

## РАСЧЕТ МУЛЬТИВИБРАТОРА

Рассчитать параметры симметричного мультивибратора на операционном усилителе с заданной рабочей частотой  $f$  и сопротивлением нагрузки  $R_H$ . Варианты заданий приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ варианта	$R_H$ , кОм	$f$ , Гц	№ варианта	$R_H$ , кОм	$f$ , Гц
1	51	10	11	39	110
2	47	20	12	43	120
3	73	30	13	73	130
4	47	40	14	75	140
5	56	50	15	91	150
6	68	60	16	68	160
7	91	70	17	56	130
8	82	80	18	47	110
9	62	90	19	56	40
10	75	100	20	51	60

**Номер варианта определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки. Если образуемое ими число больше 20, то из него следует вычесть число 20. Например, если номер зачетной книжки Д-11Г10/12, то номер варианта задания равен 12. Если номер зачетной книжки Д-3Б10/26, то номер варианта задания равен 6.**

Схема симметричного мультивибратора и диаграммы напряжений, поясняющие его работу, изображены на рис. 1 и 2.

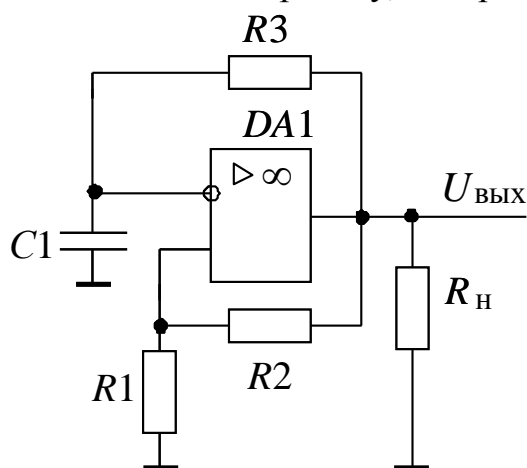


Рис. 1. Схема симметричного мультивибратора

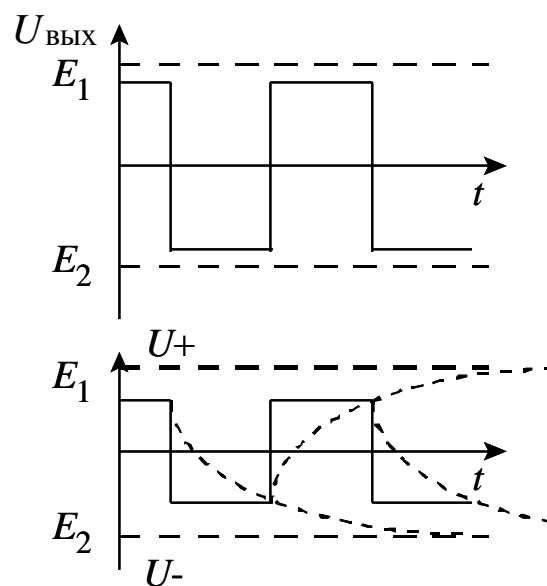


Рис. 2. Диаграммы напряжений

### Пример решения задания

Для расчетов принимаем  $f = 100$  Гц,  $R_{\text{н}} = 62$  кОм и операционный усилитель типа К140УД6, который имеет следующие основные параметры:

$$\begin{aligned}U_{\text{ип1}} &= +15 \pm 1,5 \text{ В}; & R_{\text{вх}} &\geq 1 \text{ МОм}; \\U_{\text{ип2}} &= -15 \pm 1,5 \text{ В}; & U_{\text{вых.м}}^+ &= +11 \text{ В}; \\I_{\text{вых.доп}} &\leq 2,5 \text{ мА}; & U_{\text{вых.м}}^- &= -11 \text{ В}; \\I_{\text{вх}} &\leq 200 \text{ нА}; & K_{yU} &\geq 30000; \\ \Delta I_{\text{вх}} &\leq 25 \text{ нА}; & f_1 &= 1 \text{ МГц}; \\U_{\text{см}} &= \pm 10 \text{ В}; & V_{U_{\text{вых}}} &= 2 \text{ В/мкс.}\end{aligned}$$

Условные обозначения параметров операционного усилителя:

$U_{\text{ип1}}$  – напряжение источника питания положительной полярности;

$U_{\text{ип2}}$  – напряжение источника питания отрицательной полярности;

$I_{\text{вых.доп}}$  – максимальный допустимый ток операционного усилителя;

$I_{\text{вх}}$  – входной ток операционного усилителя;

$\Delta I_{\text{вх}}$  – разность входных токов;

$U_{\text{см}}$  – напряжение смещения;

$R_{\text{вх}}$  – входное сопротивление;

$U_{\text{вых.м}}^+$  – максимальное выходное напряжение положительного уровня;

$U_{\text{вых.м}}^-$  – максимальное выходное напряжение отрицательного уровня;

$K_{yU}$  – коэффициент усиления напряжения;

$f_1$  – частота единичного усиления;

$V_{U_{\text{вых}}}$  – скорость изменения выходного напряжения.

Найдем коэффициент передачи делителя напряжения, составленного из резисторов  $R_1$  и  $R_2$  по выражению

$$k = \frac{U_{\text{диф.доп}}}{2 \cdot U_{\text{вых.м}}^+},$$

где  $U_{\text{диф.доп}}$  – дифференциальное допустимое напряжение,  $U_{\text{диф.доп}} = 10$  В.

Подставив численные значения параметров, получим

$$k = \frac{10}{2 \cdot 11} = 0,4545.$$

Коэффициент передачи делителя напряжения можно определить, как

$$k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Найдем отношение сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{k}{1 - k}.$$

Подставляя значение  $k$ , получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{0,4545}{1 - 0,4545} = 0,833.$$

Частота выходного сигнала мультивибратора определяется по уравнению

$$f = \frac{1}{2 \cdot \tau \cdot \ln \left( 1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2} \right)}, \quad (1)$$

где  $\tau = R_3 \cdot C_1$  – постоянная времени цепи заряда конденсатора  $C_1$ , с (рис. 2).

Из (1) найдем  $\tau$ :

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot f \cdot \ln \left( 1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2} \right)}.$$

Подставив численные значения параметров, получим

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot \ln (1 + 2 \cdot 0,833)} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Зная  $\tau$ , определим  $R_3$ , приняв значение конденсатора из стандартного ряда  $E24$  – 0,47 мкФ. Тогда

$$R_3 = \frac{\tau}{C_1}.$$

Подставив данные, получим

$$R_3 = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,47 \cdot 10^{-6}} = 10638 \text{ Ом}.$$

Из стандартного ряда значений  $E24$  выбираем  $R_3 = 11 \text{ кОм}$ .

Определим мощность и тип резистора  $R_3$ , предварительно определив ток, протекающий через сопротивление  $R_3$ :

$$I_3 = \frac{(1+k) \cdot U_{\text{ВЫХ.М}}^+}{R_3}.$$

С учетом численных значений параметров

$$I_3 = \frac{(1+0,4545) \cdot 11}{11000} = 0,001 \text{ А.}$$

Определим мощность  $R_3$

$$P_{R_3} = I_3^2 \cdot R_3$$

$$P_{R_3} = 0,001^2 \cdot 11000 = 0,023 \text{ Вт.}$$

Тогда тип резистора  $R_3$  – МЛТ – 0,025 – 11 кОм  $\pm 5\%$ .

Из условия ограничения выходного тока  $I_{\text{ВЫХ}}$  мультивибратора на допустимом уровне определим сумму сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ :

$$I_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ.М}}^+ \cdot \left( \frac{1}{R_{\text{Н}}} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1+k}{R_3} \right) \leq I_{\text{ВЫХ.ДОП}}. \quad (2)$$

Откуда

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{\frac{I_{\text{ВЫХ.ДОП}}}{U_{\text{ВЫХ.М}}^+} - \frac{1}{R_{\text{Н}}} - \frac{1+k}{R_3}}.$$

Подставив значения параметров, получим

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{11} - \frac{1}{62000} - \frac{1+0,4545}{11000}} = 12674 \text{ Ом.}$$

Для уменьшения протекающих токов увеличим сумму сопротивлений  $R_1 + R_2$  в 10 раз.

Значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  можно найти из системы уравнений

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 126740 \\ \frac{R_1}{R_2} = 0,833 \end{cases}. \quad (3)$$

Решив систему уравнений (3), получим, что  $R_1 = 57596 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 69143 \text{ Ом}$ .

С учетом ряда E24 принимаем  $R_1 = 62 \text{ кОм}$  и  $R_2 = 75 \text{ кОм}$ .

Найдем мощность резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , предварительно определив ток, протекающий через делитель напряжения  $R_1$  и  $R_2$ :

$$I_{\text{д}} = \frac{U_{\text{ВЫХ.М}}^+}{R_1 + R_2} = \frac{11}{62000 + 75000} = 7,3 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$$

Мощность резистора  $R_1$

$$P_{R_1} = (7,3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 62000 = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

Мощность  $R_2$

$$P_{R_2} = (7,3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 75000 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

С учетом найденных значений выбираем резисторы:  $R_1$  типа МЛТ – 0,01 – 62 кОм  $\pm 5\%$ ,  $R_2$  типа МЛТ – 0,01 – 75 кОм  $\pm 5\%$ .

Проверим правильность найденных параметров. Для этого аналитически определим максимальный ток и выходную частоту генератора и при помощи программы Electronics Workbench построим модель симметричного мультивибратора.

В соответствии с выражением (14)

$$f_{\text{пров}} = \frac{1}{2 \cdot 5,17 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(1 + 2 \cdot 0,827)} = 99,1 \text{ Гц.}$$

Подставляя в выражение

$$\Delta = \frac{f - f_{\text{пров}}}{f} \cdot 100\%$$

численные значения, определяем, что отличие найденной частоты от заданной частоты мультивибратора составляет 0,9 %. Это является приемлемым на практике.

Подставляя численные значения сопротивлений и коэффициента  $k$  в (2), вычисляем выходной ток операционного усилителя

$$I_{\text{ВЫХ}} = 11 \cdot \left( \frac{1}{62000} + \frac{1}{62000 + 75000} + \frac{1 + 0,4545}{11000} \right) = 1,71 \text{ мА.}$$

Полученное значение выходного тока меньше 2,5 мА, поэтому найденные параметры удовлетворяют условиям задания.

На рис.3 представлена схема имитационной модели симметричного мультивибратора, а на рис. 4 – диаграммы напряжений.

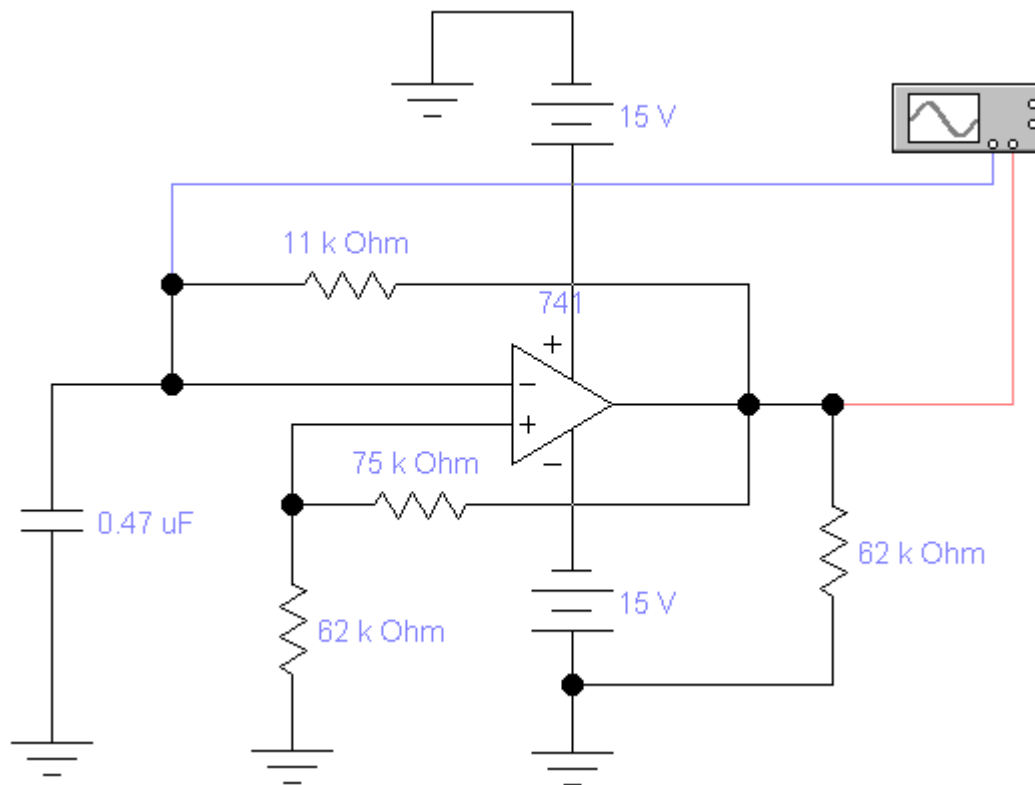


Рис. 3. Модель симметричного мультивибратора в программной среде Electronics Workbench

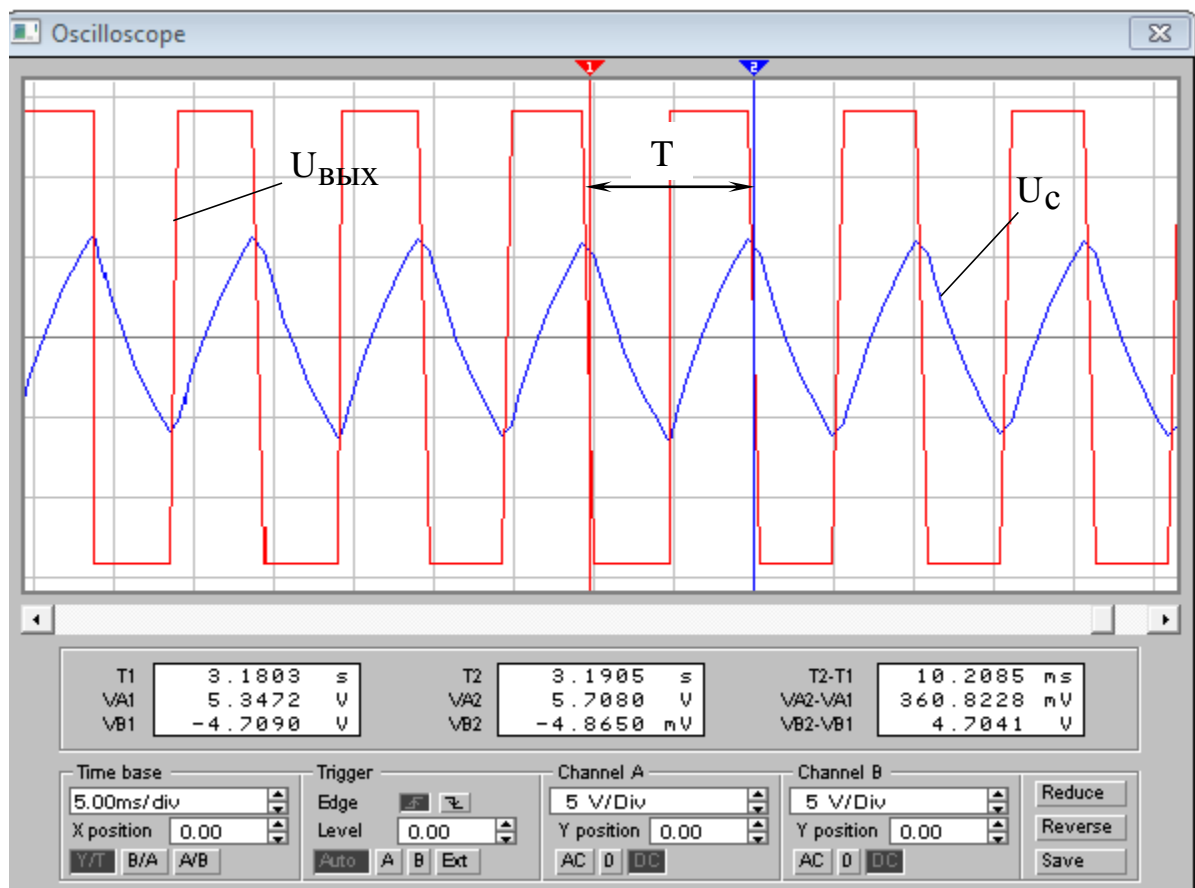


Рис. 4. Диаграммы выходного и емкостного напряжений мультивибратора

Частоту выходного сигнала определяем, как

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10,2085 \cdot 10^{-3}} \approx 98 \text{ Гц},$$

Полученное при моделировании значение частоты  $f$  свидетельствует о правильности найденных параметров мультивибратора.