

Практичне заняття 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ІМПУЛЬСІВ

Мета заняття

1. Вивчення принципів побудови та особливостей функціонування генераторів імпульсів. Дослідження властивостей генератора напруги, що лінійно змінюється, впливу параметрів елементів схеми на вид та характеристики вихідних сигналів..

2. Прищеплення навичок побудови, налагоджування та експериментального дослідження функціонування генераторів імпульсів на операційних підсилювачах за допомогою програмного забезпечення Electronics Workbench.

Стислі теоретичні відомості

Генератором електричних коливань називається пристрій, що перетворює енергію джерела постійного струму в енергію змінного струму потрібної форми. В залежності від форми вихідної напруги розрізняють генератори гармонічних коливань та генератори негармонічних коливань (імпульсні або релаксаційні генератори).

Незалежно від форми вихідної напруги всі генератори можуть функціонувати в одному з двох режимів: режимі автоколивань (автогенератори); режимі запуску зовнішніми імпульсами (загальмовані або очікуючі генератори).

Принципи роботи мультівібратора, розглянуті на практичному занятті «Дослідження мультівібраторів» справедливі і для генераторів.

Мультівібратор (від латинського слова *multim* – багато та *vibro* – коливаю) – релаксаційний генератор імпульсів майже прямокутної форми, виконаний у вигляді підсилювального пристрою з ланцюгом позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ).

Зокрема, як підсилювач можна використовувати й операційний підсилювач (ОП). Схема мультівібратора на ОП наведена на рис. 1. У даному випадку ОП охоплений двома ланцюгами зворотного зв'язку:

позитивним зворотним зв'язком з коефіцієнтом передачі $b_{ПЗЗ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ та

негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) з $b_{НЗЗ} = \frac{1_2}{R \cdot R_C + 1}$

Розглянемо процеси, що відбуваються в схемі. Припустимо, що конденсатор C в момент часу t_0 , коли на схему було подано напругу живлення, знаходився в повністю розрядженому стані. Завдяки тому, що підсилювач охоплений ланцюгом ПЗЗ, а напруга на його вході, що інвертує дорівнює нулю, ОП з рівною імовірністю може встановитися в кожне з двох його максимально можливих напруг.

Допустимо, $u_{Вих1} = U_{Вих\ max}$. Тоді вхідна напруга ОП прийме значення $U_{ВхОП} = U_{Вх\ i} - U_{Вх\ n} = -b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max} < 0$, що підтвердить позитивну полярність його вихідної напруги. Після появи на виході ОП напруги позитивної полярності $U_{Вих\ max}$ починається процес заряду конденсатора C . Напруга на вході підсилювача, що інвертує, почне підвищуватися. Цей процес іде з постійного часу заряду $\tau = RC$ і супроводжується збільшенням вхідної напруги ОП. Отже, стан схеми буде квазістійким.

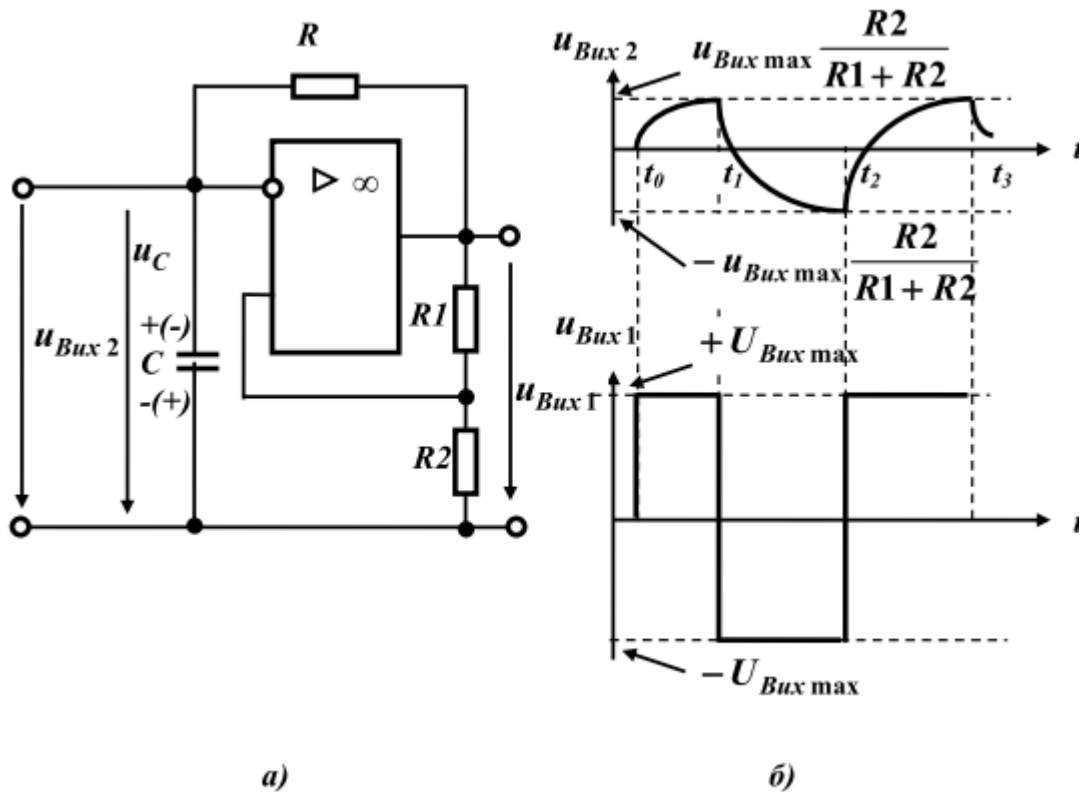


Рис. 1. Принцип роботи мультивібратора на ОП:
а) функціональна схема; б) часові діаграми роботи

У момент, коли напруга, що інвертує, на вході досягне значення $U_{Вх\ i} = b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$ (при цьому $U_{ВхОП} = 0$), вихідна напруга підсилювача змінить свою полярність, зменшившись до $u_{Вих1} = -U_{Вих\ max}$. Напруга на вході, що не

інвертує, зменшиться до $U_{Вх\ i} = -b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$, а вхідна напруга підсилювача збільшиться до $U_{ВхОП} = 2b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max} > 0$.

Новий стан схеми також буде квазістійким. Зміна полярності вихідної напруги ОП викличе перезаряд конденсатора С. Внаслідок цього з часом вхідна напруга підсилювача $U_{ВхОП}$ буде зменшуватися, і в момент, коли $U_{ВхОП} = 0$ ($U_{Вх\ i} = -b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$), відбудеться чергове перемикання схеми й процес повториться.

Таким чином, на виході ОП буде формуватися змінна напруга $u_{Вих1}$ прямокутної форми (рис. 1, б). Форма напруги на конденсаторі $u_{Вих2}$, яка складена з початкових ділянок експонентних процесів його перезаряду, буде наближатися до трикутного.

Із сказаного можна зробити два висновки:

- щодо вихідної напруги **ОП** ($u_{Вих1}$) схему можна розглядати як мультівібратор, який працює в режимі автоколивань;
- щодо напруги на конденсаторі **С** ($u_{Вих2}$) схема є генератором пилкоподібної напруги (напруги що лінійно змінюється).

Для визначення залежності частоти вихідної напруги розглянутої схеми від параметрів її елементів запишемо вираз для перезаряду конденсатора С :

$$u_C(t) = u_{C\ вільн} + u_{C\ змуш} = U_{C0} e^{-\frac{t}{RC}} + U_{Вих\ max} (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

де $u_{C\ вільн}$ й $u_{C\ змуш}$ – вільна й змушена складові процесу перезаряду конденсатора С;

U_{C0} – напруга на конденсаторі в початковий момент часу ($t = t_0$).

Відповідно до наведених часових діаграм маємо: для моменту t_1 $U_{C0} = b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$, для моменту часу t_2 – $U_C = b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$. Підставляючи ці значення напруг у вираз для $u_C(t)$ і розв'язуючи його відносно частоти вихідної напруги, знаходимо період і частоту коливань мультівібратора:

$$T = 2(t_2 - t_1) = 2RC \ln\left(1 + 2\frac{R1}{R2}\right),$$

$$f_0 = \frac{1}{2(t_2 - t_1)} = \frac{1}{2RC \ln\left(1 + 2\frac{R1}{R2}\right)}.$$

Як видно з отриманих виразів, для збільшення частоти вихідної напруги необхідно зменшувати як постійну часу ланцюга негативного зворотного зв'язку τ , так і коефіцієнт передачі ланцюга позитивного зворотного зв'язку ($b_{ПЗЗ}$). Останнє автоматично приводить до зменшення амплітуди вихідної напруги $u_{Вих2}$.

Отримані вирази справедливі для припущення що $U_{\text{Вих max}} = |-U_{\text{Вих max}}|$ період і значення $b_{\text{ПЗЗ}}$ і τ не залежать від полярності вихідної напруги. Як правило, в реальних ОП умова $U_{\text{Вих max}} = |-U_{\text{Вих max}}|$ не виконується. До того ж в ряді випадків необхідно мати або прямокутну напругу, для якої тривалість імпульсів не рівняється тривалості пауз, або трикутну напругу з різними за абсолютними величинами значеннями похідної на різних інтервалах.

Отримати такі результати можна шляхом відповідної зміни значень τ і $b_{\text{ПЗЗ}}$. В якості прикладу на рис. 2 а, б приведені схеми генераторів з різними для позитивних і негативних значень вихідної напруги ОП τ і $b_{\text{ПЗЗ}}$.

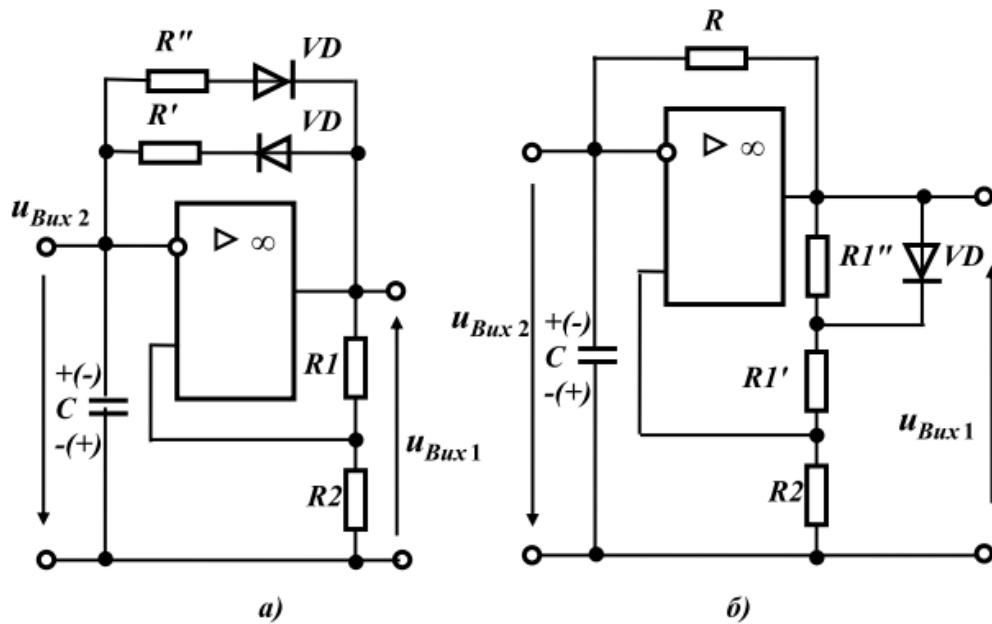


Рис. 2. Схеми генераторів на ОП зі змінними коефіцієнтами передачі ланцюга НЗЗ (а) та ПЗЗ (б)

Лінійнозмінною напругою називається напруга, яка протягом деякого часу змінюється за законом близьким до лінійного, а потім швидко повертається до початкового рівня. Іноді лінійнозмінну напругу називають пілоподібною напругою.

Основний спосіб формування лінійнозмінної напруги полягає в заряді конденсатора через резистор або струмостабілізуючий елемент, як показано на рис. 3.

При заряді конденсатора C від джерела напруги $E_{\text{жив}}$ через резистор R (рис. 3- а) робочою є початкова ділянка експоненціальної залежності u_C від t , яку приблизно можна вважати лінійною. Для швидкого розряду конденсатора застосовується ключ K .

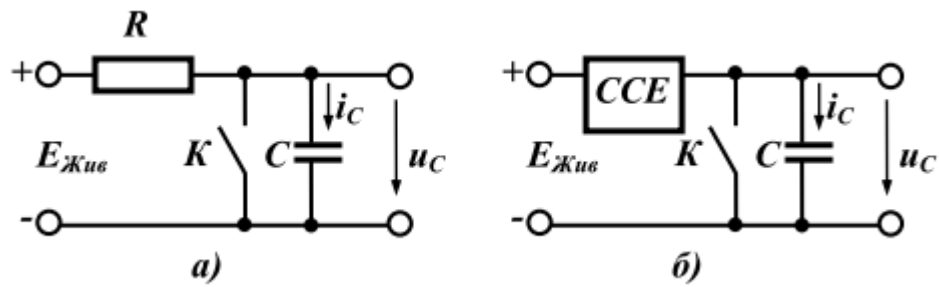


Рис. 3. Принцип формування лінійнозмінної напруги

При розімкненому ключі K формується прямий хід лінійнозмінної напруги тривалістю t_{np} , при замкненому – зворотний хід тривалістю $t_{звор}$. Залежно від заданого ступеня нелінійності амплітуда U_m може досягати значень $(0,3 \div 0,7) E_{Жив}$.

Розглянемо тепер схему із зарядом конденсатора через струмостабілізуючий елемент, показану на рис. 3-б. Оскільки напруга на конденсаторі C визначається виразом

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt,$$

то при стабілізації струму заряду конденсатора $i_c(t) = i_c = const$,

$$\text{отримаємо: } u_c(t) = \frac{i_c}{C} t.$$

Таким чином, при стабілізації струму заряду конденсатора C напруга на конденсаторі буде змінюватися за лінійним законом залежно від часу t .

Застосування інтеграторів на ОП забезпечує одержання вихідної напруги, пропорційної інтегралу від вхідної напруги. Отже, подавши на вхід інтегратора постійну напругу, одержимо на його виході лінійнозмінну напругу. На рис. 4 показана схема генератора лінійно-змінної напруги (ГЛЗН) з конденсатором C , ввімкненому в коло НЗЗ ОП. Часові діаграми роботи ГЛЗН показані на рис. 5.

Схема управляється імпульсами позитивної полярності, які, замикаючи діод VD , усувають шунтування інвертуючого входу на загальну шину джерела живлення на час тривалості імпульсу, протягом якого відбувається інтегрування вхідної напруги $+ E_{Жив}$.

Тобто діод виконує в схемі роль ключа (рис.3 б.). До речі, цю ж роль може виконувати і транзистор.

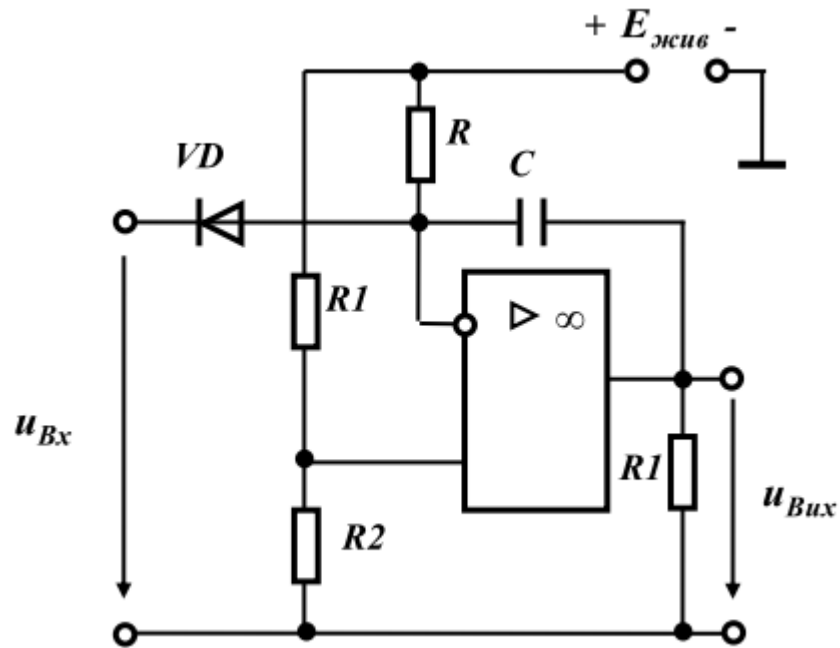


Рис. 4. Схеми ГЛНЗ на операційному підсилювачі

До подачі керуючого імпульсу ($t < t_1$) діод VD відкритий, тому напруга на інвертуючому вході ОП дорівнює падінню напруги на діоді: $U_{VDnD} = U^- \approx 0,3 \pm 0,4 \text{ В}$. Напруга на неінвертуючому вході ОП U^+ визначається дільником напруги на резисторах $R1$ і $R2$:

$$U^+ = E_{\text{жсив}} \frac{R2}{R1 + R2} \gg 0.$$

Значення опорів резисторів $R1$ і $R2$ вибираються таким чином, щоб при відсутності керуючого імпульсу виконувалася умова:

$u_{\text{Вих}} = + U_{\text{Вих max}}$ (ОП перебуває в режимі обмеження). Тому конденсатор C інтегратора заряджений до напруги $+ U_{\text{Вих max}}$.

Позитивний імпульс, впливаючи на вхід ГЛЗН у момент часу t_1 , закриває діод VD , напруга U трохи зростає, що приводить до невеликого стрибка напруги на виході. Потім конденсатор C починає розряджатися через резистор R і вихідний опір ОП. Ввімкнення конденсатора C в коло НЗЗ дозволяє стабілізувати струм розряду й підвищити лінійність вихідної напруги.

Якщо співвідношення між постійною часу розряду конденсатора τ й тривалістю прямого ходу t_{np} задовольняє рівнянню $\tau = RC \approx 0,5t_{np}$, то за час тривалості імпульсу конденсатор встигає повністю перезарядитися до напруги $- U_{\text{Вих max}}$.

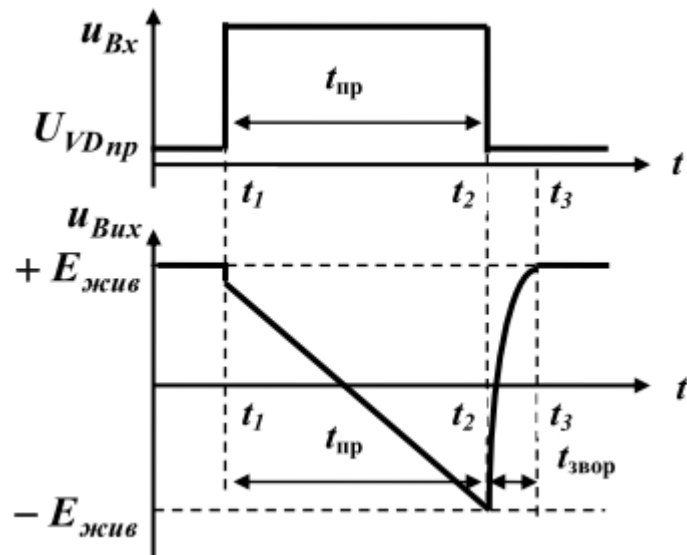


Рис. 5. Часові діаграми роботи ГЛЗН на ОП

Після закінчення керуючого імпульсу ($t = t_1$) діод **VD** відкривається, інвертуючий вхід шунтується опором відкритого діода **VD**, вихідна напруга **ОП** збільшується до значення $+ U_{Вух\ max}$, а конденсатор **C** швидко розряджається через відкритий діод **VD**. Схема повертається у початковий стан. Час відновлення схеми ГЛЗН:

$$t_{відн} \approx 5C(r_{VDnD} + R_{вихОП}),$$

де r_{VDnD} – опір відкритого діода **VD**; $R_{вихОП}$ – вихідний опір ОП.

Рекомендації щодо підготовки до практичного заняття

Лабораторне заняття передбачає наявність твердих знань теорії побудови та функціонування генераторів імпульсів, призначення всіх елементів схеми, їх вплив на характеристики вихідного сигналу.

Необхідно знати принципи функціонування генераторів напруги, що лінійно змінюється. Для успішного виконання лабораторного заняття також необхідні чіткі уявлення щодо впливу зміни параметрів елементів генератора на параметри його вихідних сигналів.

Питання для самоконтролю:

1. Пояснити основний принцип побудови генераторів.
2. Пояснити принцип отримання імпульсних сигналів з різною тривалістю імпульсів та періодом?
3. На чому базується формування імпульсів, що лінійно змінюються?

4. Пояснити роль ключа в генераторі напруги, що лінійно змінюється.

Програма практичного заняття

Відповідно до заданого варіанту (табл. 1) побудувати генератор напруги, що лінійно змінюється, на операційному підсилювачі.

Таблиця 1 Варіанти до виконання завдання

№ варіанту	C, мкФ	R ₁ , кОм	R ₂ , кОм	R ₃ , кОм
1	0,9	0,4	5	0,1
2	0,95	0,5	4	0,1
3	0,96	0,45	12	0,2
4	1	0,5	5	0,1
5	0,94	0,4	13	0,2
6	0,97	0,5	12	0,3
7	0,93	0,45	12	0,2
8	0,93	0,5	5	0,1
9	1	0,4	6	0,1
10	0,93	0,5	12	0,2
11	1	0,45	11	0,2
12	0,95	0,5	6	0,1
13	0,94	0,4	13	0,3
14	0,91	0,5	12	0,2
15	1	0,45	13	0,2
16	0,93	0,5	4	0,1
17	1	0,4	13	0,2
18	0,93	0,5	5	0,1
19	1	0,45	12	0,2
20	0,97	0,5	6	0,1
21	0,92	0,4	13	0,3
22	0,9	0,5	3	0,1
23	0,95	0,45	12	0,2
24	1	0,5	13	0,3
25	0,9	0,4	5	0,1
26	0,93	0,5	13	0,3
27	0,99	0,45	4	0,1

28	1	0,5	12	0,2
29	0,91	0,5	13	0,2
30	0,95	0,4	5	0,1

Зміст звіту

1. Результати моделювання роботи генератора напруги, що лінійно змінюється, на операційному підсилювачі з результатами теоретичного та експериментального визначення параметрів імпульсів вихідного сигналу.

2. Висновки, в яких відобразити результати досліджень, а також призначення та вплив елементів схеми на параметри вихідних сигналів.

Контрольні запитання

1. Дати визначення генератора.
2. Пояснити вплив елементів схеми на параметри імпульсів.
3. Дати характеристику автоколивальному мультивібратору.
4. Пояснити призначення та принцип роботи генератора напруги, що лінійно змінюється.
5. Розкрити характер впливу елементів схеми генератора напруги, що лінійно змінюється на параметри вихідного сигналу

Довідкові дані

Варіант виконання завдання

Приклад виконання завдання представлений на рис. 6.

Генератор вхідних сигналів та ключ, побудований на базі транзистору V , забезпечують запуск генератора. Джерело живлення та резистори $R2$ та $R3$ забезпечують максимальний рівень амплітуди вихідного сигналу операційного підсилювача при відсутності вхідного імпульсу, тобто операційний підсилювач знаходиться в режимі обмеження. Резистор $R1$ сумісно з джерелом живлення забезпечує режим перезаряду конденсатора, іншими словами, процес формування напруги, що лінійно змінюється.

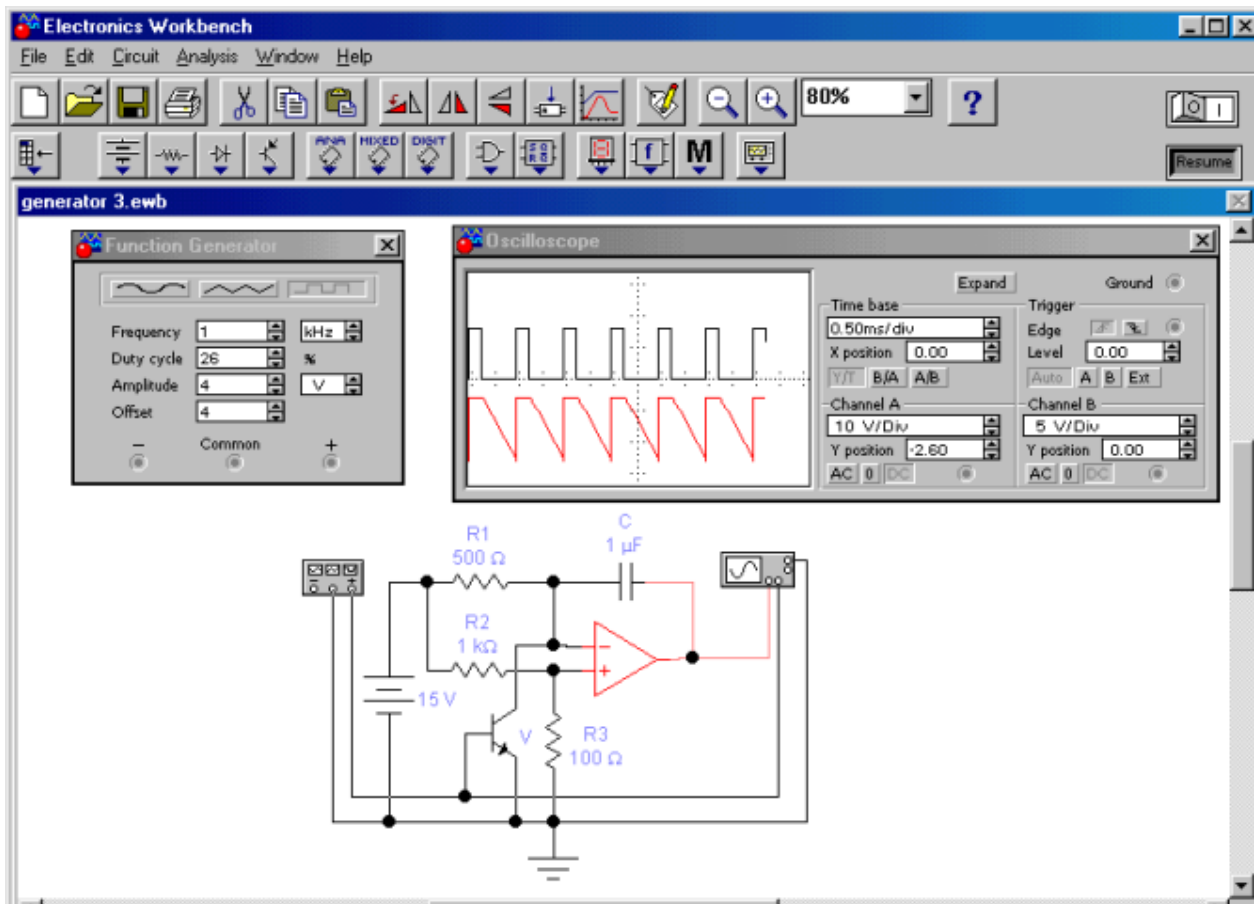


Рис. 6. Приклад виконання завдання

Робота з осцилографом у програмі Workbench наведена у вказівках до практичного заняття «Дослідження мультивібратора».

ДОДАТОК А

РЯДИ НОМІНАЛЬНИХ ОПОРІВ (ЄМНОСТЕЙ) ТА ЇХ ДОПУСКІВ

Номинальний опір (ємність) – значення опору резистора (ємності конденсатора), на які розрахований відповідний виріб і яке на ньому позначене або вказане у нормативній документації, що супроводжує його. Номинальні значення опорів (ємностей), які випускає вітчизняна промисловість та зарубіжні фірми, стандартизовані і зведені у сім рядів: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Для конденсаторів значної ємності (більш 1...10 мкФ) номінали можуть встановлюватись поза рядів E і залежати від типу конденсатора.

Ряди E являють собою десяткові ряди геометричної прогресії із знаменником прогресії, що дорівнює $q^{1/N}$, де N – номер ряду. Цифра після букви E (номер ряду) вказує кількість номінальних величин у кожному десятковому інтервалі. Наприклад, ряд E6 містить шість значень номінальних опорів (ємностей) у кожній декаді, які відповідають числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 або числам, які отримані шляхом ділення або множення цих чисел на 10^n , де n – ціле додатне або від’ємне число. Значення номінальних чисел для рядів, які найбільш використовуються, наведені у табл. А1.

Таблиця А.1.

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	1,0		3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
		1,2	1,2			3,9	3,9
			1,3				4,3
	1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
		1,8	1,8			5,6	5,6
			2,0				6,2
2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
			2,4				7,5
		2,7	2,7			8,2	8,2
			3,0				9,1

Фактичні значення опорів (ємностей) можуть відрізнятися від номінальних у межах допустимих відхилень. Ряд допустимих відхилень також нормований. Допуски на номінали опору наводяться у відсотках і обираються у відповідності з рядом:

$\pm 0,001$; $\pm 0,002$; $\pm 0,005$; $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 .

Для резисторів ряду E3 допуск $\pm 30\%$; E6 – $\pm 20\%$; E12 – $\pm 10\%$; E24 – $\pm 5\%$

Допуски на номінали ємностей конденсаторів вказуються у відсотках і обираються із ряду:

$\pm 0,1; \pm 0,25; \pm 0,5; \pm 1; \pm 2; \pm 10; \pm 20; \pm 30; 0 + 50;$
 $-10 + 30; -10 + 50; -10 + 100; -20 + 50; -20 + 80.$

Величина допуску, яка використовується, визначається не лише рядом номіналів (рядом E), а також і типом конденсатора. Для конденсаторів із номінальними ємностями нижче 10 пФ відхилення, які допускаються, вказуються у абсолютних значеннях: $\pm 0,1; \pm 0,25; \pm 0,5$ та ± 1 пФ.