

УДК 0053.08 (002.21)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ТАРАСА ГРИГОРОВИЧА ШЕВЧЕНКА  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

# ЗВІТ

до лабораторної роботи №7:  
«Операційні підсилювачі з позитивним зворотним зв'язком»

Месюра М. С.

Київ, 2021

## **РЕФЕРАТ**

Звіт до ЛР №6: 11 с., 4 рис., 2 джерела.

**ОСЦИЛОГРАФ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВАХ, LTSPICE, КОМПАРАТОР**

Об'єкт дослідження — ОП, їхні ВАХ.

Мета роботи — ознайомитися з властивостями схем на операційних підсилювачах (ОП), охоплених позитивним зворотним зв'язком, опанувати способи генерації електричних сигналів за допомогою схем з ОП.

Змодельовано генератори: релаксаційний та гармонічних коливань. Використано математичне моделювання. Оброблено отримані результати.

## ЗМІСТ

Частина 1. Теоретичні відомості.	с.
I. Основні означення.....	4
II. Аналогові компаратори. Тригер Шмідта.....	5
Частина 2. Виконання роботи.	
I. Релаксаційний генератор	
1. Схема.....	6
2. ВАХ.....	7
II. Генератор гармонічних коливань	
1. Схема.....	8
2. ВАХ.....	9
Висновки.....	10
Джерела.....	11

## Частина 1. Теоретичні відомості.

### I. Основні означення.

**Компаратор** — це електронний пристрій порівняння двох аналогових сигналів:  $U_{in_1}$  та  $U_{in_2}$ . При цьому на виході схеми формуються тільки два значення вихідного сигналу:

- а) напруга на виході максимальна ( $U_{out} = U_{max}$ ), якщо різниця напруг між вхідними сигналами є додатньою ( $U_{in_1} - U_{in_2} > 0$ );
- б) напруга на виході мінімальна ( $U_{out} = U_{min}$ ), якщо різниця напруг між вхідними сигналами є від'ємною ( $U_{in_1} - U_{in_2} < 0$ ).

**Передавальна характеристика компаратора** — залежність вихідної напруги компаратора від напруги на його вході.

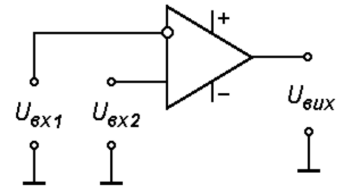
**Рівень включення (виключення) компаратора** — значення напруги на вході компаратора  $U_{in} = U_{on}$ , при якій вихідна напруга  $U_{out}$  змінює своє значення від мінімального  $U_{min}$  до максимального  $U_{max}$  (при включенні); при виключенні  $U_{in} = U_{off}$  і вихідна напруга змінюється від  $U_{max}$  до  $U_{min}$ .

**Гістерезисний компаратор (тригер Шміта)** — це електронний пристрій порівняння, у якого передавальна характеристика є неоднозначною, тобто рівні включення і виключення не збігаються (на відміну від звичайного компаратора), а відрізняються на величину, яку називають гістерезисом переключення.

**Генератори** — це електронні пристрої, які формують на виході змінну напругу потрібної форми. На відміну від підсилювачів, у таких пристроїв немає входу. Їх вихідний сигнал з'являється у відповідь на підключення до них джерела живлення. Форма генерованої напруги може бути різноманітною: гармонічною, прямокутною, пилкоподібною або будь-якою іншою.

## II. Аналогові компаратори. Тригер Шмідта.

Особливістю аналогових компараторів на основі операційних підсилювачів (ОП) є те, що їх можна використовувати без зворотного зв'язку. На рисунку наведено схему однопорогового компаратора. При зміні знаку різниці вхідних напруг (наприклад, коли напруга  $U_{out2}$  стає більшою за  $U_{in1}$ ) вихідна напруга стрибком змінюється від свого найменшого значення  $U_{min}$  (яке є ні чим іншим як напругою

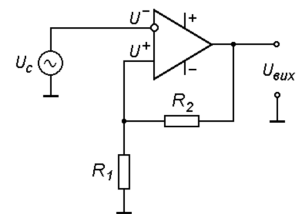


насичення  $U_{НАС}^-$  до  $U_{max}$  (напруги насичення  $U_{НАС}^+$ ). Звичайно, вихідна напруга не може миттєво перейти із одного стану в інший. Для стандартного ОП величина швидкості наростання вихідної напруги обмежена і становить близько 1 В/мкс. Отже для переходу від рівня  $U_{min} = -12$  В до  $U_{max} = +12$  В потрібен час  $\sim 24$  мкс. Внаслідок скінченності часу виходу ОП зі стану насичення ця затримка у часі переключення компаратора буде ще більшою.

Можна сказати, що вхідний сигнал компаратора має аналоговий характер, а вихідний – цифровий. Внаслідок цього компаратори часто виконують роль елементів зв'язку між аналоговими та цифровими пристроями.

Ми вже знаємо, що у схемі з ОП, охопленим негативним зворотним зв'язком, за відсутності вхідного сигналу будь-яка флуктуація напруги на вході, підсилена операційним підсилювачем на виході, пригнічується ланкою негативного зворотного зв'язку, тобто сама себе послаблює.

Сконструємо ланку позитивного зворотного зв'язку, подавши сигнал з виходу операційного підсилювача на його неінвертувальний вхід за допомогою подільника напруги  $R_1, R_2$ . При цьому коефіцієнт зворотного зв'язку  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ . Якщо  $K_0 \cdot \beta > 1$ , то флуктуація



сама себе підсилюватиме і амплітуда на виході зростатиме. Врешті-решт на виході встановиться напруга, що дорівнює напрузі насичення ОП (негативній чи позитивній, в залежності від полярності початкової флуктуації). Процес встановлення відбувається достатньо швидко або, як кажуть, лавиноподібно (для більшості реальних інтегральних ОП – від десятків мікросекунд до долей мікросекунди).

На неінвертувальному вході при цьому встановиться напруга  $U^+$ , рівна  $U^+ = U_{out} \cdot \beta$ . Припустимо, що в момент включення на виході встановилася напруга насичення позитивної полярності (наприклад, +12 В), а резистори подільника ланки зворотного зв'язку мають однаковий опір (наприклад, по 10 кОм). Тоді  $\beta = 0.5$  і  $U^+ = +6$  В.

## Частина 2. Виконання роботи.

### I. Релаксаційний генератор.

#### 1. Схема.

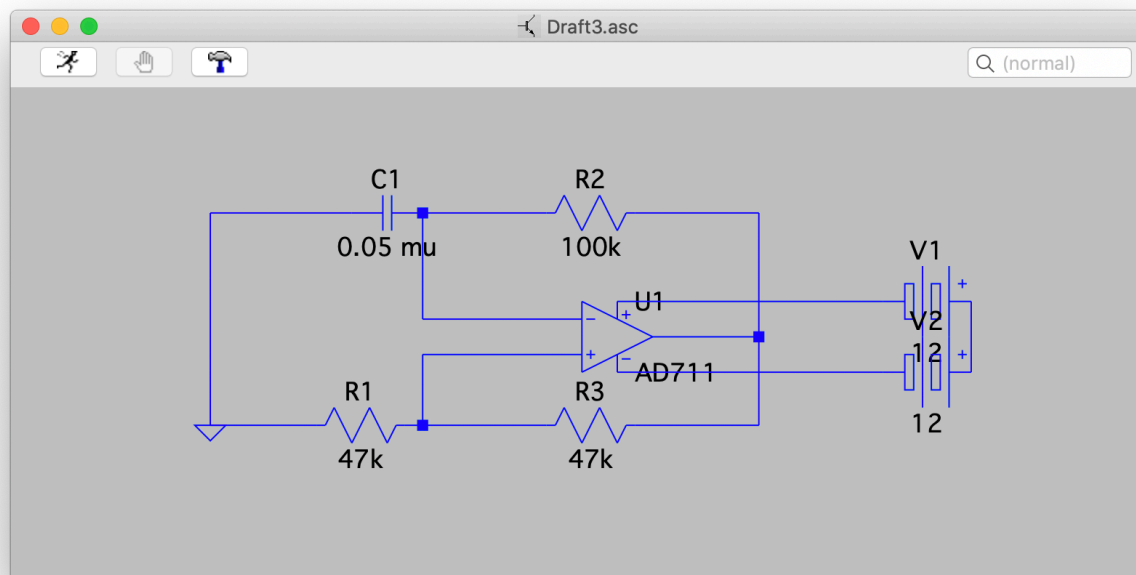


Рис. 1. Схема

2. Вхідна та вихідна напруга.

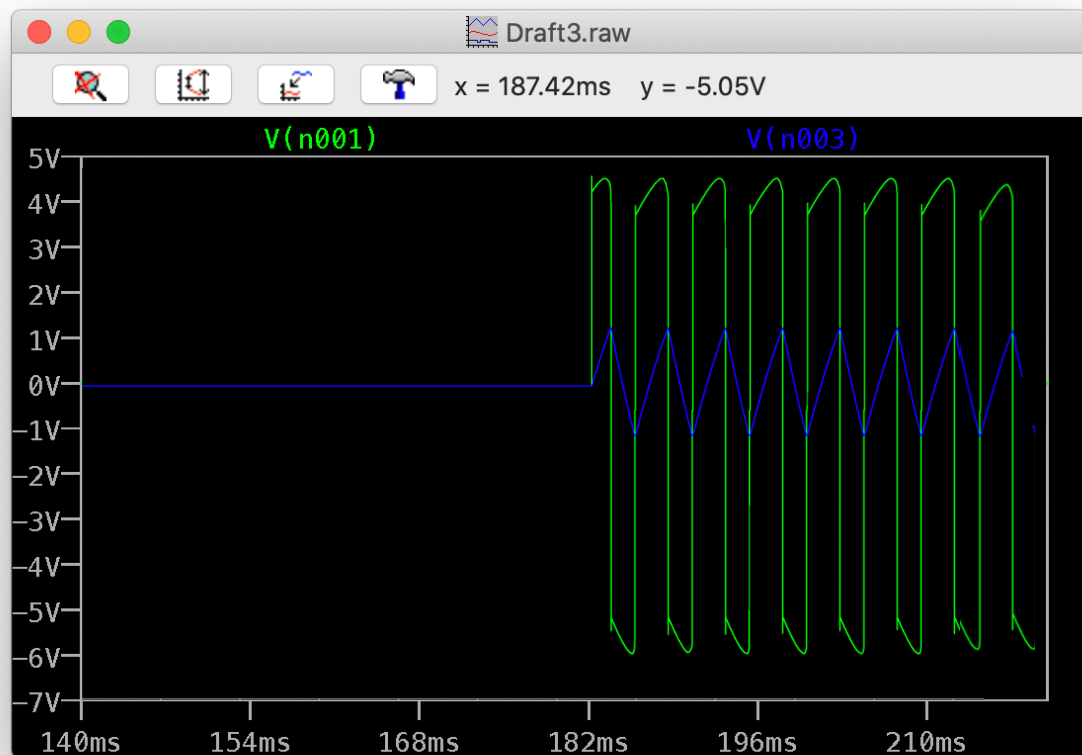


Рис. 2.  $U_{in}(t)$ ,  $U_{out}(t)$

## II. Генератор гармонічних коливань.

### 1. Схема.

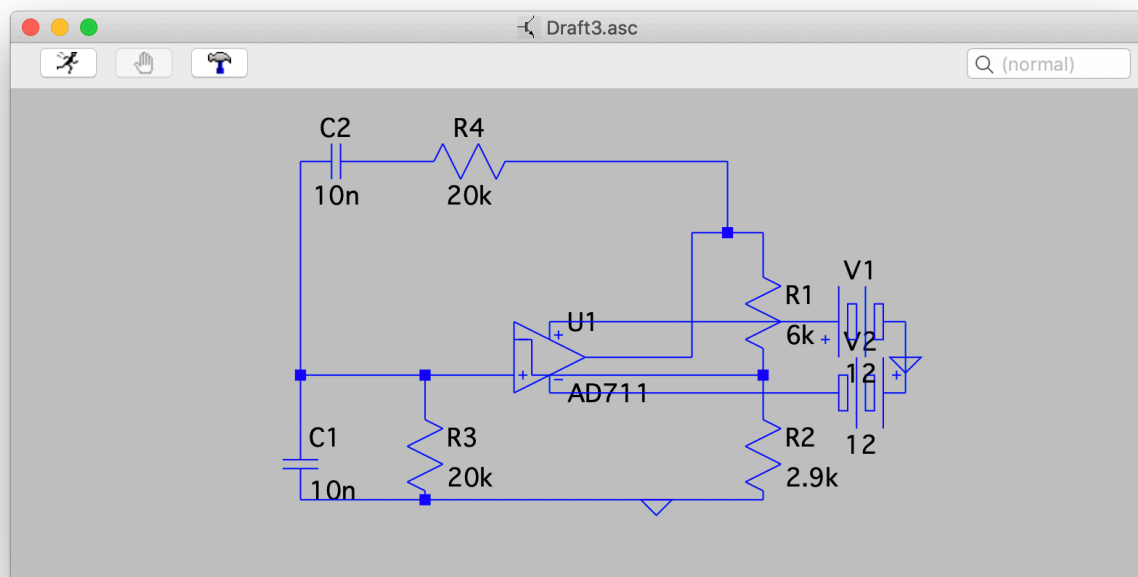


Рис. 3. Схема



2. Вхідна та вихідна напруга.

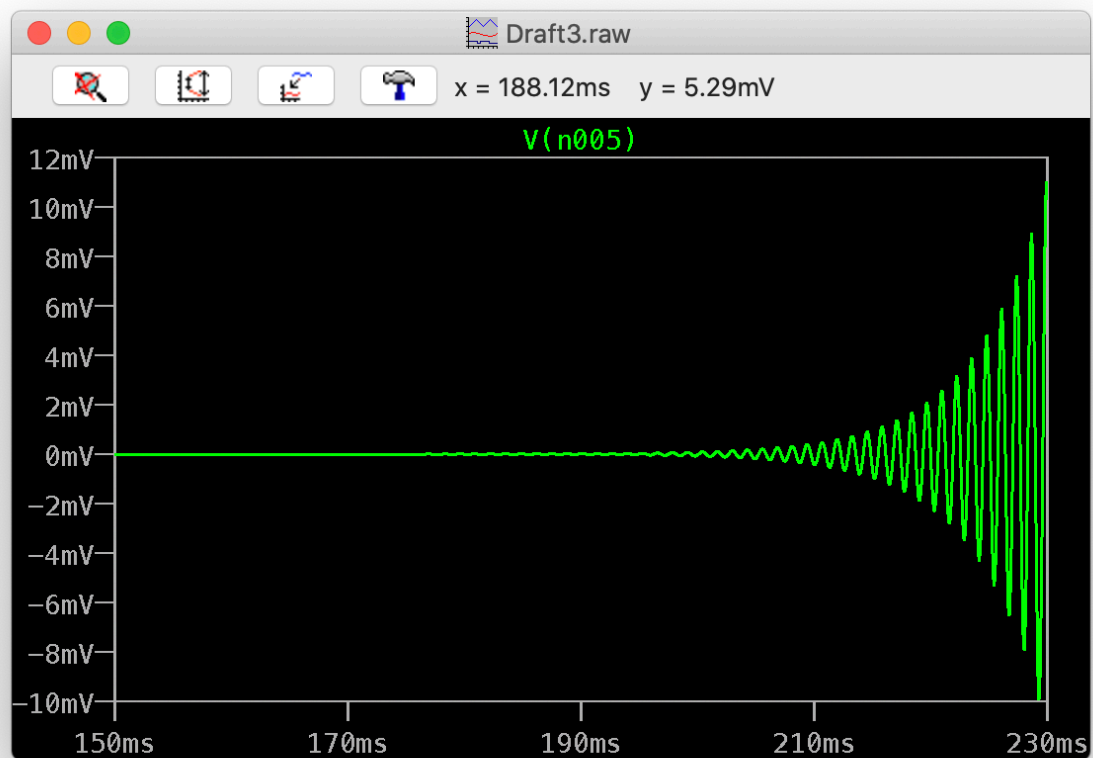


Рис. 4.  $U_{in}(t)$ ,  $U_{out}(t)$

**Висновок:** за допомогою даної лабораторної роботи вдалось дослідити вхідну та вихідну напругу операційних підсилювачів. При дослідженні використовувались два типи генераторів на базі ОП: релаксаційний та гармонічних коливань.

Усі покази отримано за допомогою комп'ютерного моделювання у програмі LTspice ® та за допомогою її вбудованих можливостей Waveform Data.

### Використані джерела:

Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк, Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.

Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян "Вивчення радіоелектронних схем методом комп'ютерного моделювання" : Методичне видання. – К.: 2006.- с.