

## Лабораторная работа 1

### «Исследование работы транзисторного мультивибратора»

**Цель работы :** Произвести расчет транзисторного мультивибратора на биполярных транзисторах»

#### Цели занятия:

1. **Развивающая** – Развитие познавательных умений- формирование умения производить расчеты,
2. **Дидактическая** - Сообщить учащимся новые знания о генераторах прямоугольных импульсов.
3. **Воспитательная** – Формирование творчески подходить к решению задач.

#### Ход урока:

##### 1. Орг. момент

2. Объяснение нового материала.
  - Назначение генераторов прямоугольных импульсов.
  - Классификация генераторов прямоугольных импульсов.
  - Принцип работы автоколебательного мультивибратора на транзисторах.
  - Основные технические параметры мультивибратора.
  - Методика расчета автоколебательного мультивибратора.
  - Пример расчета автоколебательного мультивибратора.

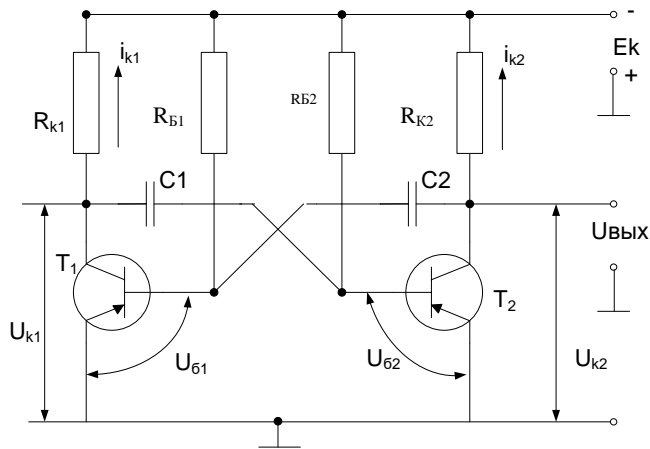
### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В импульсной технике широко применяются генераторы прямоугольных импульсов, которые относятся к классу релаксационных генераторов. Колебания, в которых медленные изменения чередуются со скачкообразными, называют релаксационными. Релаксационные генераторы преобразуют энергию источника постоянного тока в энергию электрических колебаний. В релаксационном генераторе в течение одной части периода энергия запасается в реактивном элементе только одного типа, обычно в конденсаторе, а в другую часть периода выделяется в виде теплоты в резисторах схемы.

Усилительный элемент работает в данном случае в ключевом режиме, переключая конденсатор с зарядки на разрядку и обратно.

Релаксационные генераторы могут работать в автоколебательном и ждущем режимах, а также в режиме синхронизации и деления частоты. Генератор в автоколебательном режиме генерирует колебания непрерывно. В ждущем режиме

генератор «ждет» поступления запускающего сигнала, с приходом которого выдает один импульс.



### ТРАНЗИСТОРНЫЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

Действие мультивибратора основано на следующих положениях. Прямоугольные импульсы формируются на коллекторе транзистора: плоская вершина- когда транзистор заперт и его коллектор имеет относительно высокий (по абсолютному значению) потенциал; пауза между импульсами- когда транзистор насыщен и потенциал на его коллекторе мал. Крутые фронты импульса обеспечиваются лавинообразным переходом транзистора из одного состояния в другое за счет положительной обратной связи в усилительных свойствах транзисторов. Мультивибратор представляет собой двухкаскадный резистивный усилитель, построенный на транзисторах ключах – инверторах.

Положительная обратная связь имеется в схеме за счет того, что выход одного ключа соединен с входом другого.

#### Физические процессы в мультивибраторе

Исходное состояние схемы транзистор  $T_2$  насыщен, конденсатор  $C_2$  разряжается и напряжением на нем приближается к нулю . Напряжением  $U_{C2}$  транзистор  $T_1$  заперт, так как левая по схеме обкладка  $C_2$  непосредственно соединена с базой  $T_1$ , а правая оказывается подсоединенной к к эмиттеру  $T_1$  через насыщенный транзистор  $T_2$  .Такому состоянию соответствуют временные диаграммы до момента времени  $t_1$ , в соответствии с которыми

$U_{б2} \approx 0$ ,  $U_{к2} \approx 0$ . Период следования формируемых импульсов можно разбить на ряд стадий.

**Формирование фронта импульса.** Когда напряжение  $U_{C2}$  на разряжающемся конденсаторе  $C_2$  станет равным нулю, транзистор  $T_1$  отпирается.

При одновременно открытых транзисторах замыкается цепь положительной обратной связи- в схеме создается условия для лавинообразного процесса. Отпирание транзистора  $T_1$  приводит к уменьшению отрицательного потенциала на его коллекторе. Так как напряжение на конденсаторе  $C_1$  не может изменяться мгновенно, то этот положительный скачок напряжения целиком прикладывается между базой и эмиттером  $T_2$ , что вызывает уменьшения тока в его цепи. Вследствие этого потенциал коллектора  $T_2$  становится более отрицательным- отрицательный скачок напряжения через конденсатор  $C_2$  передается на базу транзистора  $T_1$ , что приводит к еще большему отпиранию. Так как последующий скачок напряжения на базе больше предыдущего, то описанный процесс нарастает лавинообразно и спустя небольшое время. Исчисляемое долями микросекунды, транзистор  $T_2$  оказывается запертым. С этого момента цепь положительной обратной связи обрывается и лавинообразный процесс прекращается. Запиранию транзистора  $T_2$  соответствует участок  $ab$  кривой  $U_{K2}$ .

Во время лавинообразного процесса напряжение на конденсаторе  $C_2$  не успевает измениться. Только после запирания транзистора  $T_2$  этот конденсатор начинает заряжаться током  $i_3$  по цепи :  $+ E_K - \text{«земля»} - \text{эмиттер} - \text{база насыщенного транзистора } T_1 - C_2 - R_{K2} - (-E_K)$ . За счет этого напряжение на коллекторе  $T_2$   $U_{K2} = - (E_K - i_3 * R_{K2} )$  постепенно приближается к установившемуся значению ( участок  $bc$  кривой  $U_{K2}$ . Когда конденсатор  $C_2$  зарядится ( $i_3 = 0$ ), напряжение на коллекторе примет значение  $U_{K2} \approx - E_K$ . На этом формирование фронт импульса заканчивается.

**Формирование плоской вершины импульса.** До момента времени  $t_1$  конденсатор  $C_1$ , присоединенный к коллектору запертого прежде транзистора  $T_1$  был заряжен до напряжения  $U_{C1} \approx E_K$ . После насыщения транзистора  $T_1$  напряжение на этом конденсаторе оказывается приложенным между базой и эмиттером  $T_2$  и удерживает его запертым. Поэтому напряжение  $U_{K2}$  остается неизменным- на коллекторе  $T_2$  формируется плоская вершина импульса.

При насыщенном транзисторе  $T_1$  конденсатор  $C_1$  получает возможность разряжаться по цепи:  $+ E_K - \text{«земля»} - T_1 - C_1 - R_{b2} - (- E_K )$ . Когда напряжение на нем окажется близким к нулю, транзистор  $T_2$  отпирается и в схеме вновь создаются условия для лавинообразного процессов. В момент  $t_2$  формирование плоской вершины заканчивается.

**Формирование среза импульса.** Начавшийся лавинообразный процесс протекает аналогично описанному с той лишь разницей, что теперь напряжение на коллекторе  $T_1$  по абсолютному значению увеличивается, а напряжение на коллекторе  $T_2$  уменьшается. В результате транзистор  $T_1$  запирается , а транзистор  $T_2$  насыщается- на коллекторе  $T_2$  формируется срез импульса ( участок  $de$  кривой  $U_{K2}$  ).

**Пауза.** Через насыщенный транзистор  $T_2$  происходит разрядка конденсатора  $C_2$  по цепи :  $+E_K - \text{«земля»} - T_2 - C_2 - R_{б1} - (-E_K)$ . По напряжению  $U_{C2}$  не приблизится к нулю транзистор  $T_1$  заперт, а транзистор  $T_2$  насыщен. После отпирания  $T_1$  начинается формирование очередного импульса на коллекторе  $T_2$ . Интервал  $t_2 - t_3$ .

В интервале  $t_2 - t_3$  наряду с разрядкой конденсатора  $C_2$  происходит зарядка конденсатора  $C_1$  по цепи:  $+E_K - \text{«змя»}- \text{эмиттер}- \text{база } T_2 - C_1 - (-E_K)$ . Аналогично ранее заряжался конденсатор  $C_2$ , когда транзистор  $T_1$  был насыщен, а транзистор  $T_2$  заперт.

### Основные параметры колебаний

**1. Амплитуда генерируемых импульсов:**

$$U_m = U_{кн} - U_{к \text{ зап}} \approx E_K;$$

**2. Постоянная времени разрядки конденсатора  $C_1$  :**

$$\tau_2 \approx C_1 R_{б2}; \text{ (с)}$$

**3. Постоянная времени разрядки конденсатора  $C_2$  :**

$$\tau_1 \approx C_2 R_{б1};$$

**4. Длительность генерируемых импульсов:**

$$t_{и2} = C_1 R_{б2} \ln 2 \approx 0,7 C_1 R_{б2} = 0,7 \tau_2; \text{ (с)}$$

$$t_{и1} = C_2 R_{б1} \ln 2 \approx 0,7 C_2 R_{б1} = 0,7 \tau_1 \text{ (с)}$$

**5. Период колебаний:**

$$T = t_{и1} + t_{и2} = 0,7 ( C_1 R_{б2} + C_2 R_{б1} ) = 0,7(\tau_2 + \tau_1) \text{ (с)}$$

### *Теория для расчета транзисторного автоколебательного мультивибратора*

Выбор транзистора производится из ряда соображений.

1. При запираии транзистора на его базу передается положительный перепад напряжения  $U_m = E_K$ . Потенциал коллектора при этом стремится к  $-E_K$ . Поэтому максимально допустимое напряжение между коллектором и базой транзистора должно быть

$$U_{кб \text{ допю}} > 2 E_K \tag{1.1}$$

2. Максимальная частота колебаний мультивибратора  $f_{\text{max}}$  зависит от частоты транзистора

$f_{\beta}$  У выбранного транзистора должно быть

$$f_{\beta} > 0,7 f_{\text{max}} \tag{1.2}$$

3. Чтобы обеспечить заданную длительность положительного перепада – длительность среза  $t_c$  частота транзистора  $f_{\alpha}$  , должна соответствовать условию

$$f\alpha > 1/t_c \quad (1.3)$$

4. Напряжение источника питания берут равным

$$E_k = (1,1 \div 1,2)U_m \quad (1.4)$$

с тем чтобы изменение потенциала коллектора не было меньше заданной амплитуды импульса  $U_m$

5. Сопротивление резистора  $R_k$ , выбирают с таким расчетом, чтобы ток открытого транзистора не превышал максимально допустимого

$$I_{кн} \approx E_k / R_k < I_{кдоп}$$

откуда

$$R_k > E_k / I_{кдоп} \quad (1.5)$$

С другой стороны, падение напряжения на резисторе  $R_k$  от обратного тока коллектора не должно превышать  $(0,05 \div 0,1)E_k$ , т. е.

$$I_{ко\ max} * R_k < (0,05 \div 0,1)E_k$$

Откуда

$$R_k < [(0,05 \div 0,1)E_k] / I_{ко\ max} \quad (1.6)$$

где  $I_{ко\ max}$  - обратный ток при максимальной рабочей температуре. При выполнении этого условия потенциал коллектора запертого транзистора мало отличается от  $E_k$ .

6. Сопротивление резистора  $R_b$  следует выбирать с таким расчетом, чтобы обеспечить неглубокое насыщение транзистора ( $S \approx 2$ )

$$(E_k / R_k) * \beta = (E_k / R_b) * S, \quad (1.7)$$

откуда

$$R_b = (\beta * R_k) / S \quad (1.8)$$

Емкость конденсатора  $C$  выбирается в соответствии с заданной длительностью импульсов

$$C_1 = t_{U2} / 0,7 R_{b2}, \quad (1.9)$$

$$C_2 = t_{U2} / 0,7 R_{b1} \quad (1.10)$$

Конденсаторы выбираются по ГОСТу.

### Пример расчета автоколебательного мультивибратора

Рассчитать транзисторный мультивибратор в автоколебательном режиме по следующим данным: амплитуда  $U_m = 10$  В, длительность среза  $t_c \leq 0,02$ , частота повторения импульсов 10 кГц, максимальная температура

$t = 40^\circ\text{C}$ , время восстановления схемы  $t_b \leq 0,2 t_u$

1. Пользуясь выражением, определяем напряжение источника питания

$$E_k(1,1 \div 1,2) U_m$$

В соответствии с данными возьмем

$$E_k = 1,2 * 10 = 12 \text{ В}$$

2. Выбираем транзистор, параметры которого должны удовлетворять условиям

$$U_{кб \text{ мин}} \geq 2E_k; \quad f\beta \geq 0,7 f_{\text{max}} \quad \text{и} \quad f\alpha \geq 1/t_c$$

В соответствии с заданием транзистор должен иметь

$$U_{кб \text{ мин}} \geq 2*12 = 24 \text{ В}; \quad f\beta \geq 0,7*10 = 7 \text{ кГц}$$

$$t_c \leq 0,02 t_u, \quad t_u = T/2f; \quad f = 1/(2*10*10^3) = 50 \text{ мкс}$$

$$t_c \leq 0,02*50*10^{-6} = 1 \text{ мкс}$$

$$f\alpha \geq 1/(1*10^{-6}) = 1 \text{ МГц}$$

Выбираем по справочнику транзистор ГТ 115Б, для которого

$$U_{кб \text{ max}} = 30 \text{ В}, \quad I_{к \text{ max}} = 30 \text{ мА}, \quad f\alpha \geq 1 \text{ МГц}, \quad \beta = 20 \div 80, \quad I_{ко \text{ max}} = 40 \text{ мкА}, \quad (\text{до}$$

температуры  $t = 45^\circ\text{C}$ ).

$$U \text{ выбранного транзистора } \beta_{\text{cp}} = 50, \quad f\beta = f\alpha / \beta + 1 = 20 \text{ кГц}.$$

3. Используя выражение определяем сопротивление  $R_k$ ;  $R_k = \frac{(0,05 - 0,1)E_k}{I_{ко \text{ max}}} \text{ (Ом)}$

4. Выбираем по ГОСТу  $R_k$ ;

5. Находим сопротивление  $R_6$ . Определяем его по среднему значению  $\beta_{\text{cp}} = 50$  и коэффициенту насыщения  $S = 2$ ;

$$R_6 = \beta_{\text{cp}} * R_k / S = (50*1*10^3)/2 = 25 \text{ кОм}$$

Выбираем по ГОСТу  $R_6 = 24 \text{ кОм}$

При этом базовый ток открытого транзистора

$$I_6 = E_k / R_6 = 12 / (24*10^3) = 500 \text{ мкА},$$

что превышает  $I_{ко \text{ max}}$  больше, чем на порядок, благодаря чему схема термостабильна.

6. Определяем емкость конденсатора  $C_1$  и  $C_2$

$$C_1 = C_2 = t_u / 0,7 R_6,$$

$$C = 50*10^{-6} / (0,7*20*10^3) = 3000 \text{ пФ}$$

Выбираем по ГОСТу  $C_1 = C_2 = 3000 \text{ пФ}$

7. Определяем время восстановления схемы

$$t_B = 3CR_K = 3 \cdot 3000 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^3 = 9 \text{ мкс},$$

что не превосходит допустимого  $t_B \leq 0,2 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ мкс}$ .

**ОТЧЕТ должен содержать:**

1. Принципиальную схему автоколебательного транзисторного мультивибратора (см. конспект);
2. Промежуточные формулы;
3. Расчет мультивибратора выбранного по справочнику транзистора, в соответствии с вариантом;
4. Вывод;
5. Ответить на контрольные вопросы:

— Как изменяются параметры импульсов симметричного автоколебательного мультивибратора, если:

- a) Увеличить  $C_1$ ;
- b) Увеличить  $R_{61}$ ;
- c) Уменьшить  $C_2$ ;
- d) Уменьшить  $R_{62}$ ;

— Чему равна скважность импульсов симметричного автоколебательного мультивибратора?

— Что и как следует изменить в схеме для получения большой скважности?

Задание на выполнение практической работы .

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_m, В$	10	12	9	10	15	10	15	12	12	10
$t_C, мкс$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,015	0,02	0,02	0,01	0,02
$f, кГц$	12	10	15	10	20	25	20	15	20	15
$t_B, мкс$	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1

№ вариант.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$U_m, В$	12	12	15	12	10	15	12	15	10	9
$t_C, мкс$	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
$f, кГц$	12	10	15	20	25	16	18	14	13	17
$t_B, мкс$	0,2	0,1	0,4	0,3	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2

№ вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Um, В	12	10	10	15	9	10	15	10	12	10
t <sub>с</sub> , мкс	0,03	0,04	0,02	0,05	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,015
f, кГц	20	21	22	23	24	25	10	9	12	15
t <sub>в</sub> , мкс	0,	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Для всех вариантов температура 25<sup>0</sup>С

Литература : Ю.А.Браммер «Импульсная техника»