

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

### Тема роботи. Розрахунок імпульсних пристроїв

**Мета роботи:** вивчення методів розрахунку параметрів елементів мультивібратора і одновібратора на операційному підсилювачі.

#### Теоретичні відомості

Імпульсними називають пристрої, які працюють не безперервно, а в переривчастому режимі, коли дія чередується з паузою, тривалість якої співмірна з тривалістю перехідних процесів (якщо тривалість неспівмірно більша, то процес вважається таким, що встановився).

Мультивібратори (МВ), або автоколебальні генератори прямокутних імпульсів – це пристрої, які здатні почергово знаходитися в двох тимчасово стійких (квазістійких) станах, в кожен із яких вони переходять автоматично за рахунок перехідних процесів, що відбуваються в схемі.

Мультивібратори, як і одновібратори можна реалізувати на дискретних елементах, логічних, інтегральних схемах та операційних підсилювачах.

Схеми на дискретних елементах широко використовують в цифровій апаратурі широкого призначення в складі стандартних комплексів інтегральних елементів.

Мультивібратор на операційному підсилювачі (ОП) – це генератор сигналів прямокутної форми, схема подана на рисунку 8.1.

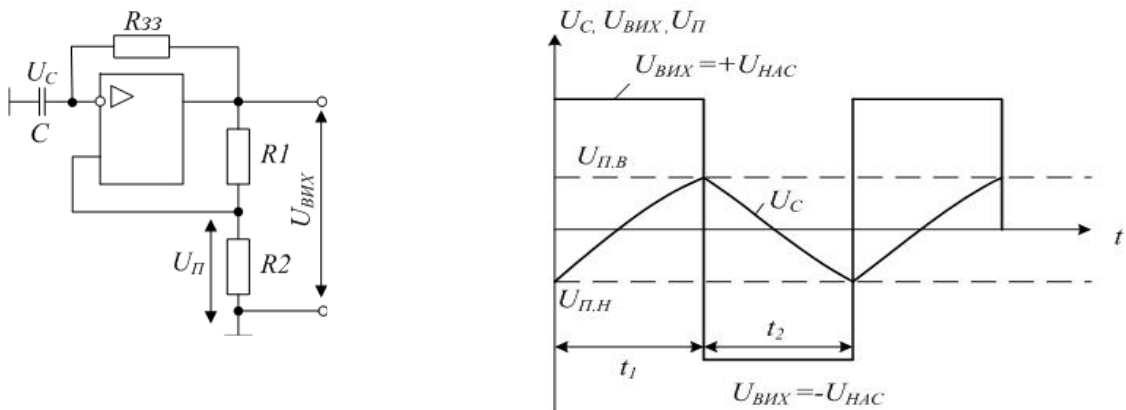


Рисунок 8.1 – Схема мультивібратора на операційному підсилювачі і часові діаграми його роботи

Принцип дії МВ, такий: резистори  $R_1$  і  $R_2$  створюють подільник напруги, частина вихідної напруги з якого подається зворотно на неінвертуючий вхід. За  $U_{ВИХ} = +U_{НАС}$  напруга зворотного зв'язку називається верхньою пороговою напругою і визначається за формулою:

$$U_{п.в} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+U_{НАС}) \quad (8.1)$$

Коли  $U_{ВИХ} = +U_{НАС}$ , тоді струм  $I$  через  $R_{33}$  заряджає конденсатор  $C$ . Заряд відбувається до того часу поки  $U_C \leq U_{п.в}$ , а на виході зберігається напруга  $+U_{НАС}$ . У момент заряду конденсатора до величини  $U_C$  дещо більшої за  $U_{п.в}$  напруга на інвертуючому вході стає позитивною по відношенню до напруги на неінвертуючому вході. Внаслідок цього схема переключиться і  $U_{ВИХ}$  змінюється від рівня  $+U_{НАС}$  до рівня  $-U_{НАС}$ . На неінвертуючому вході у цьому випадку буде підтримуватися від'ємний потенціал:

$$U_{п.н} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-U_{НАС}) \quad (8.2)$$

У момент переключення схеми у стан  $U_{ВИХ} = -U_{НАС}$  початкова напруга на конденсаторі рівна  $U_{п.в}$ , а струм, що проходить через конденсатор перезаряджатиме його до  $U_{п.н}$ . Коли  $U_C = U_{п.н}$  схема переключиться у стан  $U_{ВИХ} = +U_{НАС}$  і всі процеси повторяться заново.

Мультивібратор на ОП може працювати і в очікувальному режимі, що має назву одновібратора. У такому стані пристрій здатний почергово знаходитися в двох станах: довготривалому стійкому стані і короткочасному (квазістійкому) стані. Для переведення з стійкого стану у квазістійкий на вхід

схеми треба подати зовнішній запускаючий імпульс, після якого вона формує одне переключення, а потім постійно повертається в початковий стан.

Якщо використовувати тільки момент закінчення квазістійкого стану, який може мати регульовану довжину, довжина вихідного імпульсу, тобто визначить затримку вихідного сигналу за відношенням до фронту вхідного імпульсу і одновібратор працює як схема регульованої затримки сигналу.

Одновібратори широко використовуються в пристроях автоматики та системах управління різноманітних модифікацій. Вони можуть бути реалізовані на дискретних елементах, логічних мікросхемах або операційних підсилювачах, рисунок 8.2.

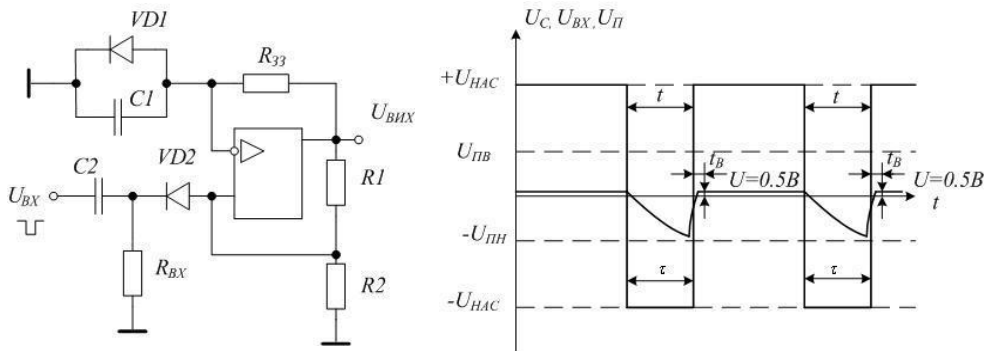


Рисунок 8.2 – Схема одновібратора на операційному підсилювачі і часові діаграми його роботи

Тривалість імпульсу одновібратора залежить тільки від зовнішніх елементів, підключених до ОП. Одновібратор спрацьовує за негативним фронтом вхідного імпульсу  $T_{BX}$ , тривалість якого може бути, більшою або меншою власної тривалості вихідного імпульсу одновібратора.

Розглянемо режими роботи одновібратора. На неінвертуючий вхід ОП з дільника  $R1$  і  $R2$  потрапляє напруга зворотного зв'язку  $U_{ПВ}$ , значення якої визначається рівнянням (8.1). Діод  $VD1$  фіксує на вході (-) позитивну напругу на рівні  $0,5B$  (рис.8.2). При цьому напруга на неінвертуючому вході позитивна за відношенням до напруги на інвертуючому вході і ОП підсилює цю диференційну вхідну напругу,  $U_{ВИХ} = +U_{НАС}$ . Якщо вхідний сигнал являє собою постійну напругу з встановленим значенням, то на неінвертуючому вході зберігається позитивний відносно інвертуючого входу потенціал:  $U_{ВИХ} = +U_{НАС}$ . Якщо ж  $E_{BX}$  стрибкоподібно стає негативною і приймає пікове значення  $E_{BX}$  і  $|E_{ВХПІК}| > U_{ПВ}$ , то напруга на неінвертуючому вході спадає нижче рівня напруги на інвертуючому вході. Вихід схеми переключиться  $U_{ВИХ} = -U_{НАС}$ , і переходить у режим очікування.

Режим очікування – нестійкий стан, у якому одновібратор не може довго перебувати. Розглянемо особливості цього режиму. З дільника  $R1$  і  $R2$  на неінвертуючий вхід потрапляє від'ємна напруга  $U_{ПВ}$ , схема переключиться в стан  $U_{ВИХ} = -U_{НАС}$ . Це момент закінчення циклу роботи одновібратора; вихідний імпульс закінчився і схема повернулася до стійкого стану. Діод  $VD2$  від'єднав коло запуску від одновібратора на час генерування імпульсу. Щоб отримати одновібратор, що генерує позитивний імпульс при збудженні позитивним вхідним сигналом, достатньо змінити полярність підключення діодів.

Для визначення тривалості імпульсу і часу відновлення скористаємося формулою для визначення часу переривання експоненційного процесу. За час генерування імпульсу напруга на конденсаторі  $C1$  змінюється від  $0,5B$  до  $U_{ПН}$  тоді:

$$t_{П} = C1R_{33} \ln \left( 1 + \frac{2R2}{R1} \right); \quad (8.3)$$

$$t_{ВІДН} = C1R_{33} \ln \left( 1 + \frac{R2}{R1 + R2} \right) \quad (8.4)$$

#### Основні формули та рівняння

Частота коливань автогенератора LC-типу:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_K}}, \quad (9.6)$$

де  $L_K$ ,  $C_K$  – індуктивність та ємність коливального контуру.

Частота коливань автогенератора RC-типу:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}, \quad (9.7)$$

де  $RC$  – параметри кола зворотного зв'язку.

Період коливань транзисторного мультівібратора:

$$T = t_1 + t_2 = 0,7(C_{B1}R_{B1} + C_{B2}R_{B2}), \quad (9.8)$$

де  $C_{B1}, C_{B2}$  – ємність конденсаторів в колах бази транзисторів,  
 $R_{B1}, R_{B2}$  – опори резисторів в колах бази транзисторів.

Тривалість імпульсів транзисторного мультівібратора (для одно-вібратора приймається лише  $t_1$ ):

$$t_1 = 0,7C_{B1}R_{B1}, \quad t_2 = 0,7C_{B2}R_{B2}, \quad (9.9)$$

Шпаруватість імпульсних сигналів:

$$Q = \frac{T}{t_i}, \quad (9.10)$$

де  $T$  – період слідування імпульсних сигналів,  $t_i$  – тривалість імпульсів.

Добротність коливального контуру:

$$D = \frac{Z_B}{r_K}, \quad (9.11)$$

де  $Z_B = \sqrt{L_K C_K}$  – хвильовий опір контуру,  $r_K$  – опір втрат контуру.

Резонансний опір паралельного коливального контуру:

$$Z_K = DZ_B. \quad (9.12)$$

### Практичне завдання

**Задача 8.1.** Розрахувати мультівібратор на операційному підсилювачі (ОП) в автоколивальному режимі (рис. 8.1). Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 8.1. Навести повну принципову схему розрахованого мультівібратора з урахуванням схем увімкнення ОП.

Таблиця 8.1- Вихідні дані для розрахунку задачі 8.1 і 8.2.

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
	Тип ОП	140 УД1А	140 УД1Б	140 УД2А	140 УД2Б	140 УД12	140 УД5	140 УД6	140 УД7	140 УД8	140 УД9
	$\beta$	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
	$t_i$ , мс	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
	$T$ , мс	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

У таблиці 8.1 наведені позначення:  $\beta$  - коефіцієнт порогової напруги

$U_{п} = \beta U_{нас}$ ;  $t_i$ , мс – тривалість імпульсів,  $T$ , мс – період повторення запуску імпульсів (для одновібратора).

Примітка. Вибір варіанту задачі здійснюється за двома останніми цифрами залікової книжки студента.

**Приклад 8.1.** Розрахувати мультівібратор на ОП в автоколивальному режимі при таких вихідних даних: тип ОП – 140УД8, значення порогової напруги  $U_{п} = 0,1U_{нас}$ , тривалість імпульсу  $t_i = 2$  мс.

**Розв'язування.** Визначаємо відношення опорів резисторів  $R1$  та  $R2$ :

$$R1 + R2 = (1...5)R_{н.мін} = (1...5)2000 = (2000...10000) \text{ Ом}$$

Величина  $R_{н.мін}$  вибирається згідно з типом ОП,  $R_{н.мін} = 2$  кОм (табл. Д13).

Сума опорів  $R1$  і  $R2$  повинна задовольняти співвідношення:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{U_{нас}}{U_{п}} - 1 = \frac{U_{нас}}{0,1U_{нас}} - 1 = 9$$

Тоді, за формулами (8.1 і 8.2) одержимо співвідношення:

$$10R2 = (2000...10000) \text{ Ом}, \text{ тоді } R2 = (200...1000) \text{ Ом}$$

Користуючись рядом стандартних значень опорів одержимо:

$$R2 = 220 \text{ Ом}, R1 = 9 \cdot 220 = 1980 \text{ Ом}, \text{ приймаємо } R1 = 2000 \text{ Ом}.$$

Розраховуємо величину опору зворотного зв'язку  $R_{33}$ :

$$5 R_{н.мін} \leq R_{33} \leq 100 \text{ кОм}, \quad (9.13)$$

$$5 \cdot 2 = 10 \text{ кОм} \leq R_{33} \leq 100 \text{ кОм}.$$

Наприклад вибираємо  $R_{33} = 33 \text{ кОм}$ .

Визначаємо ємність конденсатора  $C$ :

$$C \geq \frac{t_I}{R_{33} \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{33000 \ln\left(1 + \frac{2 \cdot 220}{2000}\right)} = 32,34 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Вибираємо стандартне значення  $C = 33 \text{ мкФ}$ .

Визначаємо протяжність фронту та спаду генерованих імпульсів:

$$t_\phi = t_C = \frac{U_{нас}}{V_{U_{max}}} = \frac{0,9U_{ж}}{V_{U_{max}}} = \frac{15 \cdot 0,9}{2,5} = 5,4 \text{ мкс}$$

де  $V_{U_{max}}$  – максимальна швидкість зростання вихідної напруги  $2,5 \text{ В/мкс}$ ,

$U_{ж} = U_{дж.н}$  – напруга живлення  $15 \text{ В}$ , згідно з типом ОП, таблиця Д.13.

**Задача 8.2.** Розрахувати мультивібратор на ОП в очікувальному режимі (рисунок 8.2). Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 8.1. Наведіть повну принципову схему розрахованого одновібратора з урахуванням схем ввімкнення ОП.

**Приклад 8.2.** Розрахувати мультивібратор на ОП в очікувальному режимі при таких вихідних даних: тип ОП – 140УД6, значення порогової напруги  $U_{II} = 0,1U_{нас}$ , довжина імпульсу  $t_I = 2 \text{ мс}$ , період повторення запускних імпульсів  $T = 60 \text{ мс}$ .

**Розв'язування.** Розрахунок величини опорів  $R_1$ ,  $R_2$  та опору зворотного зв'язку  $R_{33}$ , виконується як в попередньому прикладі,  $R_1 = 2000 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 220 \text{ Ом}$ ,  $R_{33} = 33 \text{ кОм}$ .

Визначаємо ємність конденсатора  $C_1$ :

$$C_1 \geq \frac{t_I}{R_{33} \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{33000 \ln\left(1 + \frac{220}{2000}\right)} = 62,34 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Вибираємо стандартне значення  $C_1 = 68 \text{ мкФ}$  (табл..Д1).

Визначається час відновлення схеми за формулою (8.4):

$$t_{ВДН} = C_1 R_{33} \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) = 68 \cdot 10^{-6} \cdot 33000 \ln\left(1 + \frac{220}{2000 + 220}\right) = 0,195 \text{ с}$$

Мінімальна величина довжини вхідних запускних імпульсів  $\tau_{min}$  визначається за формулою:

$$\tau_{min} = \frac{(1,1 \dots 1,5) U_{нас}}{V_{U_{max}}} = \frac{(1,1 \dots 1,5) \cdot 0,9 U_{ж}}{V_{U_{max}}} = \frac{(1,1 \dots 1,5) \cdot 15 \cdot 0,9}{2,5} = (5,94 \dots 8,1) \text{ мкс}$$

Нехай  $\tau_{min} = 7,5 \text{ мкс}$ .

Опір резистора  $R_{BX}$  вибирається з умови:

$$R_{BX} = (5 \div 10) R_2 = 1100 \div 2200 \text{ (Ом)}.$$

Вибираємо стандартне значення  $R_{BX} = 1,5 \text{ кОм}$ , табл.. Д1.

Значення ємності конденсатора  $C_{BX}$  розраховується за формулою:

$$C_{BX} = C_2 = \frac{(10 \dots 20) \tau_{min}}{R_{BX}} = \frac{(10 \dots 20) \cdot 7,5 \cdot 10^{-6}}{1500} = 50 \dots 100 \text{ нФ}$$

З ряду стандартних значень, табл.. Д1, вибираємо  $C_{BX} = 75 \text{ нФ}$ .

Діоди  $VD1$  і  $VD2$  потрібно вибрати імпульсні і високочастотні.