

## Лабораторная работа № 22 Мультивибратор

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Мультивибратор является генератором импульсов тока или напряжения прямоугольной формы. Принципиальная электрическая схема симметричного мультивибратора на двух транзисторах изображена на рис. 1. Транзисторы  $V_1$  и  $V_2$  имеют одинаковые коллекторные нагрузки  $R_k$  и одинаковые сопротивления в цепях базы  $R_b$ . Через одинаковые емкости  $C_1$  и  $C_2$  коллектор первого транзистора соединяется с базой второго транзистора и коллектор второго с базой первого. Работу мультивибратора можно упрощенно описать следующим образом: при включении напряжения питания от источника постоянного напряжения  $E_k$ , на базы транзисторов через сопротивления  $R_b$  подается напряжение отрицательной полярности относительно их эмиттеров. Если бы в схеме отсутствовали емкостные связи между базами и коллекторами транзисторов, оба перешли бы в открытое состояние. Величина тока базы для каждого на них определилась бы выражением:

$$I_b = \frac{E_b}{R_b}$$

так как эмиттерный p-n переход, включенный в прямом направлении, обладает малым сопротивлением по сравнению с величиной сопротивления в цепи базы.

Наличие емкостной положительной обратной связи между транзисторами меняет картину коренным образом. Даже при специальном подборе транзисторов их электрические характеристики не могут быть абсолютно одинаковыми, не могут быть совершенно одинаковыми величины сопротивлений и емкостей в цепях первого и второго транзисторов.

Следствием этого является различия в скорости нарастания коллекторных токов транзисторов  $VT_1$  и  $VT_2$ . При включении напряжения питания возрастают токи в коллекторных полях обоих транзисторов. С возрастанием их увеличивается

падение напряжения на коллекторных нагрузках  $R_k$ , и, следовательно, возрастают потенциалы коллекторов. Возрастание потенциала коллектора первого транзистора через емкость  $C_1$  подается в виде положительного перепада напряжения на базу второго транзистора. Если, в силу невозможности осуществления полной симметрии, ток возрастает быстрее, например, в коллекторной цепи первого транзистора, то, начиная с какого-то момента времени, положительный перепад напряжения, поступающий с коллектора первого транзистора, превысит величину отрицательного потенциала базы второго транзистора. С этого момента ток в цепи коллектора второго транзистора начинает убывать.

Уменьшение тока в цепи коллектора второго транзистора приведет к уменьшению падения напряжения на его коллекторной нагрузке и уменьшению потенциала коллектора второго транзистора. С коллектора второго транзистора отрицательный перепад напряжения поступает на базу первого транзистора и вызывает еще большее отпирание его. Увеличение коллекторного тока в первом транзисторе приведет к дальнейшему повышению потенциала его коллектора, так что в результате поступления положительного перепада напряжения через емкость  $C_1$  на базу второго транзистора приводит к еще большему запираению второго транзистора и так далее. Если выбранные значения сопротивления  $R_b$  и  $R_k$  на схеме удовлетворяют отношению

$$R_k \geq \frac{R_b}{\beta} \quad (1)$$

где  $\beta$  – интегральный коэффициент передачи базового тока в первом транзисторе.

$$I_{\delta \max} = \frac{E_{\kappa}}{R_{\delta}} \quad (2)$$

ток коллектора достигает значения тока насыщения

$$I_{KM} = \frac{E_{\kappa}}{R_{\kappa}} \quad (3)$$

Действительно, при условии

$$R_{\kappa} = \frac{R_{\delta}}{\beta} \quad (4)$$

получаем:

$$I_{\kappa \max} = \beta \cdot I_{\delta \max} = \frac{E_{\kappa} \cdot \beta}{R_{\delta}} = \frac{E_{\kappa}}{R_{\kappa}} = I_{K.H.} \quad (5)$$

При условии  $R_{\kappa} \geq \frac{R_{\delta}}{\beta}$  насыщение наступает раньше, чем ток базы достигнет

значения  $I_{\delta \max}$ . Возрастание тока коллектора от нуля до значения тока насыщения длится очень короткое время. За это же время потенциал коллектора скачком возрастает от значения  $-E_{\kappa}$  до нуля, так как при достижении насыщения падение напряжения на коллекторном сопротивлении составляет:

$$\Delta E = I_{K.H.} \cdot R_{\kappa} = \frac{E_{\kappa} \cdot R_{\kappa}}{R_{\kappa}} = E_{\kappa}$$

Во время процесса отпирания и перехода в состояние насыщенного первого транзистора емкость  $C_1$  заряжается до разности потенциалов и поддерживает на базе второго транзистора положительный потенциал относительно эмиттера. В результате этого транзистор  $VT_2$  остается закрытым, и после завершения процесса перехода транзистора  $VT_1$  в состояние насыщения. Между коллекторным проводом питания, находящимся под потенциалом  $-E_{\kappa}$  и базой разность потенциалов составляет  $2E_{\kappa}$ , так как эмиттерный переход второго транзистора при этом включен в запирающем направлении, сопротивление его оказывается обычно значительно большим величины сопротивления  $R_{\delta}$  и ток разряда емкости  $C_2$  через эмиттерный переход обычно не учитывается. Разряд емкости  $C_1$  через базовое сопротивление происходит по экспоненциальному закону с постоянной времени  $\tau = R_{\delta} \cdot C_1$ . По такому же закону изменяется величина потенциала базы второго транзистора, отсчитанная относительно провода коллекторного питания:

$$U_{\delta} = 2E_{\kappa} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 2E_{\kappa} \cdot e^{-\frac{t}{R_{\delta} \cdot C_1}} \quad (6)$$

При достижении нулевого потенциала на базе второго транзистора он начинает открываться. Увеличение коллекторного тока вызывает увеличение падения напряжения на коллекторном сопротивлении и повышение потенциала коллектора второго транзистора. С коллектора второго транзистора положительный перепад напряжения через емкость  $C_1$ , поступает на базу первого транзистора, что приводит к некоторому уменьшению его коллекторного тока и понижению потенциала коллектора. Отрицательный перепад напряжения с коллектора первого транзистора через емкость  $C_2$  поступает на базу второго транзистора и вызывает еще большее отпирание и так далее. Процесс развивается до полного запирающего первого транзистора и перехода в состояние насыщения второго транзистора. Зарядившийся до положительного потенциала  $E_{\kappa}$  относительно эмиттера конденсатор  $C_1$  будет теперь поддерживать в закрытом состоянии первый транзистор до тех пор, пока на его базе напряжение не понизится в результате разряда конденсатора через базовое сопротивление  $R_B$  до нуля. Далее опять произойдет опрокидывание схемы, быстро откроется

первый транзистор, закрывается второй и так далее.

Время зарядки конденсатора  $C$  от разности потенциалов  $2E$  до  $E$  (когда потенциал базы становится равным нулю относительно эмиттера) можно определить из выражения:

$$U_{\delta} = E_{\kappa} = 2E_{\kappa} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (7)$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{1}{2}; \quad -\frac{t}{\tau} = \ln 2; \quad t = \tau \cdot \ln 2 = R_{\delta} \cdot C_1 \cdot \ln 2 \quad (8)$$

Полный период колебаний мультивибратора

$$T = 2 \cdot t = 2 \cdot R_{\delta} \cdot C_1 \cdot \ln 2 \quad (9)$$

Обычно значения величины  $R_{\delta}$  и  $C_1$ , выбираются такими, что время, в течение которого один транзистор поддерживается открытым, а другой закрытым ( $t$ ), значительно превосходит длительность переходного процесса отпирания одного транзистора и запираения другого. Поэтому графическое изображение зависимости величины напряжения на коллекторе от времени представляет собой чередование кратковременных скачков напряжения с длительными периодами, в течение которых напряжение остается постоянными (рис. 1).

Простейший симметричный мультивибратор на двух транзисторах можно рассчитать следующим образом: по условиям задачи (амплитуда и частота следования импульсов) выбирается тип транзистора. При возможности выбора лучше воспользоваться транзисторами, предназначенными для работы в импульсных и переключающих схемах. Для расчетов элементов схемы мультивибратора необходимо измерить величину параметра  $\beta$  транзисторов. Если есть возможность, то из нескольких транзисторов отбираются два с наиболее близкими значениями параметра  $\beta$ . Если же возможности нет, то в дальнейших расчетах для обеспечения режима насыщения обоих транзисторов используют меньшее из двух полученных значений параметра.

Прежде всего, можно выбрать величину коллекторной нагрузки. Для этого по справочнику определяют максимальное значение коллекторного тока для выбранного типа транзисторов. Так как в состоянии насыщения транзистора открыты и эмиттерный, и коллекторный переходы, ток в цепи коллектора определяется величиной напряжения питания и сопротивления в цепи коллектора:

$$I_{\kappa} = \frac{E_{\kappa}}{R_{\kappa}} \quad (10)$$

Отсюда можно определить минимальное из допустимых значений коллекторной нагрузки:

$$R_{\kappa \min} = I_{\kappa} \frac{E_{\kappa}}{\max \text{ доп}} \quad (11)$$

и минимальное допустимое значение величины сопротивления в цепи базы:

$$R_{\delta \min} = \beta \cdot R_{\kappa \min} \quad (12)$$

Полученные значения неприемлемы для выполнения практической схемы, так как расчет произведен для предельного значения коллекторного тока. Для уменьшения величины коллекторного тока нужно использовать коллекторную нагрузку большей величины, чем значения

Далее по заданной частоте и выбранному значению сопротивления можно определить величину емкости  $C_1$ . Из выражения (9) частота мультивибратора и постоянная времени  $\tau = R_{\delta} \cdot C$  связаны соотношением:

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{0,71}{R \cdot C} \quad (13)$$

Откуда

$$C = \frac{0,71}{f \cdot R_0} \quad (14)$$

### Оборудование Мультивибратор



### Источник питания





Соединительные провода



### ЗАДАНИЯ

- 1) Рассчитать период повторения импульсов по заданным преподавателем значениям  $R_6$  и  $C_k$  (несколько значений).
- 2) Измерить "частоту" повторений, амплитуду и длительность и сравнить полученные значения с расчетными.
- 3) Снять осциллограмму напряжения на коллекторах и базах транзисторов.
- 4) Определить взаимосвязь частоты повторения импульсов, длительности и амплитуды от напряжения источника питания (измерить от 3 до 9 В).

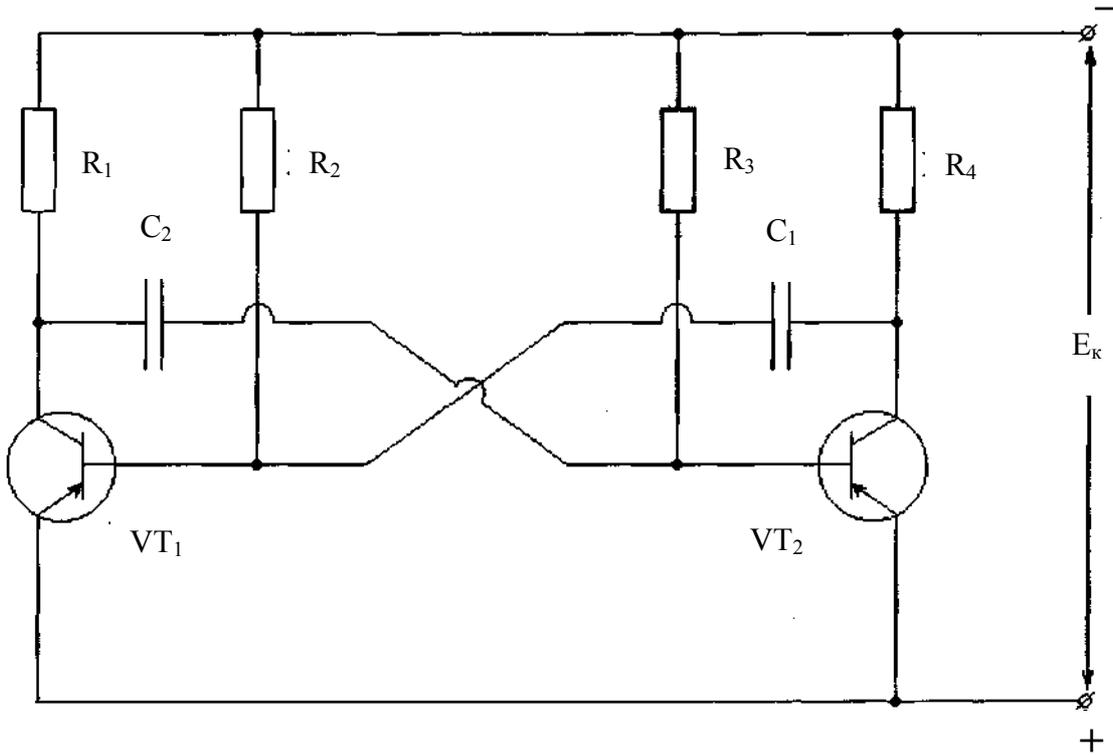


Рис. 1. Принципиальная схема мультивибратора

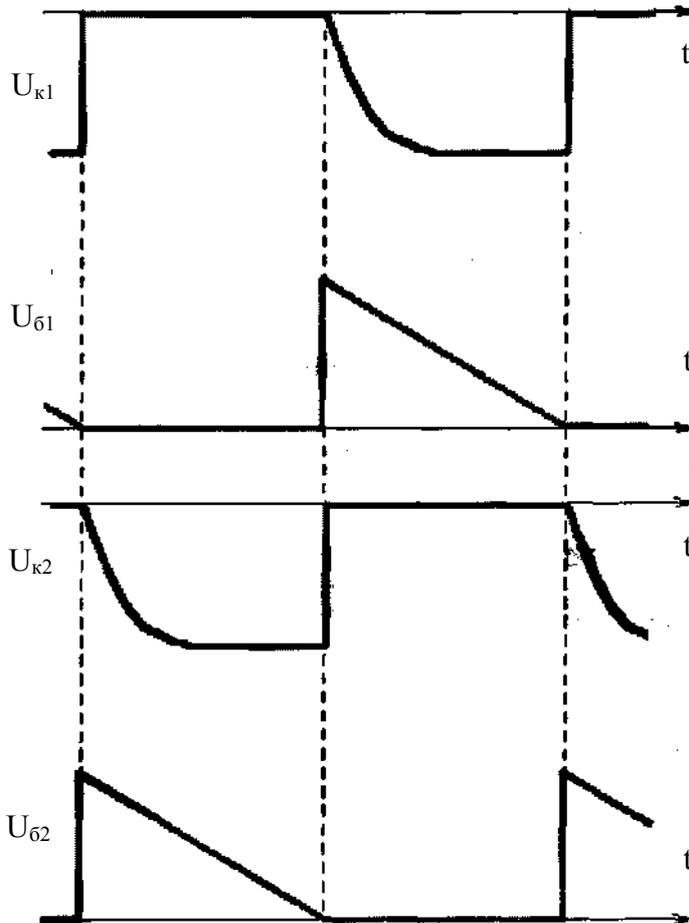


Рис. 2. Временные диаграммы работы мультивибратора