

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Фізичний факультет

Основи електроніки

## ЗВІТ ПО ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ №7

### ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ З ПОЗИТИВНИМ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

Роботу виконала

Гордєєва Софія

студентка 2 курсу

5-Б групи

Фізичного факультету

Київського національного

університету

імені Тараса Шевченка

Київ 2021

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1. Мета роботи
2. Методи вимірювання

### РОЗДІЛ 1. Теоретичні відомості

### РОЗДІЛ 2 Практична частина

- 2.1. Генератор прямокутних імпульсів
- 2.2. Генератор гармонічних коливань

### ВИСНОВКИ

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ВСТУП

### 1. 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.

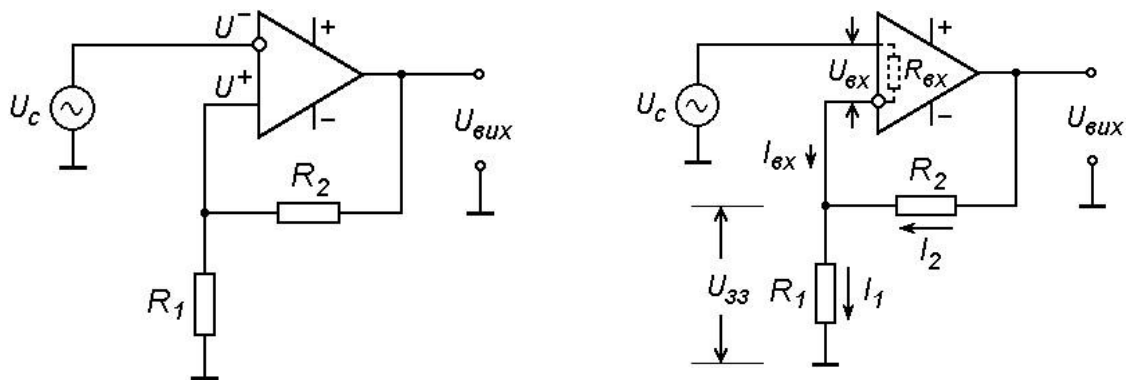
### 2. Методи вимірювання

Метод співставлення: одночасне спостереження вхідного та вихідного сигналів на екрані двоканального осцилографа із наступним вимірюванням і порівнянням їх параметрів.

## РОЗДІЛ 1

### Теоретичні відомості

1. У чому полягає відмінність позитивного зворотного зв'язку в схемах на операційних підсилювачах від негативного? Чому дорівнює вихідна напруга ОП з ланкою позитивного зворотного зв'язку за відсутності вхідного сигналу? За який час встановлюється стаціонарне значення вихідної напруги?



(позитивний зворотній зв'язок), (негативний зворотній зв'язок)

При конструюванні ланки *позитивного зворотного зв'язку*, подаючи сигнал з виходу операційного підсилювача на його неінвертувальний вхід за допомогою подільника напруги  $R_1$ ,  $R_2$ , отримуємо коефіцієнт зворотного зв'язку  $\beta = R_1/(R_1 + R_2)$ .

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.

Якщо подавати на інвертувальний вхід ОП зовнішній додатний сигнал  $U^- = U_c$  і збільшувати його, то можемо спостерігати за поведінкою вихідної напруги  $U_{вих}$ . Поки напруга  $U_c$  на інвертувальному вході менша за +6 В, різниця напруг ( $U^+ - U^-$ ) залишається додатною, як і  $U_{вих}$ , яка зберігається рівною напрузі насичення завдяки позитивному зворотному зв'язку. Як тільки  $U^-$  перевищить величину  $U_{викл} = U_{вих} \cdot \beta = +6$  В, підсилена операційним підсилювачем диференціальна напруга ( $U^+ - U^-$ ) почне зменшувати напругу на виході, а ланка позитивного зворотного

зв'язку довершить лавиноподібний процес переходу  $U_{вих}$  в інший стабільний стан, який визначається величиною  $U_{вих} = U_{min} = -12$  В. При цьому напруга на неінвертувальному вході також змінить свій знак і стане рівною  $U_+ = -6$  В. Подальше підвищення вхідної напруги не змінюватиме результат на виході.

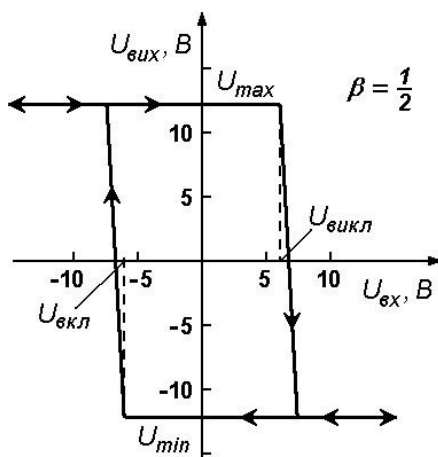
## 2. Принцип роботи тригера Шміта. Чому виникає гістерезис? Як можна змінити ширину петлі гістерезису?

Найпростіший тригер називається *тригером Шміта*. Пристрій, який має два стабільних стани у відповідь на зміну вхідного сигналу називають *тригером*. За відсутності зовнішнього впливу тригер може перебувати у кожному з двох стабільних станів нескінченно довго, тобто він являє собою *бістабільний елемент*. Перехід з одного стабільного стану в інший буде відбуватися лише під дією зовнішнього збурення.

Якщо зменшувати напругу сигналу, то вихідна напруга залишатиметься незмінною до тих пір, поки  $U_c$ , перейшовши через нуль, не перевищить за абсолютним значенням величину

$$U_{вкл} = -|U_{вих} \cdot \beta| = -6 \text{ В},$$

яка утримувалася на неінвертувальному вході завдяки незмінності вихідної напруги. В результаті такого перевищення вхідна диференціальна напруга ( $U^+ - U^-$ ) стане додатною, що призведе до чергового лавиноподібного переходу вихідної напруги до додатного значення  $U_{вих} = U_{max} = +12$  В.



Описана вище поведінка такого пристрою з ланкою позитивного зворотного зв'язку (залежність від часу вхідної і вихідної напруг, а також передавальна характеристика), де стрілкою вздовж кривої показано напрямок зміни вихідної напруги при відповідній зміні вхідної. Видно, що зображена залежність є неоднозначною і величина вихідної напруги

залежить від попередньої “історії”, тобто від того, якою була напруга поданого на вхід сигналу. Кажуть, що має місце *гістерезис*, а криву називають *петлею гістерезису*. Наявність неоднозначності, або гістерезису, є невід’ємною рисою будь-якого пристрою, який містить ланку позитивного зворотного зв’язку (ПЗЗ).

Ширина петлі гістерезису визначається рівнем  $U^+$  на неінвертувальному вході ОП, який, у свою чергу, залежить від коефіцієнта зворотного зв’язку  $\beta$ . Чим менше  $\beta$ , тим вужча петля гістерезису. Якщо  $\beta = 0$ , що відповідає відсутності будь-якого зворотного зв’язку, то крива перетворюється на однозначну функцію.

3. Принцип роботи генератора прямокутних імпульсів (мультивібратора). За яких умов імпульси вихідної напруги будуть не прямокутними, а трапецієподібними?

Для того щоб побудувати генератор електричних сигналів прямокутної форми, потрібно до тригера Шміта додати частотно залежну ланку негативного зворотного зв’язку. Стала часу ланки  $\tau = RC$  перевищує час лавиноподібного переходу тригера з одного стабільного стану в інший. Отже при включенні живлення початкова флуктуація завдяки дії ланки ПЗЗ лавиноподібно переводить ОП в насичення, тобто в один із стабільних станів.

4. Поясніть принцип роботи схеми мультивібратора з регулюванням частоти прямування та прогальності імпульсів.

Напруга  $U_{вих} = U_{тах} = +12\text{В}$  починає через резистор  $R$  заряджати конденсатор  $C$  таким чином, що на обкладинці конденсатора, з’єднаній з інвертувальним входом, зростає додатна напруга. Зростання продовжується до тих пір, поки не буде перевищено значення напруги, яка встановилася на неінвертувальному вході. В цей момент схема “перекидається” і вихідна напруга лавиноподібно досягає значення

$$U_{вих} = U_{мін} = -12\text{ В}.$$

Тепер ця напруга починає перезаряджати конденсатор від'ємним струмом до тих пір, поки напруга на інвертувальному вході ОП не досягне від'ємної величини, рівної напрузі на неінвертувальному вході ОП. Схема знову переходить у новий стан, який веде до нового процесу перезарядки конденсатора.

Таким чином, описана схема, яку називають *мультивібратором*, не має стабільних станів, а періодично змінює вихідну напругу від максимальної додатної до максимальної від'ємної і навпаки з періодом, який визначається швидкістю перезарядки конденсатора

$$\text{від } U_{\text{вкл}} = +\beta \cdot U_{\text{вих}} \quad \text{до } U_{\text{вкл}} = -|\beta \cdot U_{\text{вих}}|$$

за експоненціальним законом. Період  $T$  послідовності прямокутного періодичного сигналу залежить від  $R1$ ,  $R2$ ,  $R$  і  $C$ :

$$T = 2RC \cdot \ln[(1+\beta)/(1-\beta)],$$

де  $\beta = R1/(R1+R2)$ .

Якщо  $R1 = R2$ , то

$$T = 2RC \cdot \ln[1+(2R1/R2)] \approx 2,2RC.$$

5. Принцип роботи генератора гармонічних коливань на ОП. Яким чином забезпечується обмеження амплітуди коливань? Для чого в схемі генератора використовується лампа розжарення? Чому дорівнює частота коливань такого генератора?

Генератор гармонічних коливань, який ще називають *мостовим генератором Віна-Робсона*. До ланки ПЗЗ операційного підсилювача включено смуговий фільтр, нульовий зсув фаз у якому реалізується на частоті максимуму коефіцієнта передачі. Генерація, природно, буде розвиватися на цій частоті.

При підключенні схеми до джерела живлення амплітуда коливань вихідної напруги на цій частоті починає зростати. Бажано, щоб амплітуда синусоїдних коливань була стабільною. Зупинити зростання амплітуди

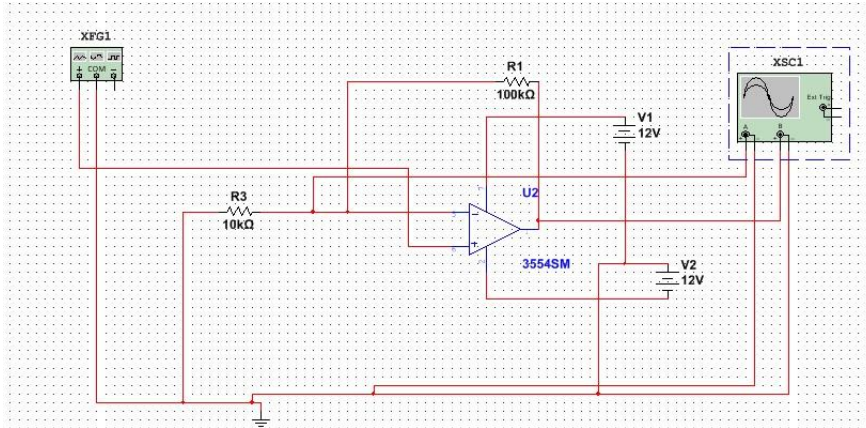
можна лише в тому випадку, коли підсилення в ланці ПЗЗ буде точно скомпенсоване втратами в ланці НЗЗ, що відповідає умові  $K_0 \cdot \beta = 1$ . Якщо в цій схемі опори резисторів і ємності конденсаторів взяти однаковими, то повинна точно виконуватися рівність  $K_0 = +3,0$ . Здійснити це можна введенням негативного ЗЗ з  $\beta = 1/3$ . Однак, точно підтримувати  $K_0$  на заданому рівні практично неможливо хоча б внаслідок флуктуацій температури. Тому в ланку ПЗЗ вводиться нелінійний елемент (лампочка розжарення маленької потужності), який автоматично підтримує потрібний коефіцієнт підсилення за рахунок того, що його опір залежить від рівня амплітуди вихідної напруги. При підвищенні рівня вихідного сигналу нитка лампи нагрівається, коефіцієнт неінвертувального підсилення зменшується. При цьому необхідно, щоб зміна опору нелінійного елемента відбувалася дуже повільно порівняно з періодом генерованої синусоїди. В протилежному випадку швидкодійний ПЗЗ спотворить генеровану синусоїдну напругу, намагаючись регулювати амплітуду протягом одного періоду. В даному випадку лампочка – достатньо інерційний елемент. Спотворення генерованого синусоїдного сигналу будуть тим меншими, чим більшим буде час встановлення його рівноважної амплітуди.



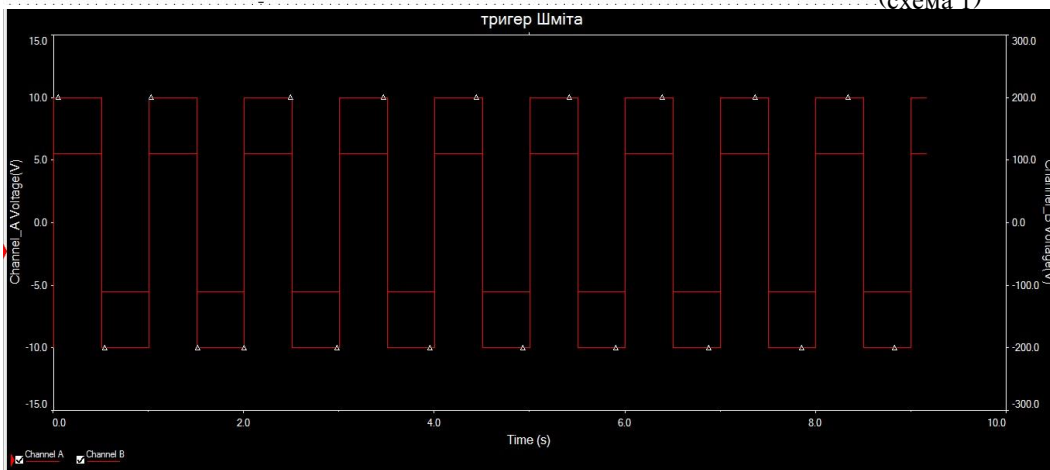
## РОЗДІЛ 2

### Практична частина

#### 2.1. Генератор прямокутних імпульсів



(схема 1)



Теоретично:

$$U_{max} = 109,98 \times 10^{-3} B$$

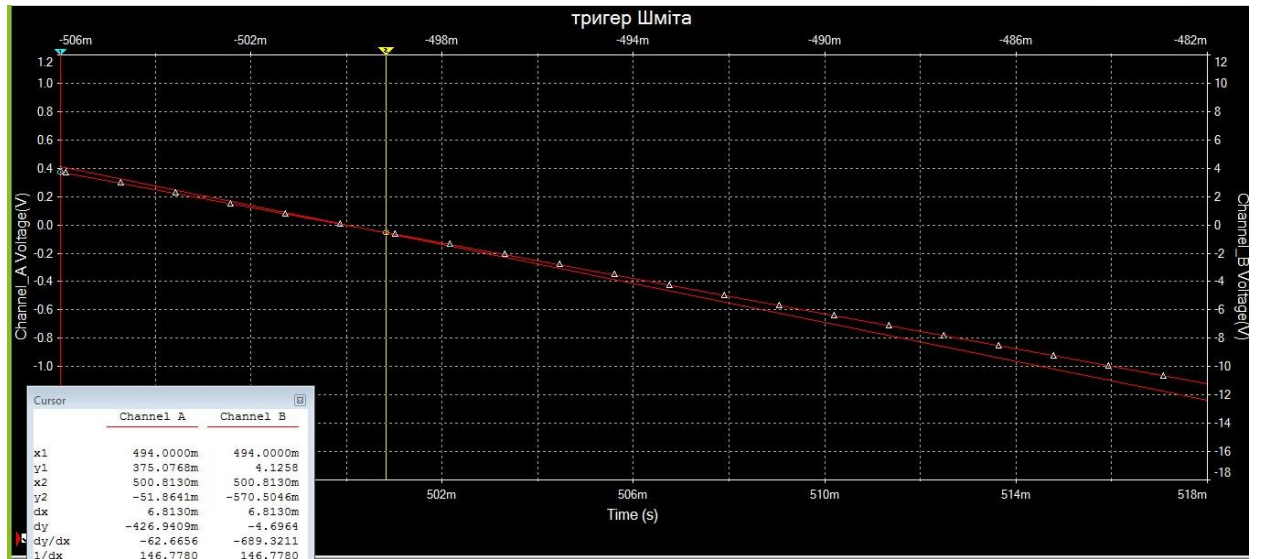
$$U_{min} = -109,98 \times 10^{-3} B$$

$$U_{вкл} = U_{min} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 99,9 \times 10^{-3} B$$

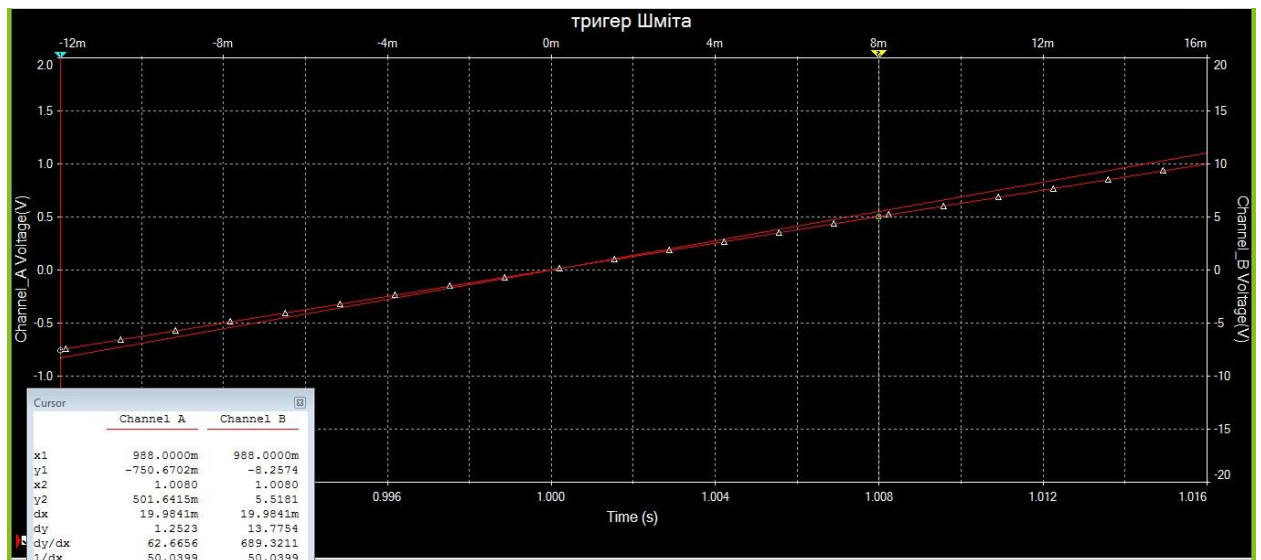
$$U_{викл} = U_{max} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 99,98 \times 10^{-3} B$$

$$\text{Ширина петлі гістерезису} = (U_{max} - U_{min}) * R_1 / (R_1 + R_2) = 0,2.$$

Експериментально:



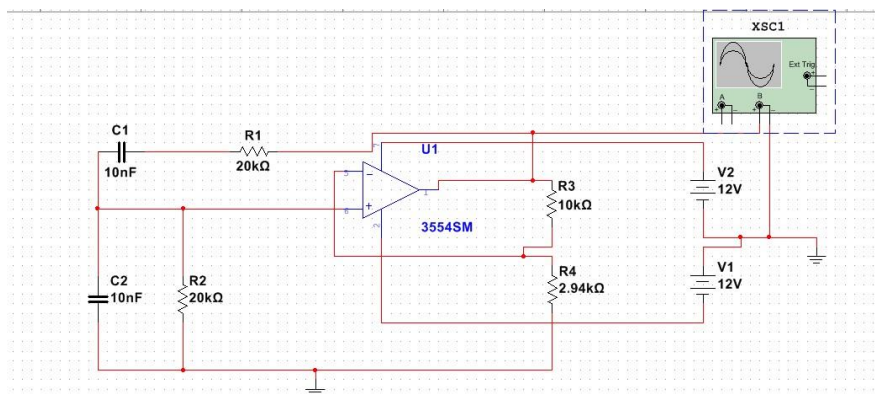
$$U_{\text{вкл.}} = -51,8 \cdot 10^{-3} \text{V}$$



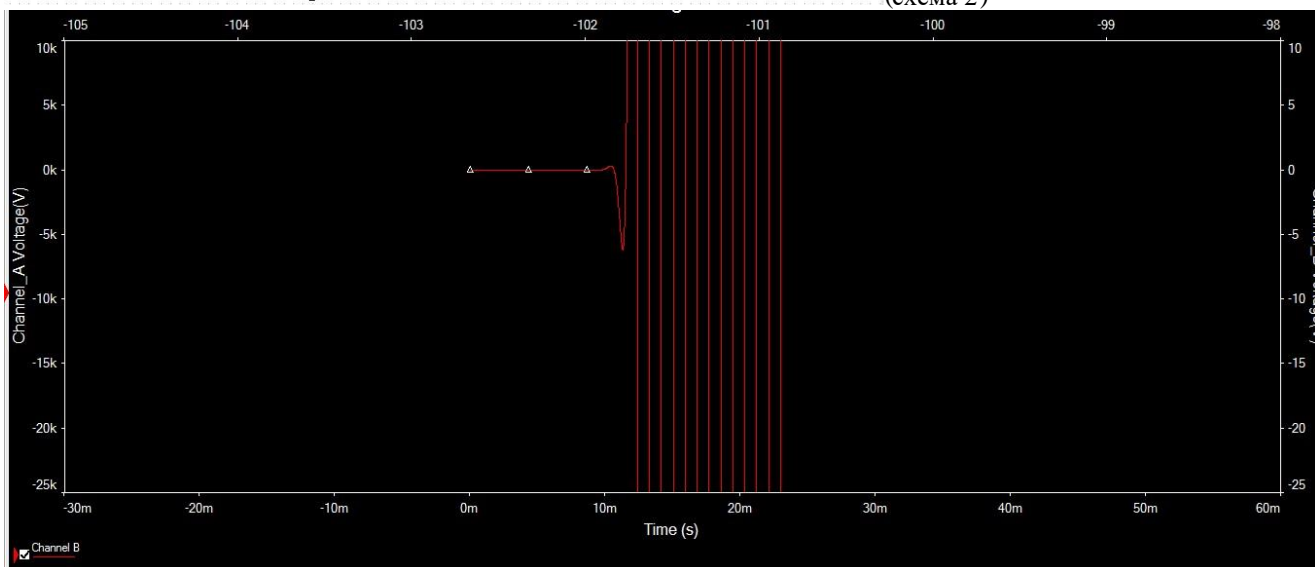
$$U_{\text{викл.}} = 51,8 \cdot 10^{-3} \text{V}$$

Ширина петлі гістерезису = 0,1.

## 2.2. Генератор гармонічних коливань



(схема 2)



$$\beta = R_1 / (R_1 + R_2) = 0,7$$

Коефіцієнт підсилення:  $K_0 = 1 / \beta = 1,4$

## ВИСНОВОК

На даній лабораторній роботі, ми ознайомилися з властивостями схем на операційних підсилювачах (ОП)(схема 1), охоплених позитивним зворотним зв'язком та опанували способи генерації електричних сигналів за допомогою схем з ОП(схема 2). Також порівняли теоретичні та експериментальні дані на операційних підсилювачах:

Ширина петлі гістерезису = 0,2(теоретично),

$$U_{\text{вкл.}} = -99,98 * 10^{-3} \text{В},$$

$$U_{\text{викл.}} = 99,98 * 10^{-3} \text{В}.$$

Ширина петлі гістерезису = 0,1(експериментально),

$$U_{\text{вкл.}} = -51,8 * 10^{-3} \text{ В},$$

$$U_{\text{викл.}} = 51,8 * 10^{-3} \text{ В}$$

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” : Методичне видання. – К.: 2006.- с.
2. 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.