0,6 вольта относительно эмиттера VT1, транзистор откроется. Поэтому, напряжение заряженного конденсатора C1, через открытый коллекторно-эмиттерный переход VT1 окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора VT2 обратной полярностью. VT2 закроется. На этом, второй полупериод колебания мультивибратора заканчивается, и снова начинается первый полупериод. Процесс повторяется до момента отключения мультивибратора от источника питания.

7.2. Мультивибраторы на логических интегральных элементах

В настоящее время большинство генераторов прямоугольных импульсов строятся на логических интегральных элементах. Автоколебания в таких схемах обеспечиваются за счет заряда и разряда одного или двух конденсаторов через резисторы. На рис.7.7,а изображена схема генератора прямоугольных импульсов на основе RC-вреязадающей цепочки и двух инверторах, функции которых выполняют элементы 2И-НЕ путем соединения их входов. В процессе заряда конденсатора C1 по цепи: выход DD1.2 - C1 - R1 - DD1.1 - сигнальная земля, на сопротивлении R1 создается напряжение, равное уровню логической 1. Пока это напряжение превышает пороговое, на выходе DD1.1 будет «0», а на выходе DD1.2 – «1». По мере заряда конденсатора при уменьшении напряжения на R1 инверторы переключаются в противоположные состояния и происходит разряд конденсатора. Частоту генерации можно определить по приближенной формуле

$$F \approx \frac{0,7}{RC} \quad (7.1)$$

Недостатком такой схемы является низкая стабильность частоты за счет изменения параметров резистора и конденсатора при изменении температуры окружающей среды. Намного более высокой стабильностью обладает схема, в которой последовательно с конденсатором включается кварцевый резонатор Qz (рис.7.7,б).

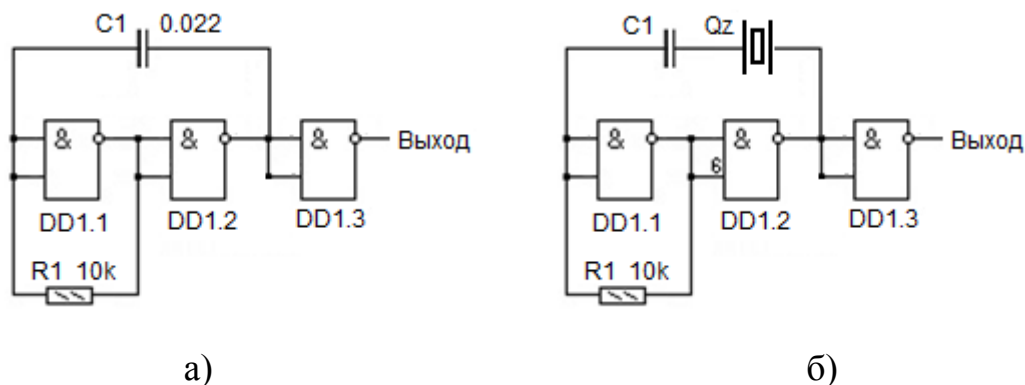


Рисунок 7.7 – Схемы генераторов прямоугольных импульсов на интегральных схемах

В схеме мультивибратора кварцевый резонатор используется в качестве узкополосного фильтра в цепи обратной связи. Частота колебаний такого генератора определяется резонансной частотой кварцевого резонатора. На рисунке 7.8 изображена схема и временная диаграмма функционирования симметричного мультивибратора на логических элементах И-НЕ.

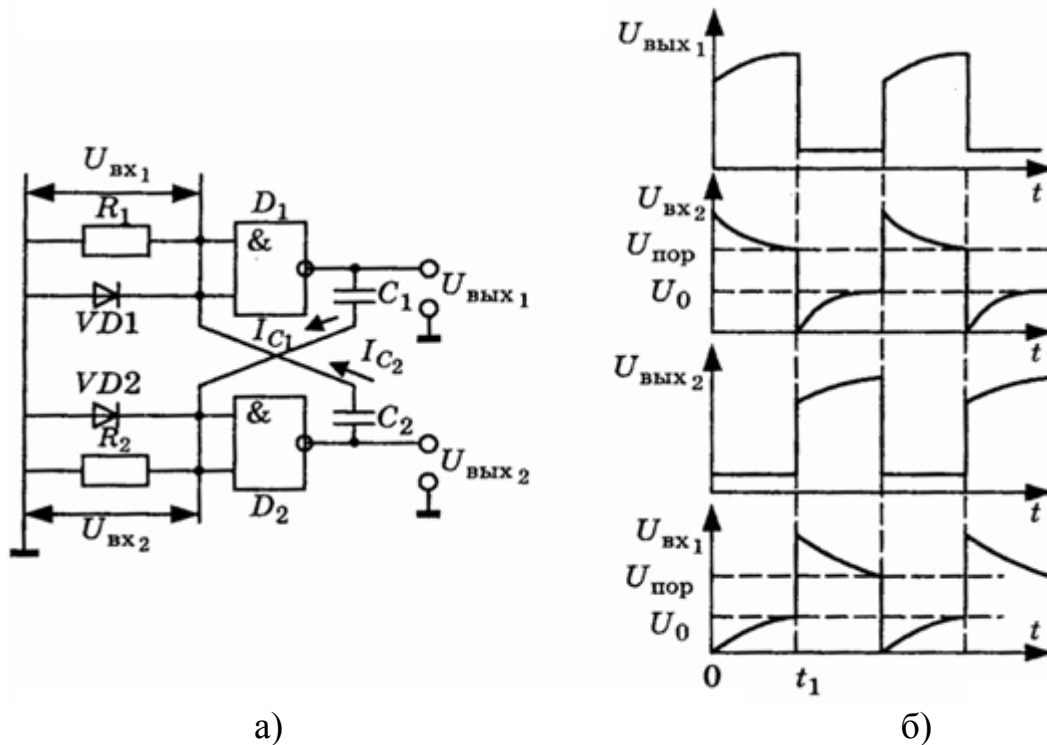


Рисунок 7.8 – Схема (а) и временные диаграммы работы (б) симметричного мультивибратора на элементах И-НЕ

Логические элементы D_1 и D_2 включены в режиме инверторов. Резисторы R_1 и R_2 совместно с конденсаторами C_1 и C_2 выполняют роль времязадающих цепей мультивибратора. Диоды $VD1$, $VD2$, шунтирующие резисторы, защищают входы схемы от больших выбросов напряжений, возникающих на резисторах при разряде конденсаторов через насыщенные выходные транзисторы элементов $D1$, $D2$.

Мультивибратор работает следующим образом. Предположим, что на промежутке времени $0 \leq t \leq t_1$ логический элемент $D1$ закрыт, а $D2$ открыт. На выходе $D1$ действует высокий уровень напряжения ($U_{вых1}$), которым заряжается конденсатор C_1 . На резисторе R_2 создается падение напряжения, которое во времени уменьшается по экспоненциальному закону (рис. 7.8б) и, поступая на вход элемента D_2 , удерживает его в открытом состоянии. Постоянная цепи заряда конденсатора C_1 определяется выражением $\tau_3 = R_2 * C_1$. За время заряда конденсатора C_1 происходит разряд конденсатора C_2 по цепи: нижняя обкладка конденсатора C_2 , насыщенный транзистор инвертора элемента D_2 , корпус,

диод VD1, верхняя обкладка конденсатора C_2 . Время разряда конденсатора C_2 определяется выражением

$$t_{\text{раз}} = 3C_2(r_{\text{прVD1}} + R_{\text{выхD2}}).$$

Как только напряжение на входе элемента D_2 станет меньше порогового Упор, он начинает закрываться. Увеличение напряжения $U_{\text{вых2}}$ через конденсатор C_2 передается на вход элемента D_1 , который начинает открываться. Уменьшение $U_{\text{вых}}$, через конденсатор C_1 передается на вход элемента D_2 , схема начинает переходить во второе квазиравновесное состояние. После этого конденсатор C_2 начнет заряжаться, а C_1 – разряжаться.

При построении схем импульсных генераторов следует иметь в виду, что они являются мощными источниками помех. Поэтому генераторы импульсов обычно экранируют. Цепи питания микросхем, на которых реализуются генераторы, обязательно должны содержать фильтрующие высокочастотные конденсаторы. Часто для лучшей фильтрации по цепи питания кроме конденсаторов используются фильтрующие дроссели.