

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра морського приладобудування

ДОПУЩЕНИЙ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

«24» 06 20 25 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему система вимірювання параметрів електричних
комплектів.

Виконав: студент групи 4651

Март
(підпис)

Рибчин Михайло
(ПІБ)

Керівник роботи:

Атанас
(підпис)

Тайдаб Г.Ю.
(посада, ПІБ)

Миколаїв - 20 25 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Інститут
Кафедра
Спеціальність

ННІАЕ
морського приладобудування
123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма

Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

Гайдай

Гайдай Г.Ю.

« 24 » 06 20__ рік

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Рибчик Михайло Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система вимірювання параметрів електричних компонентів

Керівник роботи к.т.н, доцент Гайдай Г.Ю.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № 343 від « 23 » 06 20 25 року

2. Термін подання роботи 9.06.25

3. Вихідні дані до роботи Сигн. 100м... 10 мВ

Емність 200нФ - 10000 нФ

Індуктивність 2мГн - 200 Гн

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) 1. Класифікація та загальні характеристики RLC;

2. Методи вимірювання компонентів;

3. Джерела струму та їх характеристики. Розробка ПЛА;

4. Вимірювальний пристрій;

5. Осередок праці;

5. Перелік презентаційних матеріалів 1. Вольт - амперний метод з джерелом струму;

2. Початок розробки регульованого джерела струму; 3. Диференціальний підсилювач; 4. Вибір компонентів схеми. Схема регульованого джерела струму;

5. Схема зібрана в середовищі NI Multisim; 6. Додаткова характеристика схеми; 7. Додаткова характеристика схеми;

8. Струмкові характеристики джерела струму; 9. Генератор сигналів для вимірювального пристрою; 10. Схема вимірювального пристрою

електричних компонентів на мікроконтролері та джерелі струму;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5 ОП	Тубанцев А.М.	<i>А.М.</i>	<i>А.М.</i>

7. Дата видачі завдання 10.02.25

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Класифікація та загальні характеристики RLC	10.02 - 19.02	век
2	Методи визначення коефіцієнтів	19.02 - 19.03	век
3	Джерела струму та їх характеристики, розробка та дослідження власного джерела струму	19.03 - 17.04	век
4	Вимірювальний пристрій	17.04 - 12.05	век
5	Охорона праці	12.05 - 29.05	век

Студент

Керівник роботи

Мерз
(підпис)*А.М.*
(підпис)*Зубин М.М.*
(прізвище та ініціали)*Табачнік Г.Ю.*
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рибчич М.М. «Система вимірювання параметрів електронних компонентів». Кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі». Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова. 2025 рік. 76 сторінок.

У даній кваліфікаційній роботі розроблена схема прецензійного джерела струму з заземленим навантаженням, а також вимірювальний пристрій на його базі. Проведено аналіз параметрів та особливостей вимірюваних компонентів, а саме індуктивності, ємності та опору. Розглянуті основні методи вимірювання цих параметрів, їх недоліки та переваги, на основі цього створене технічне завдання для власної розробки.

Ключові слова: Джерело струму, індуктивність, ємність, резистор, операційний підсилювач, вимірювання

ANNOTATION

Rybchych M. “System for measuring parameters of electronic components”. Qualification work in specialty 123 “Computer Engineering”, educational program “Computer Systems and Networks”. Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2025. 76 pages.

In this qualifying master's thesis, a scheme of a pre-emptive current source with a grounded load, as well as a measuring device based on it, was developed. An analysis of the parameters and features of the measured components, namely inductance, capacitance and resistance, was carried out. The main methods of measuring these parameters, their disadvantages and advantages are considered, based on this, a technical task for own development is created.

Keywords: Current source, inductance, capacitance, resistor, operational amplifier, measurement

					13. ДР. 123. 4651. 05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	
1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ RLC	
1.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТОРІВ.....	
1.2. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРІВ	
1.3. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНДУКТИВНОСТІ.....	
1.4. КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ	
2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ.	
2.1. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ	
2.2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ.....	
2.3. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ	
2.4. РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ.....	
3. ДЖЕРЕЛА СТРУМУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ.....	
3.1. ДЖЕРЕЛА СТРУМУ.....	
3.2. РОЗРОБКА ДЖЕРЕЛА СТРУМУ	
3.3. КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ТА ТРАНЗИСТОРУ, ОПОРІВ.....	
3.4. СИМУЛЯЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ NI MULTISIM.....	
3.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ.....	
4. ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ	
4.1. АРХІТЕКТУРА ТА СХЕМА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	
4.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

					13. ДР. 123. 4651. 05. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акрушів
Студент		Рибич М.						
Керівник		Гайдай Г.Ю.						
Консультант						НУК		
Н. контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.		Жуков Ю.Д.						

ВСТУП

Точність сучасних приладів для вимірювання параметрів компонентів досить висока, але недоліком є необхідність мати для кожного компоненту окремий вимірювальний пристрій. Всі вони вимірюють компоненти різними методами, але здебільшого мають цифровий інтерфейс виводу інформації. Тож, логічним було-б поєднати виміри всіх електронних компонентів в одному пристрої з цифровим інтерфейсом.

Високоточне та швидке вимірювання електронних компонентів за допомогою лише одного вимірювального пристрою дозволяє виконувати різноманітні ремонтні роботи та розробку нових пристроїв в більш короткі терміни. Вимірювання індуктивності, ємності чи опору є важливою частиною розробки нових пристроїв, адже всі вони є складовими електронних схем.

У даній кваліфікаційній магістерській роботі розроблена архітектура універсального вимірювального пристрою, який здатний вимірювати індуктивність, ємність та опір. Основою такого приладу є вимірювання за допомогою регульованого джерела струму, у навантаження якого вмикається вимірюваний компонент.

У цій роботі розроблене регульоване прецензійне джерело струму з заземленим навантаженням, розглянуті параметри та характеристики вимірюваних компонентів та їх особливості, розглянуті різноманітні методи вимірювання компонентів, їх недоліки та переваги. Створене технічне завдання для власної розробки, досліджені характеристики створеного прецензійного регульованого джерела струму.

Розроблений метод та його алгоритм, який полягає у вимірюванні параметрів компонентів за допомогою розробленого регульованого джерела струму та мікроконтролеру.

					13. ДР. 123. 4651. 05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ RLC

1.1 Класифікація та характеристики резисторів.

Самим розповсюдженими компонентами електричних схем та кіл є резистори.

Резистори – елементи електричних кіл, в яких відбувається перетворення електричної енергії в теплову (резистори характеризуються опором).

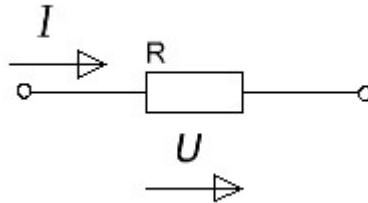


Рисунок 1.1 – Умовне графічне зображення резистора.

Резистори на схемах позначаються літерою r або R . Одиницею виміру опору в міжнародній системі стандартів вимірів є Ом, а провідність – зворотна опору величина – Сіменс (См).

За законом Ома, якщо через резистор протікає миттєвий струм I , то на ньому відбувається миттєве падіння напруги, що визначається $U = Ri$.

Відповідно, на ньому виділяється миттєва потужність

$$p = u i = \frac{u^2}{R} = R i^2$$

Потужність вимірюється у ватах (Вт).

(Далі малими буквами (u , I , p) позначені миттєві значення, великими літерами (U , E , I) позначені постійні або середні за інтервалом часу значення).

Якщо на резисторі потужність виділяється протягом певного часу, то на ньому виділяється енергія, що вимірюється у Вт·сек = Дж (джоуль).

$$Q = \int_0^t p dt = \int_0^t \frac{u^2}{R} dt = \int_0^t R i^2 dt$$

При постійних значеннях $p = P$, $u = U$, $i = I$ отримаємо:

$$Q = P t = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t.$$

Також резистори характеризуються ВАХ (вольт-амперною характеристикою). Вона описує падіння напруги на резисторі в залежності від сили струму, який протікає крізь нього (рис. 1.2).

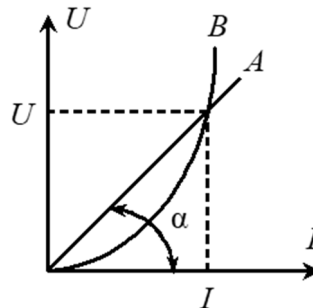


Рисунок 1.2 – Приклад ВАХ резистора.

ВАХ резистора може бути лінійною (пряма А), та не лінійною (крива В). В схемотехніці за допомогою резисторів встановлюють необхідні робочі режими активних компонентів, розподілення струмів та напруги на компоненти. Це відбувається за допомогою послідовного та паралельного з'єднання резисторів. При послідовному з'єднанні резисторів їх опори додаються, найбільший вплив на загальний опір має той резистор, який сам має найбільший опір.

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

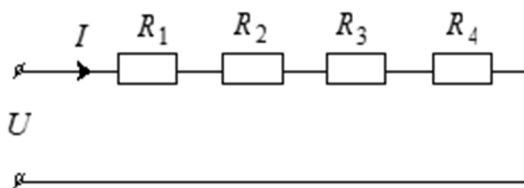


Рисунок 1.3 – Схема послідовного з'єднання резисторів.

Еквівалентний опір резисторів, з'єднаних паралельно (рис. 1.4) знаходиться з співвідношенням: $\frac{1}{R_{\text{екв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Замінивши опори резисторів на їх провідності, отримаємо:

$$G_{\text{екв}} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n = \sum_{k=1}^n G_k$$

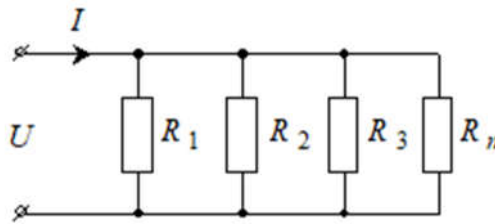


Рисунок 1.4 – Паралельне з'єднання резисторів.

Типи резисторів, їх призначення та характеристики

Загалом резистори можна поділити на дві групи: постійні та змінні.

Постійні в свою чергу можна поділити на резистори загального та спеціального призначення.

Резистори загального призначення використовують в якості елементів розподілення напруги та струму, навантаження, в схемах фільтрів та ін.

Основними їх характеристиками є:

- Величини опорів лежать в межах від одиниць Ом до десятків мегаОм;
- Допустима потужність, яка може розсіюватись на резисторі без його пошкодження (0.1-100Вт);
- Допустимі відхилення опору від заявлених значень (діапазони: $\pm 1\%$; $\pm 2\%$; $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$).

Прецизійні і над прецизійні характеризуються дуже високою точністю їх виготовлення (допуски можуть становити від $\pm 0,05\%$ до $\pm 0,0005\%$). Вони використовуються в схемах автоматики, у вимірювальних пристроях в якості еталону та інш. Зазвичай мають не велику потужність.

Високовольтні резистори призначені для роботи в електричних колах з напругою від одиниць до десятків кіловольт. Використовуються для ділення напруги, поглинання напруги в розрядниках, як обмежувачі струму.

Змінні резистори – такі резистори, опір яких можна змінювати механічним методом. Сюди також відносяться підстроєчні резистори.

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри резисторів

Номінальний опір – це опір, який зазначений на резисторі і він є початковим значенням для відліку відхилення. Діапазони номінальних опорів встановлюються міжнародним стандартом та мають наступні обмеження:

- постійний опір – від долей ома до одиниць тераом;
- змінний проволочний опір – 0.47Ом – 1МОм;
- змінний не проволочний опір – 1Ом – 10МОм.

Ряди опорів стандартизовані і мають слідуєчи умовні позначення: E6; E12; E48; E96; E192.

Цифра після букви E вказує на кількість номінальних значень опорів резисторів в десятковому інтервалі.

Номінальна потужність – це найбільша потужність, яку резистор може розсіювати в заданих умовах протягом гарантованого терміну роботи при параметрах, що задані допусками. Ряд потужності резисторів стандартизований. На рис.1.5 наведені умовні позначення на схемах резисторів в залежності від потужності (Вт).

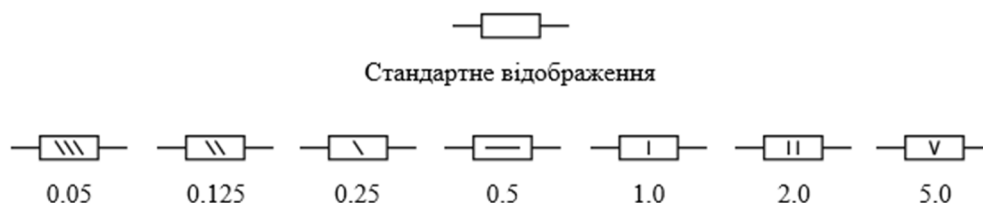


Рис.1.5 – Умовні позначення потужності резисторів на схемі (Вт).

1.2 Загальні характеристики конденсаторів

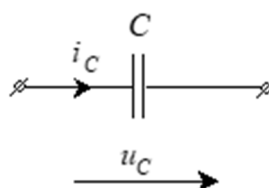


Рисунок 1.6 – Умовне графічне позначення конденсатора на схемі.

Ємністю C конденсатора називають відношення накопиченого в ньому електричного заряду q до різниці потенціалів між його електродами U_C .

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення ємності конденсатора використовується формула:

$$C = \frac{q}{U_c} \quad \left[\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \right] = [\Phi],$$

де q – заряд.

При $q > 0$, $U_c > 0$ маємо $C > 0$.

Між зарядом q і струмом i , який забезпечує зміну заряду, існує зв'язок:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}.$$

З цієї формули отримаємо:

$$u_c = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt.$$

$$U_c(0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt.$$

При $t = 0$

У загальному випадку

$$u_c = U_c(0) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt.$$

Миттєва потужність, що поступає в конденсатор, пов'язана з процесом накопичення або зменшення величини заряду:

$$p_c = u_c i = C u_c \frac{du_c}{dt}.$$

Енергія електричного поля:

$$Q = \int_{-\infty}^t p_c dt = \int_0^t C u_c du_c = \frac{C U_c^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Тут враховано, що при $t = -\infty$ $U_c(-\infty) = 0$.

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок ємності конденсатора з його конструктивним елементами:

$$C = \frac{\epsilon_d S}{d},$$

де ϵ_d – абсолютна діелектрична проникність; S – площа перерізу обкладинок; d – відстань між обкладинками.

Опір конденсатора при змінному струмі, що протікає через нього:

$$X_c = \frac{1}{j\omega C},$$

Конденсатори одні з найбільш розповсюджених елементів схемотехніки, їх характеристики і конструкція залежить від типу діелектрика використаного при їх виготовленні. Найбільш розповсюдженні наступні групи діелектриків:

- газові (повітряні, газонаповнені, вакуумні);
- рідинні;
- тверді неорганічні (керамічні, склокерамічні, склоемалеві, склоплівкові, з неорганічних плівок, слюдяні);
- органічні (паперові, металопаперові, фторопластові, полістирольні, полікарбонатні та ін.);
- окисні (електролітичні, окисно-напівпровідникові, окисно-металеві).

Так як і резистори, конденсатори виготовляють з постійною та змінною ємністю. Також конденсатори розділяють на групи загального та спеціального призначення.

До групи конденсаторів загального призначення відносяться всі низьковольтні конденсатори, до яких немає особливих вимог. Всі інші відносяться до спеціальних, наприклад високовольтні, перешкодоподавляючі та інші.

Конденсатор з газовим діелектриком поділяються на постійні та змінні. В якості діелектрика використовується повітря або різноманітні гази та їх суміші. Особливістю таких конденсаторів є малий тангенс кута

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діелектричних втрат (до 10^{-5}) і висока стабільність електричних параметрів. Вакуумні конденсатори мають більшу ємність, ще менші втрати та високу стабільність параметрів. Тому такі конденсатори використовуються в апаратурі де вони працюють а частотах в 100МГц та більше.

Перешкодоподавляючі конденсатори застосовуються для зниження перешкод в великому діапазоні частот. Через це вони повинні мати мінімальну власну індуктивність, що підвищує власну резонансну частоту та полосу подавляємих частот.

Конденсатор з органічним діелектриком виготовляють шляхом намотки стрічок діалектика разом з тонкою металевою стрічкою. За призначенням такі конденсатори діляться на низькочастотні та високочастотні. До низькочастотних відносяться конденсатори на базі слабо полярних та полярних плівок. Тангенс кута втрат таких конденсаторів різко залежить від частоти. Більш високочастотні конденсатори виготовляють на основі не полярних діелектричних плівок, тангенс кута втрат яких значно менший ніж у полярних плівок.

Конденсатори з оксидним діелектриком (Електролітичні конденсатори) поділяються на конденсатори загального призначення, неполярні, високочастотні, імпульсні, пульсові, перешкодоподавляючі. В залежності від матеріалу, з якого зроблена обкладка анода електролітичні конденсатор розділяють на алюмінієві, танталові, ніобієві.

Другою обкладинкою конденсатору є електроліт, що знаходиться в паперовій обгортковій прокладці.

Оксидні конденсатори є низьковольтними з відносно великими втратами, але на відміну від інших мають дуже великий заряд і ємність. Через це вони використовуються у фільтрах джерел живлення та інших електричних колах низьких частот.

Основні електричні параметри конденсаторів.

Номінальні значення ємностей конденсаторів стандартизовані, аналогічно резисторам, рядами чисел: E3, E6, E12, E24, E96, E192, цифра в позначені

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яких вказує на кількість номінальних значень в кожному десятковому інтервалі. Фактичне значення ємностей можуть відрізнятись від вказаного в межах вказаного допустимого відхилення. Останні вказуються в процентах: $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 ; ± 50 ; $-10+30$; $-10+50$; $-10+100$; $-20+50$; $-20+80$. Для конденсаторів з величинами менше 10пФ допустиму вказання відхилення в абсолютних значеннях, наприклад $\pm 0,25$ пФ.

Номінальна напруга – значення, вказане на конденсаторі або в документації, характеризує напругу при якій конденсатор буде працювати вказаний термін із вказаними параметрами, без суттєвих відхилень.

Повний опір конденсатора – опір змінному синусоїдальному струму певної частоти. Він обумовлений наявністю активного опору і індуктивності. Еквівалентна схема конденсатора в такому випадку виглядатиме наступним чином (рис.1.6)

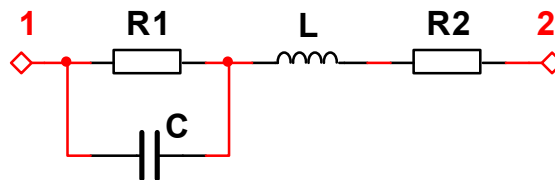


Рисунок 1.6 – Еквівалентна схема конденсатора.

Частота, на якій повний опір конденсатора буде мінімальний є резонансною. На нижчій ніж резонансна частота опір буде мати ємнісний характер, на вищій частоті – індуктивний.

Тангенс кута діелектричних втрат. Цей параметр описує втрати енергії в конденсаторі і описується відношенням активної потужності до реактивної під дією синусоїдального струму певної частоти. Він залежить від температури, частоти та зростає з часом.

Реактивна потужність – поняття, введене для високочастотних конденсаторів, використовується при встановленні допустимих режимів експлуатації. Являє собою добуток напруги U визначеної частоти f , прикладеної до конденсатора, на силу струму I , що проходить через нього,

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і на синус кута зсуву фаз між ними визначає величину реактивної потужності конденсатора Q_P . Оскільки здебільшого $\varphi \approx 90^\circ$, а $\sin \varphi = 1$, то:

$$Q_P = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U^2.$$

1.3 Загальні характеристики індуктивності

Індуктивність являє собою котушку, намотану на магнітному або не магнітному сердечнику, по обмотках якої протікає струм. При цьому створюється магніторухійна сила (МРС), що визначається як добуток струму I на кількість витків котушки w , тобто:

$$F = I w, \quad [\text{А}].$$

Поява МРС призводить до появи напруженості магнітного поля, величина якого залежить від фізичних параметрів котушки.

Так як різні матеріали мають різні параметри магнітної проникності μ_a , то величина магнітної індукції, що створюється котушкою також буде різною:

$$B = \mu_a H, \quad [\text{Тл}].$$

Індукцію магнітного поля можна розглядати як еквівалент щільності електричного струму в провіднику, а магнітний потік через магнітопровід перерізом S – як еквівалент величини струму.

$$\Phi = B S, \quad [\text{Вб}].$$

Особливість магнітного потоку полягає в тому, що при зміні його величини у витках котушки, відповідно до закону Фарадея – Максвела, наводиться ЕРС

$$e_L = -w \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt},$$

де $\Psi = w\Phi$ – потокозчеплення.

Явище виникнення ЕРС у котушці, обумовлене зміною струму і в цій же котушці, називають самоіндукцією, а наведену ЕРС – ЕРС самоіндукції. Коефіцієнт пропорційності між потокозчепленням самоіндукції і струмом у котушці при незмінному параметрі μ_a називається індуктивністю

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = \frac{\Phi}{I}, \quad \left[\frac{\text{Вб}}{\text{А}} \right] = [\text{Гн}].$$

При цьому потокозчеплення Ψ та струм I мають однаковий знак, тому завжди $L > 0$.

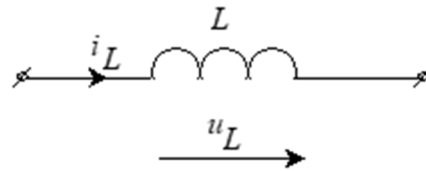


Рисунок 1.7 – Умовне зображення котушки індуктивності на електричних схемах.

ЕРС e_L протидіє зміні потокозчеплення, що і враховується знаком “мінус”, оскільки позитивний напрямок e_L обраний співпадаючим з позитивним напрямком струму. У такому випадку для котушки з індуктивністю L напрямки струму, напруги та ЕРС самоіндукції співпадають (рис. 1.7).

При $L = \text{const}$ маємо:

$$e_L = -\frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt};$$

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt}.$$

Величина є падінням напруги. З останньої формули випливає:

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L dt.$$

Нижня межа прийнята $-\infty$, адже струм міг протікати скільки завгодно довго.

У обраний нульовий момент часу

$$I_1 = \frac{E_{\text{екв}}}{R_1 + R_2},$$

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В загальному випадку:

$$i(t) = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$$

Потужність, що миттєво поступає в котушку:

$$p_L = u_L i = L i \frac{di}{dt}$$

i пов'язана із зростанням або, відповідно, зменшенням енергії магнітного поля.

При $t = -\infty$, $i_L = 0$ енергія, що накопичується в індуктивності:

$$Q_L = \int_{-\infty}^t p_L dt = \int_0^t L i di = \frac{L i^2}{2} = \frac{\Psi^2}{2i}$$

При незмінній величині струму, що протікає через індуктивну котушку, маємо

$$Q_L = \frac{L I^2}{2},$$

Тобто індуктивність має властивість накопичення і збереження енергії.

Індуктивність котушки фізично залежить від властивостей котушки:

$$L = \frac{w^2 \mu_a S}{l},$$

де w – кількість витків обмотки, S – переріз, l – довжина котушки, μ_a – магнітна проникність вакууму.

Опір індуктивного елемента для змінного струму частоти ω :

$$X_L = j \omega L$$

На практиці індуктивні елементи часто називають дроселями, котушками індуктивності. Виготовлення котушок індуктивності з чітко заданими параметрами є складним технологічним процесом, через це в електротехніці ці компоненти використовуються менше.

Індуктивності зазвичай мають циліндричну форму, але це не обов'язково. Для підвищення значення індуктивності та добротності широко

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовують магнітопроводи, що знаходяться безпосередньо в середині котушки. Також, шляхом зміни розміру магнітопроводу, або ж його положенням в середині котушки можна змінювати параметри самої індуктивності.

Для електричних розрахунків використовують еквівалентну схему, що приведена на рисунку нижче.

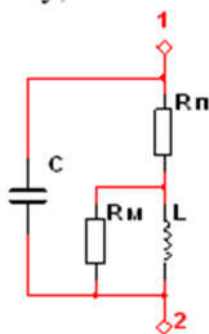


Рисунок 1.8 – Еквівалентна схема індуктивності.

В них враховані активний опір проводу $R_{\text{л}}$, індуктивність L , втрати в магнітопроводі $R_{\text{м}}$ і ємність C . За допомогою ємності C враховують наявність ємності між витками котушки, між витками та сердечником котушки, між її виводами.

Також важливим параметром індуктивності є її добротність, яка описується співвідношенням реактивного опору X до активного R :

$$Q = X/R.$$

Значення добротності залежить від частоти. Якщо магнітопровід відсутній, а ємність C достатньо мала, то добротність залежить від індуктивності L та опору проводу $R_{\text{л}}$. Добротність збільшується з ростом частоти, але на значеннях кількох МГц через проявлення поверхового ефекту (скін-ефекту) опір проводу починає зростати, а добротність падати.

Основні параметри котушок індуктивності

1. номінальна індуктивність (значення, що є початком відліку відхилень)
2. Допустиме відхилення
3. Номінальна добротність
4. Ефективна індуктивність (значення індуктивності, визначене за

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням впливу ємності, власної ємності індуктивності та значення початкової проникливості сердечника).

5. Початкова індуктивність (значення індуктивності, визначеної на низькій частоті, де відсутній вплив власної ємності).

6. Температурна нестабільність індуктивності котушки

7. Температурний коефіцієнт добротності (ТКД) – відношення відносної зміни добротності $\Delta Q/Q$ до інтервалу температур ΔT , який викликав цю зміну:

$$TKD = \frac{\Delta Q}{Q \cdot \Delta T}.$$

8. Власна ємність котушки індуктивності (електрична ємність), складає з її індуктивністю резонансний контур, вимірює на частоті власного резонансу.

9. Робочий діапазон температур (максимальна та мінімальна температури)

Також для дроселів що працюють в джерелах живлення важливі:

- 1) Струм підмагнічення;
- 2) Індуктивність;
- 3) Опір обмотки дроселя постійного струму.

1.4 Класичні методи вимірювання

Індуктивність, ємність та опір можуть бути виміряні спеціальними вимірювальними комплексами. Звісно, вимірювальний комплекс який спроектований для вимірювання одного типу компоненту може дати набагато більш точні параметри та характеристики, але недоліком такого комплексу є його дороговизна. А зважаючи на те, що таких комплексів потрібно 3 для кожного з типів компонентів, то це викликає певні складнощі у їх використанні. Нижче будуть розглянуті пристрої для вимірювання цих параметрів та їх характеристики.

					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9 – Вимірювач ємності конденсаторів CM9601A

Характеристики вимірювача ємності CM9601A:

Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Похибка	Частота, на якій проводиться вимірювання
200 пФ	0.1 пФ	±0,5%	800 Гц
2000 пФ	1 пФ	±0,5%	800 Гц
20 нФ	10 пФ	±0,5%	800 Гц
200 нФ	100 пФ	±0,5%	800 Гц
2 мкФ	1 нФ	±0,5%	800 Гц
20 мкФ	10 нФ	±0,5%	80 Гц
200 мкФ	100 нФ	±0,5%	8 Гц
2000 мкФ	1 мкФ	±1%	8 Гц
20000 мкФ	10 мкФ	±2%	8 Гц



Рисунок 1.10 – Вимірювач іммітансу UNIT UT602 (опір та індуктивність).

Межі вимірювання UNIT UT602:

Вимірювання опору $\pm(0,8\%)$	Вимірювання індуктивності $\pm(2\%)$
20 Ом	2 мГн
200 Ом	20 мГн
2 кОм	200 мГн
20 кОм	2 Гн
200 кОм	20 Гн
2 МОм	200 Гн
20 МОм	
200 МОм	
2000 МОм	

1.5 Межі вимірювання та похибки для вимірювача RLC

Виходячи з інформації представленої вище я визначився з межами вимірювання

RLC					13. ДР. 123. 4651.05. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ємності ці значення повинні бути від сотень пФ, до тисяч мкФ, для індуктивності від одиниць мГн до сотень Гн, для опору – від одиниць Ом до десятків мегаом. Вважаю, що таких меж вимірювання достатньо для більшості задач.

Параметр	Нижня межа вимірювання	Верхня межа вимірювання	Похибка вимірювання
Опір	10 Ом	10 МОм	$\pm(1\%)$
Ємність	200 пФ	10 000 мкФ	$\pm(1\%)$
Індуктивність	2 мГн	200 Гн	$\pm(1\%)$

Висновок

В цьому розділі розглянуті об'єкти вимірювання, їх параметри та властивості. Розглянуті промислові прилади для вимірювання цих параметрів, сформовані межі вимірювання для вимірювача RLC.

2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ

2.1 Методи вимірювання опору

Електричний опір використовується у випадках лінійної залежності електричного струму в провіднику від прикладеної напруги, і є коефіцієнтом пропорційності між падінням напруги U й силою струму I .

$$R = \frac{U}{I}$$

Основними методами вимірювання опорів постійного струму є: непрямий метод (із застосуванням вимірювачів напруги та струму); метод безпосередньої оцінки за допомогою омметрів та мегомметрів; мостовий метод.

Непрямі методи вимірювання опорів

Непряме вимірювання опорів проводиться за допомогою вимірювачів напруги та струму.

За допомогою вольтметрів та амперметрів складається схема з резистором, яка дозволяє виміряти падіння напруги на останньому при певному струмі (рис.2.1). далі за законом Ома знаходиться невідомий опір.

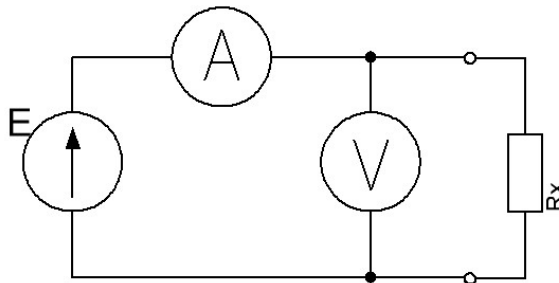


Рисунок 2.1 – Непряме вимірювання опору.

За законом Ома, якщо відомі значення струму та напруги можна знайти опір резистору. $R = \frac{U}{I}$

Вольтметр із відомим входним опором R_v , включений за схемою на рис. 2.1, придатний для вимірювання опорів одного порядку з R_v . Для цього при короткозамкнених щупах вольтметром вимірюють напругу U_0 на затискачах джерела живлення.

Потім щупи приєднують до резистора R_x , що призводить до зменшення напруги, прикладеного до вольтметра, до деякого значення U_x . Опір резистора R_x визначають за такою формулою:

$$R_x = R_v \left(\frac{U_0}{U_x - 1} \right)$$

Перевагою такого методу є його простота, легкість автоматизації, достатня точність для більшості задач. На точність вимірювань впливає безпосередньо точність виміру струму та напруги.

Електронні омметри та мегомметри

Будь-який електронний вольтметр постійного струму може бути застосований для вимірювання електричних опорів середніх та великих значень. Для цього вольтметр доповнюється вимірювальною схемою, що створює на його вході постійну напругу, рівень якого залежить від співвідношення між опором, що вимірюється R_x і опорним опором R_0 .

У вхідному ланцюзі приладу необхідно включити джерело постійної напруги U_1 , рівної або близької граничної напруги U_x , що вимірюється вольтметром; резистори R_0 і R_x утворюють дільник цієї напруги (Рис.2.2)

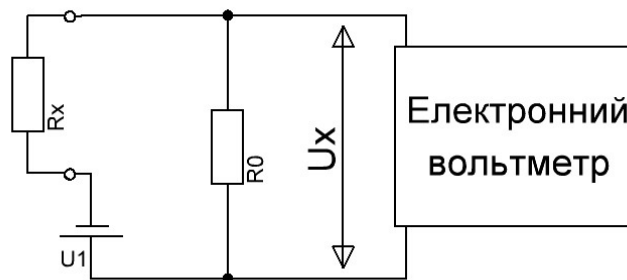


Рисунок 2.2 - Вимірювання опору електронним вольтметром.

На вхід вольтметрового компонента подається напруга, що знімається з опорного резистора R_0 . При розімкнених вхідних затискачах ($R_x = \infty$) ця напруга дорівнює нулю. Замикання вхідних затискачів (при $R_x = 0$) призводить до впливу на вольтметр усієї напруги $U_1 \approx U_x$ та відхилення стрілки його вимірювача до кінця шкали, що забезпечується спеціальним регулятором установки «нуля» омметра. У випадку при вимірюваному опорі R_x на вхід вольтметра надходить напруга:

$$U_x = U_0 \times R_0 \times (R_0 + R_x) = \frac{U_1}{1 + \frac{R_x}{R_0}}$$

До переваг такого методу можна віднести простоту. На точність вимірювань впливає точність вольтметра, точність резистору R_0 і головним чином стабільність джерела живлення U_1 .

Мостовий метод вимірювання електричних опорів

Висока точність вимірювання опорів може бути досягнута під час використання мостового методу. Для вимірювання опорів середніх значень застосовують одинарні вимірювальні мости постійного струму. У випадку одинарного моста, типова схема якого представлена на рис.2.3 складається з чотирьох резисторів $R_1 - R_4$, що утворюють замкнутий чотирикутник.

Сторони останнього називаються плечима моста. В одну діагональ моста включається джерело постійної напруги U , а в іншу - чутливий індикатор (гальванометр або мікроамперметр (ИП1)) з нулем всередині шкали, призначений для індикації нульового значення струму. Міст вважається врівноваженим або збалансованим, якщо в його індикаторній діагоналі відсутній струм. У врівноваженому мосту через резистори R_1 і R_2 протікає струм I_1 ; однаковий струму I_2 який проходить через резистори R_3 і R_4 . Оскільки різниця потенціалів між кінцями А і Б індикаторної діагоналі відсутня, ці струми створюють однакові падіння напруги на резисторах R_1 і R_4 , а також R_2 і R_3 , а саме:

$$I_2 R_4 = I_1 \times R_1; I_2 R_3 = I_1 R_2$$

Розділивши почленно першу рівність на другу, знаходимо $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$, звідки

$$R_4 R_2 = R_3 R_1.$$

Отже, в урівноваженому мості напруги опорів протилежних плечей рівні. Якщо один із цих опорів, наприклад R_4 , є невідомим (R_x), то його можна розрахувати за формулою

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

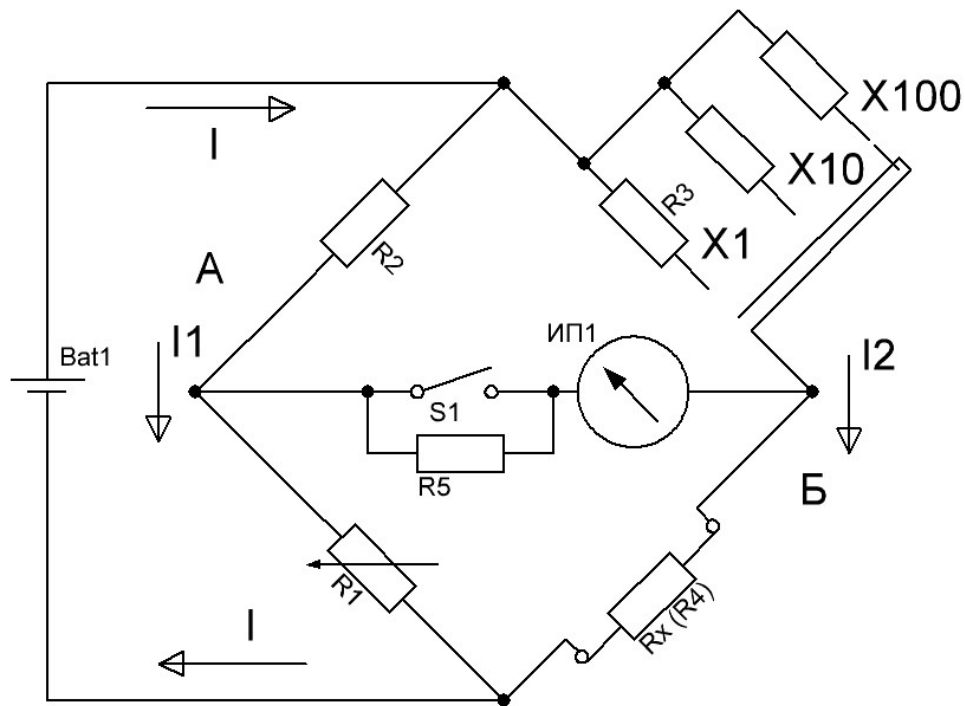


Рисунок 2.3 – Міст постійного струму.

Перевагою методу постійного струму є висока точність, якої можна досягти.

На точність вимірювань впливає лише точність відомих значень мосту, які використовуються для розрахунку, а також точність збалансування мосту.

Недоліками є складність автоматизації процесу.

2.2 Методи вимірювання ємності

Вимір ємності конденсаторів проводиться з метою перевірки відсутності обриву його струмопровідних частин (при паралельному з'єднанні секцій) або часткового пробоя (при послідовному з'єднанні секцій). Зменшення ємності конденсатора свідчить про обрив струмопровідних частин конденсатора, а збільшення - про частковий пробій секцій. Також, звісно вимірювання проводиться з метою знайти невідому ємність конденсатора.

Ємність конденсаторів визначається приладами, що допускають вимірювання з похибкою трохи більше 3%. При цьому використовуються такі методи: безпосередньої оцінки ємності (мікрофарадометри); порівняння (мости змінного струму); непрямого вимірювання змінним струмом (метод амперметра та вольтметра); резонансний метод, метод заміщення.

Метод амперметра та вольтметра

Метод вольтметра – амперметра застосовують для вимірювання порівняно великих ємностей. Живлення вимірювальної схеми зазвичай вибирають від джерела струму низької частоти: $F = 50 \dots 1000$ Гц, тому виявляється можливим знехтувати активними втратами в конденсаторах, а також впливом реактивних параметрів вимірювальних приладів та паразитними зв'язками.

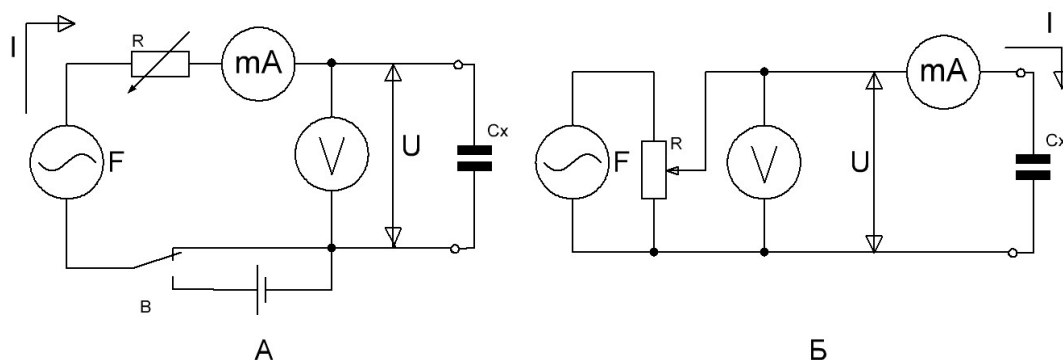


Рисунок 2.4 – Вимірювання ємності конденсатора методом амперметра – вольтметра

Схема вимірів представлена у двох варіантах на рис.2.4. Перевірений конденсатор C_x включається в ланцюг змінного струму відомої частоти F , і реостатом (або потенціометром) R встановлюють необхідне за умовами випробування або зручне для відліку значення струму I або напруги U . За показаннями приладів змінного струму V і mA можна розрахувати повний опір конденсатора

$$Z = (R^2 + X^2)^{0.5} = \frac{U}{I}$$

де R і $X = \frac{1}{2\pi F C_x}$ - відповідно його активна та реактивна складові.

Якщо втрати малі, тобто $R \ll X$, то вимірювана ємність визначається формулою

$$C_x = \frac{I}{2\pi F U}$$

Схема на рис. 2.4 а дає досить точні результати при вимірюванні великих ємностей, опір яких X значно менше вхідного опору вольтметра V . Схема на рис. 2.4 б, застосовується для вимірювання менших ємностей, опір яких в десятки і більше разів перевищує опір міліамперметра mA . Припустимо, що потрібно вимірювати ємності в межах $0,1$ - 1 мкФ на частоті 50 Гц за наявності міліамперметра змінного струму на 3 мА. Оскільки опір цих ємностей $X = 3200 \dots 32000$ Ом набагато більше будь-якого можливого опору міліамперметра, то вимір слід проводити за схемою на рис. 1 б, при напрузі живлення $U \geq I * X = 0,003 * 3200 \approx 10$ В.

Схема на рис. 2.4 а може бути застосована і для вимірювання ємностей електролітичних конденсаторів. Якщо напруга живлення не перевищує 1-2В, то вимірювання допустимо проводити при встановленні перемикача В в положення 1. При великих змінних напругах можливе пошкодження конденсаторів внаслідок розкладання електроліту. Ця небезпека усувається, якщо перемикач встановити в положення 2. При цьому послідовно з джерелом змінного струму частоти F включається джерело постійного струму, напруга на затискача якого U_0 повинна перевищувати амплітуду змінної напруги. Тоді в ланцюзі діятиме пульсуюча напруга, безпечна для конденсатора за умови правильної полярності його включення до схеми. Пульсуючу напругу можна отримати при послідовному включенні у вимірювальну схему діода. У всіх випадках вольтметр V і міліамперметр mA повинні вимірювати лише змінні складові напруги та струму, для чого вони виконуються із закритою схемою входу.

Даний метод є простим в реалізації та має достатню точність для більшості вимірювань. До недоліків можна віднести складність вимірювання малих ємностей.

Метод заміщення

Даний метод базується на порівнянні дії, що надається вимірюваною ємністю C_x і відомою ємністю на режим вимірювальної схеми.

Найпростіша схема вимірювань, у якій ємності C_x і C_0 порівнюються за опором змінному струму, наведено на рис. 2.5. При включенні конденсатора C_x потенціометром R встановлюють у ланцюгу струм, зручний для підрахунку або контролю за міліамперметром. Потім замість конденсатора C_x до схеми приєднують магазин еталонних відомих ємностей, і з його допомогою добиваються таких же або близьких показників міліамперметра, як і з конденсатором C_x . Це буде мати місце при $C_0 = C_x$. Похибка вимірювань залежить від чутливості індикатора та похибки відліку ємності C_0 ; вона може бути отримана рівною приблизно 1% і менше. Такий метод вимірювання не зручний, а також його дуже складно автоматизувати. На точність вимірювань впливає точність міліамперметра, стабільність джерела живлення.

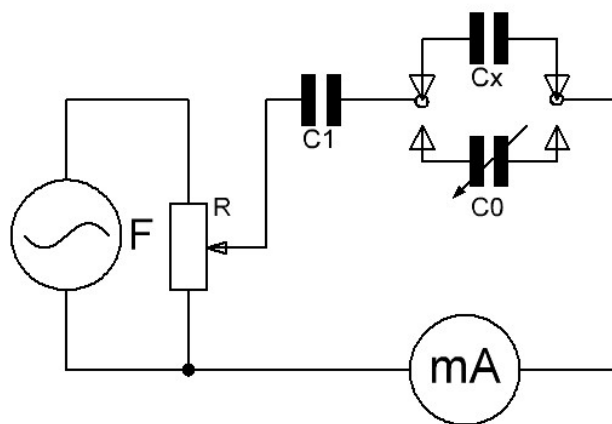


Рисунок 2.5 – Вимірювання ємності методом заміщення.

Метод моста змінного струму

Мости, які використовуються для вимірів параметрів конденсаторів розділяються на магазинні та лінійні. Найпростіший магазинний міст з однією межею вимірювання, наприклад 10-100пФ може бути зроблений з чотирьох конденсаторів: вимірюваного, змінного зі шкалою ємностей (у суміжному плечі) та двох постійних з однаковою ємністю (сотні пікофарад). Широкодіапазонні магазинні мости складніші за реохордні, проте вони забезпечують меншу похибку вимірювання і можуть мати рівномірні відлікові шкали. Діапазон ємностей, що вимірюються мостовим методом, лежить приблизно в межах від 10 пФ до 10...30 мкФ.

На рис.2.6 (а) представлена найпростіша схема магазинного багато діапазонного моста. Його врівноважують за допомогою змінного конденсатор С1 та змінного резистора R1. Виходячи з умов рівноваги моста, маємо:

$$R2(R_x^2 + \frac{1}{(2\pi FC)^2})^{0.5} = R3(R1^2 + \frac{1}{(2\pi FC_1)^2})^{0.5}$$

Враховуючи, що $\varphi_2 = \varphi_3 = 0$, другу умову рівноваги можна записати у вигляді рівності $\varphi_x = \varphi_1$ або $\text{tg } \varphi_x = \text{tg } \varphi_1$ або згідно з формулою:

$$\frac{1}{2\pi FC_x R_x} = \frac{1}{2\pi FC_1 R_1}$$

Вирішуючи спільно наведенні рівняння, отримаємо:

$$C_x = C1\left(\frac{R2}{R3}\right)$$

$$R_x = R1\left(\frac{R3}{R2}\right)$$

При фіксованому відношенні опорів плечей R2/R3 конденсатор С1 і резистор R1 можна забезпечити шкалами з відліком відповідно значення ємностей Сх і опорів втрат Rх. Розширення діапазону вимірювань досягається застосуванням групи резисторів R3 (або R2) різних номіналів, які зазвичай розрізняються в 10 разів. Міст врівноважується швидко, оскільки регулювання, що здійснюються конденсатором С1 та резистором R1, взаємонезалежні. Якщо міст призначається для вимірювання ємностей менших 0,01 мкФ, для яких втрати на низьких частотах дуже малі, то резистор R1 може бути відсутнім.

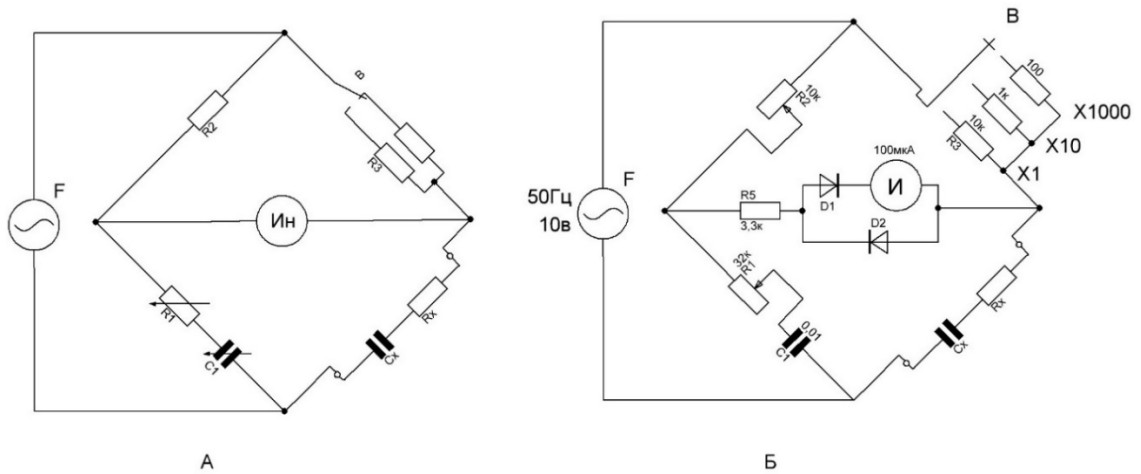


Рисунок 2.6 – Схеми магазинних мостів для вимірювання параметрів конденсаторів.

З метою спрощення конструкції в деяких вимірювальних мостах конденсатор C_1 береться постійної ємності, а як регульовані елементи використовуються два змінних резистора, наприклад R_1 і R_2 (рис. 2.6, б). З формул випливає, що обидва регулювання такого моста виявляються взаємопов'язаними, тому його врівноваження, контрольоване за показаннями випрямного індикатора, повинно здійснюватися способом послідовного наближення до мінімуму шляхом зміни змін опорів R_1 і R_2 . Значення ємностей C_x знаходяться за шкалою резистора R_2 з урахуванням множника, що визначається установкою перемикача В. Оскільки безпосередня оцінка опорів втрат R_x виявляється неможливою, відлік за шкалою резистора R_1 зазвичай виконується в значеннях тангенсу кута втрат:

$$\operatorname{tg} \delta = 2\pi F C_x R_x = 2\pi F C_1 R_1$$

До переваг мостового методу можна віднести високу точність вимірювань параметрів. Недоліком є складність автоматизації.

Резонансний метод

Резонансний метод широко використовується для виміру ємності, індуктивності, добротності, власної чи резонансної частоти налаштування чи інших параметрів радіо деталей.

Резонансна схема вимірювання ємності (рис.2.7) включає в себе генератор високої частоти LC, індуктивна слабо, або через роздільний конденсатор зв'язаний з вимірюваним контуром $L_0 C_x$, де L_0 – відома індуктивність. Зміною ємності

конденсатора С контур за допомогою прибора (вольтметра) налаштовується в резонанс з частотою F_0 . При відомі частоті резонансу F_0 ємність невідомого конденсатора знаходиться за формулою:

$$C = \frac{1}{((2\pi F_0)^2 L_0)} \approx \frac{0.0253}{F_0^2 L_0}$$

При фіксованому значенні L_0 конденсатор С можна оснастити шкалою з поділками ємності C_x . Межі вимірювання залежать від індуктивності L_0 та частотного діапазону генератора. Ємності відносно великого номіналу в 0.5мкФ та більше таким методом зазвичай не вимірюються, через те, що резонансна частота в такому випадку лежить в діапазоні низьких частот, що ускладнює його виявлення, та відповідно підвищує похибку вимірювань.

В якості прибора для визначення резонансу використовують вольтметри, міліамперметри, осцилограф, тощо. Головне, щоб прибор не вносив в контур помітних затухань.

Відхилення вимірів становлять 5-10%, вони обумовлені різноманітними паразитними явищами, точністю генератора частоти, точністю фіксації частоти резонансу. Перевагою такого методу є його простота та здатність вимірювання малих ємностей.

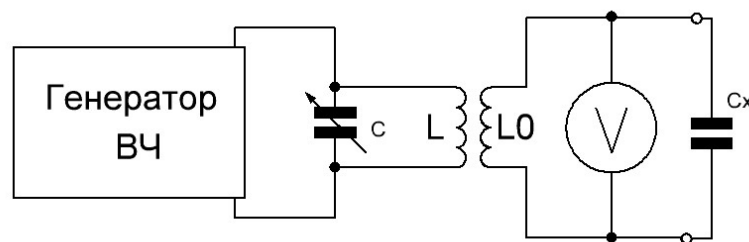


Рисунок 2.7 – Схема вимірювання ємності резонансним методом.

2.3 Методи вимірювання індуктивності

Природа виникнення індуктивності заснована на взаємодії струму та магнітного потоку провідника. Згідно із законом Фарадея відомо, що при зміні магнітного потоку Φ провідника, що знаходиться в магнітному полі, у провіднику виникає ЕРС, яка визначається за формулою:

$$e_L = \frac{d\Phi}{dt}.$$

З цього випливає, що при під'єднанні провідника до постійного джерела напруги викликати в ньому перебіг струму I не миттєво, а з деякою затримкою. Це обумовлено тим, що у провіднику індукується ЕРС, що перешкоджає наростаючому струму. Струм перестане наростати тільки тоді, коли магнітний потік перестане змінюватися.

Якщо підключити провідник до джерела змінної напруги, то струм і магнітний потік будуть змінюватись безперервно, і ЕРС що наводиться у провіднику буде перешкоджати протіканню змінного струму, що еквівалентно збільшенню опору провідника. При збільшенні частоти напруги в провіднику, величина ЕРС, що наводиться в ньому також збільшується, отже опір провідника змінному струму також буде зростати. Цей опір X_L не пов'язаний із втратами енергії, тому є суто реактивним.

При подачі змінного струму на провідник його ЕРС буде дорівнювати:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t .$$

Вона пропорційна частоті ω , а коефіцієнтом пропорційності є індуктивність L . Отже, індуктивність описує здатність провідника чини опір змінному струму. Розмір цього опору дорівнює:

$$X_L = \omega L$$

Дуже важливо перед виміром індуктивності переконатися у відсутності обривів чи коротко-замкнутих витків у котушці. Інакше виміряні параметри будуть не коректні.

Вольт – амперний метод

Відносно великі індуктивності від 1 до 1000Гн можна виміряти вольт – амперним методом. Суть цього метода в тому, що на котушку подають змінний струм частотою $f = 50:1000$ Гц. Одночасно при цьому виміряється повний струм (I) та повний струм (U) за допомогою вольтметра під'єданого паралельно котушці (рис.2.8).

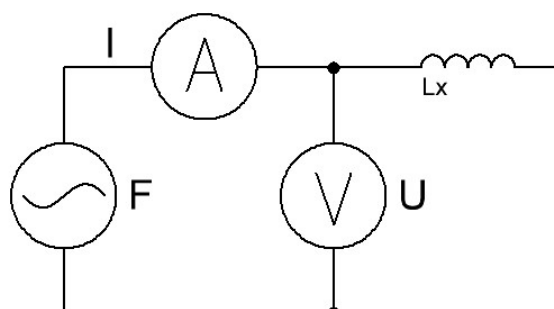


Рисунок 2.8 – Схема вимірювання індуктивності вольт-амперним методом.
Після вимірів згідно із законом Ома розраховується повний опір індуктивності:

$$z_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}.$$

Відомо, що повний опір індуктивності можна розрахувати за формулою:

$$z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

Цей метод розрахований на вимір відносно великих індуктивностей, що передбачає істотне перевищення реактивної складової над активною, з урахуванням малих активних втрат.

Із цього випливає, що активною складовою повного опору Z можна знехтувати:

$$Z \approx X_L = \omega L = 2\pi fL.$$

Прирівнявши попередні формули отримаємо:

$$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} \approx 2\pi fL.$$

Із цього випливає:

$$L_x \approx \frac{\dot{U}}{\dot{I}2\pi f}.$$

Для зменшення габаритів індуктивності їх виконують на різноманітних сердечниках (магнітопроводах). Через це характеристика індуктивності стає не лінійна, тому її слід вимірювати в близькому до робочого режимі, з урахуванням постійного підмагнічування сердечника постійною складовою.

Схема для таких вимірювань матиме наступний вигляд:

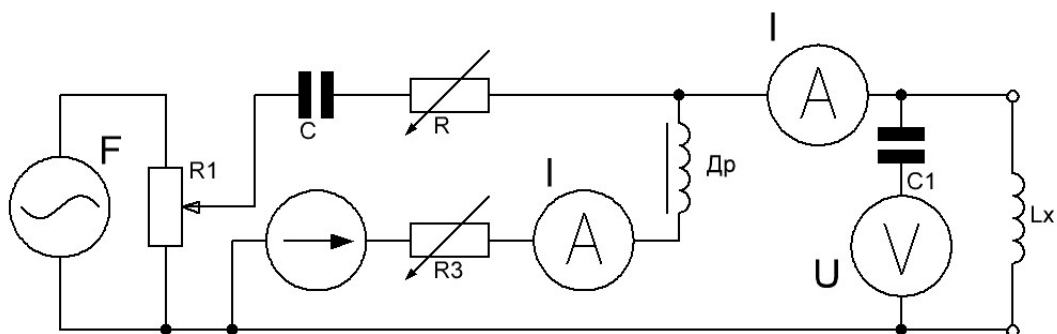


Рисунок 2.9 – Схема виміру котушок індуктивності з сердечником.

Перевагою даного метода є простота та дешевизна при достатній точності для великих індуктивностей. Недоліком є суттєва залежність показників від співвідношення активної і реактивної складової котушки.

Мостовий метод

Розглянутий вище спосіб припускає, що активні втрати в індуктивності малі. Проте при низькочастотній роботі котушки в десятки або сотні герц, або великому активному опорі дроту реактивна складова стає порівнянною з активною, якою нехтувати вже не можна і її потрібно враховувати. Здійснити такі виміри дозволяє «мостовий метод».

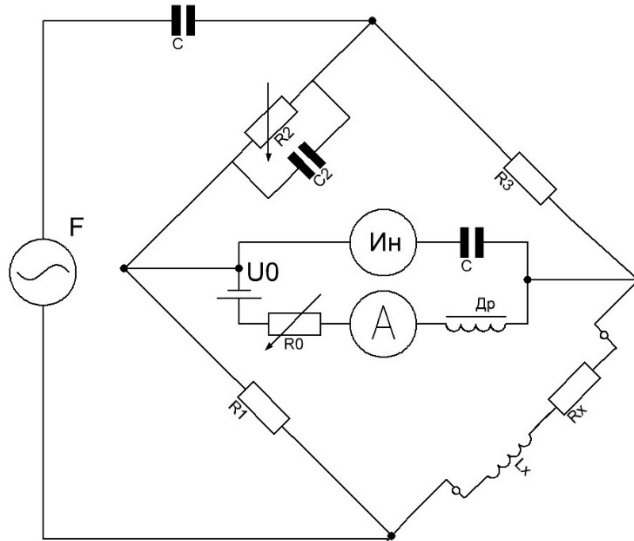


Рисунок 2.10 – Схема мостового методу виміру індуктивності.

Міст для виміру індуктивності має в собі два плеча чисто активного опору, плече з досліджуваною індуктивністю, опір якої є комплексний, та плече з реактивною складовою (конденсатор).

Урівноваження моста (показники (ИН) будуть на нулі) відбувається змінним конденсатором C2 (R2 шунтуючий резистор, потрібен для компенсації втрат R_x досліджуваної котушки, яка створює фазовий зсув). Міст буде урівноважений за наступних умов:

$$\begin{cases} Z_x Z_2 = Z_1 Z_3, \\ \varphi_x + \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_3. \end{cases}$$

Врахуємо, що опір плеч Z_1 та Z_3 чисто активні, тому матимемо в них нульові фази $\varphi_1 = \varphi_3 = 0$, звідси випливає, що $\varphi_x = -\varphi_2$ і тангенс фазових кутів будуть рівні $\operatorname{tg} \varphi_x = -\operatorname{tg} \varphi_2$.

В плечі Z_2 активна (R_2) і реактивна складова (C_2) паралельні, тому при від'ємному значенні кута φ можна записати, що:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = R_2 X_L = R_2 2\pi f C_2.$$

В плечі Z_x реактивна і активна складові послідовні, це значить що тангенс фази буде рівний:

$$\operatorname{tg} \varphi_x = \frac{X_L}{R_x} = \frac{2\pi f L_x}{R_x}.$$

Відповідно до умов рівності фаз будемо мати:

$$\frac{2\pi f L_x}{R_x} = 2\pi f C_2 R_2.$$

Вирішивши спільну систему та попереднє рівняння матимемо співвідношення для розрахунку активної та реактивної складової індуктивності:

$$L_x = C_2 R_1 R_3,$$
$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}.$$

Слід відмітити, що R_2 та C_2 можна оснастити шкалами для безпосереднього вказання значень R_x L_x . Для вимірювання індуктивностей з металевим сердечником в схему додається схема з постійним джерелом струму, аналогічно як в попередньому випадку.

Перевагою мостової схеми є більш висока чутливість до малих індуктивностей, а також висока точність. До недоліків відноситься низька швидкість вимірювань та складність автоматизації процесу.

Резонансний метод

Резонансний метод дозволяє проводити виміри котушок індуктивності в високочастотному діапазоні. В цьому методі досліджувана індуктивність L_x є частиною коливального контуру з еталонним конденсатором C_0 . Коливання f_0 в контурі $L_x C_0$ збуджуються зовнішнім генератором високої частоти (ВЧ). Генератор ВЧ підключається до контуру $L_x C_0$ через роздільний конденсатор C_1 (ємність 2-10 пФ).

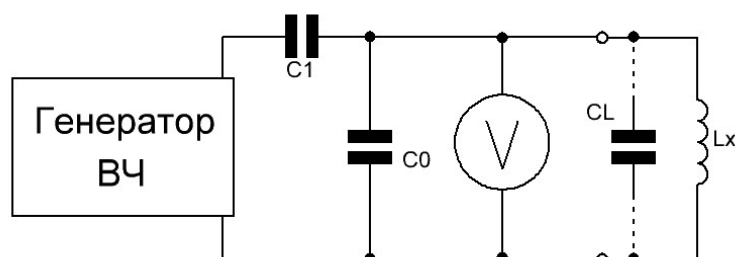


Рисунок 2.11 – Резонансний метод вимірювання індуктивності.

Власна (резонансна) частота $Lx C_0$ розраховується за формулою:

$$\omega_{LC} = \frac{1}{\sqrt{L_x C_0}}.$$

При умові резонансу частот генератора і власної контуру, тобто

$\omega \pi LC = 2 \pi f_0$, будемо мати наступне рівняння:

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_x C_0}}.$$

Задаючи частоту генератором, за показниками вольтметра шукаємо резонанс контуру, розрахуємо величину індуктивності за формулою:

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_0}.$$

До недоліків резонансного методу слід віднести необхідність оптимального вибору додаткової ємності, з урахуванням умов, що суперечать один одному, забезпечення точності та появи явного резонансу. До переваг слід віднести те, що резонансні схеми вимірювання індуктивностей і ємностей можна об'єднати в одному приладі, так як вони мають загальні елементи (ВЧ генератор, індикатор резонансу, елементи зв'язку).

2.4 Розробка схеми вимірювання

Головною метою розробки схеми – є створення універсального пристрою, який міг би вимірювати всі три параметри: R ; L ; C . Із представлених схем, для вимірювання я спочатку обрав метод амперметра-вольтметра.

Він надає достатню точність для більшості випадків вимірювання, має мінімум компонентів та легко автоматизується. Класичну схему вольт-амперного методу зображено на рисунку 2.12.

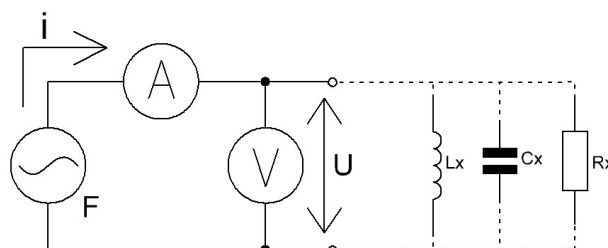


Рисунок 2.12 – Вольт-амперна схема виміру параметрів.

Ця схема є непрямим методом виміру параметрів. Для знаходження опору використовується закон Ома :

$$R_x = \frac{U}{I}$$

Вимірювання індуктивності передбачає, що реактивна складова буде суттєво перевищувати активну складову опору.

$$L_x \approx \frac{U}{I2\pi f}$$

Вимір ємності проводиться за наступною формулою:

$$C_x \approx \frac{I}{2\pi fU}$$

Головною перевагою даного методу є можливість реалізації даної схеми вимірювання на мікроконтролері. Таким чином, програмне забезпечення контролеру можна оснастити інтелектуальною моделлю різних компонентів, що дозволить йому спочатку визначити з яким компонентом він має справу. Визначити який компонент під'єднаний до схеми можна шляхом послідовного вимірювання його параметрів на кількох частотах, наприклад на низькій та високій частоті.

Відомо, що резистор має лише активний опір, тому струм, який проходить через нього не буде змінюватись залежно від частоти цього струму. У випадку індуктивності, струм на низькій частоті буде на порядок більший, ніж на високій частоті.

Конденсатор має більший опір при низькій частоті, і менший при високій. В програмі контролеру за допомогою простої логіки це дозволяє визначити тип підключеного компоненту, а потім провести виміри та розрахунки відповідно до визначеного типу компоненту.

Вимірювання з регульованим джерелом струму

Для живлення вимірюваного компоненту можна використовувати регульоване джерело струму. Суть вимірів залишається та сама, але живлення відбувається не напругою, а стабільним струмом.

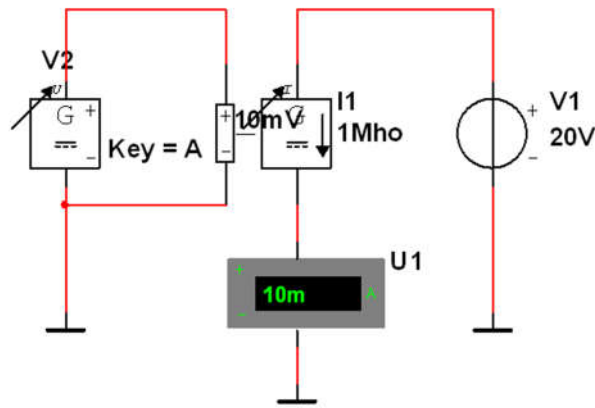


Рисунок 2.13 – Регульоване джерело струму.

На рис.2.13 зображене регульоване джерело струму із середовища Multisim. На вхід воно отримує напругу живлення та напругу управління, а на виході має стабілізований струм. При цьому, рівень струму прямо пропорційний напрузі управління, в даному випадку напруга управління становить 10мВ, і відповідно струм 10мА.

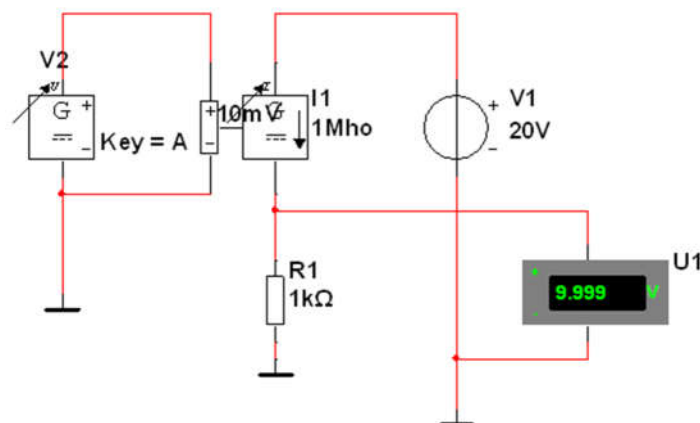


Рисунок 2.14 – Вимірювання опору.

Для того щоб виміряти опір резистору номіналом в 1кОм, слід пропустити через нього струм 10мА і виміряти падіння напруги на останньому. Вона становить майже 10В, що відповідає опору в 1кОм при струмі 10мА. Похибка вимірювань утворилась через певний опір присутній у вольтметра.

Для того, щоб не було похибки вимірювань слід встановити буферний повторювач в ланцюг вольтметра. Буферний повторювач має дуже великий опір на своєму вході, що не вносить значимих коректив в опір вимірюваного резистору. Натомість, вихідний опір такого повторювача малий, що дає змогу з великою точністю вимірювати напругу на його виході.

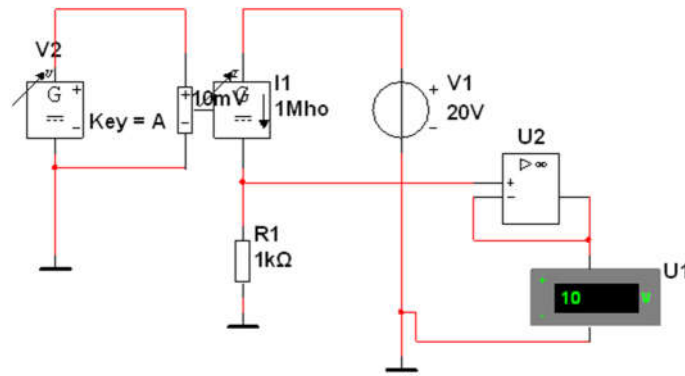


Рисунок 2.15 – Вимірювання опору з буферним повторювачем.

Для вимірів реактивних опорів, очевидно слід подавати змінний синусоїдальний струм. Після цього можна встановлювати реактивний опір та вимірювати напругу на ньому.

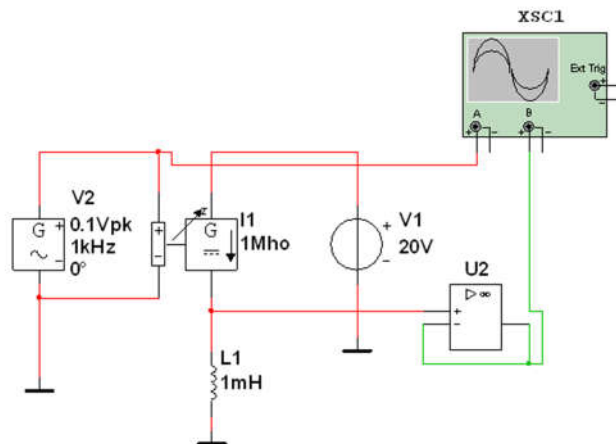


Рисунок 2.16. – Вимірювання індуктивності.

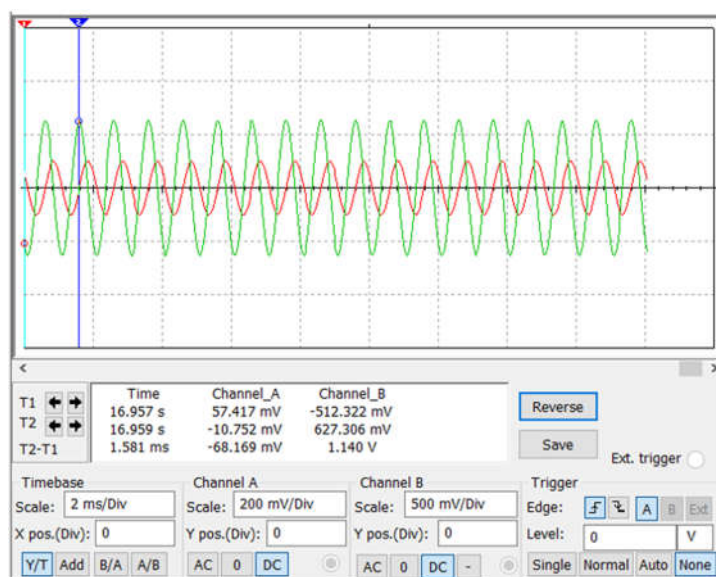


Рисунок 2.17 – Осцилограми напруги на індуктивності та на вході джерела струму.

На осцилографі видно, що амплітуда напруги на індуктивності становить 0.628В, амплітудний струм 0.1А, частота струму 1000Гц. Для розрахунку індуктивності нам необхідні діючі значення напруги та струму.

Наближені їх значення можна отримати помноживши амплітудне значення на 0,707:

$$U_{\text{діюче}} \approx 0.628 \times 0.707 = 0.443\text{В}$$

$$I_{\text{діюче}} \approx 0.1 \times 0.707 = 0.0707\text{А}$$

Потім підставляємо ці значення у формулу для того щоб знайти значення індуктивності:

$$L \approx \frac{0.443}{0.0707 \times 2\pi \times 1000} \approx 0.000997\text{Гн} = 0.997\text{мГн}$$

Похибка з'явилась через наближені значення напруги та струму, а також можливо через людський фактор амплітуда напруги була визначена трохи не правильно.

В цілому, вимірювання ємності відбувається точно так само, але розрахунок відбувається за іншою формулою.

Недоліком такого методу вимірювання є необхідність стабільного генератора синусоїдальної напруги. Якщо робоча частота буде тільки одна, то можна використовувати кварцовий генератор, але для вимірювань в широкому діапазоні потрібен широкодіапазонний генератор.

Слід зазначити, що дуже велику роль в точності вимірювань має якість джерела струму. Точність його параметрів на пряму впливає на точність вимірювання, тому бажано щоб його характеристики стабільності та лінійності були якнайкращими.

Висновок

В цій главі розглянуті різноманітні методи вимірювання активних та реактивних опорів, їх переваги та недоліки. Обрав та описав метод виміру з використанням керованого джерела струму.

3 ДЖЕРЕЛА СТРУМУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

3.1 Джерела струм

Джерело струму або генератор струму — елемент електричного кола, який забезпечує в ньому протікання певного електричного струму незалежно від напруги живлення. Джерело струму повинне мати великий внутрішній опір, таке щоб при зміні опору навантаження сила струму не змінювалась.

Є кілька основних характеристик, що характеризують джерело струму. Першою та основною з них є величина вихідного струму. По-друге, його вихідний опір, який визначає, наскільки струм джерела змінюється залежно від опору навантаження. Третя специфікація - це мінімальна і максимальна напруга на виході джерела, у якому вузол працює належним чином, тобто, вихідний транзистор перебуває у активному режимі. По-четверте, температурна стабільність та здатність протистояти коливанням напруги джерела живлення.

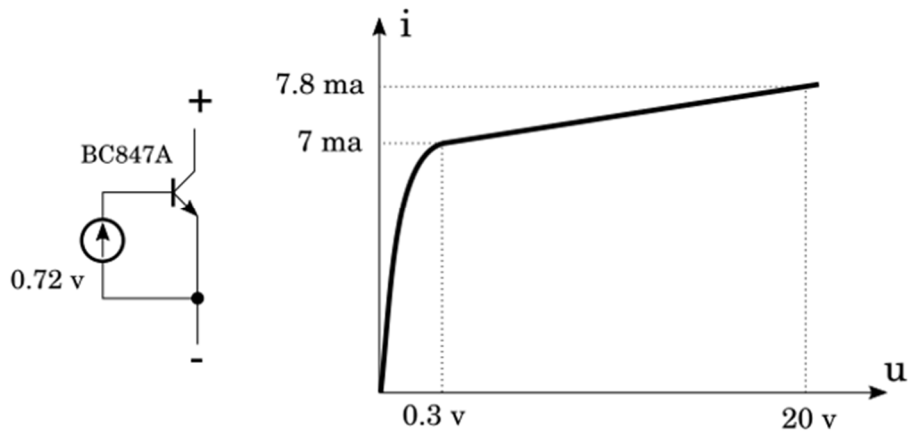


Рисунок 3.1. – Елементарний стабілізатор струму та його характеристика.

В цій схемі використовується окреме джерело напруги база – емітер, тому що при нульовій напрузі на базі транзистор буде закритий. Перехід база – емітер зміщений в прямому напрямку і струм крізь нього не можна рахувати рівним 0. Крім того, струм колектора залежить від не нульового струму база – емітер.

Напруга колектор – емітер впливає на струм колектору, так як змінюється поле колектору, яке витягує носії заряду з області бази. Через це ВАХ такого стабілізатора має нелінійність.

Внутрішній опір такого стабілізатора становить:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{20 - 0.3}{0.0078 - 0.007} = 24.6 \text{ кОм}$$

В коло емітера транзистора можна додати резистор, що дасть зворотній зв'язок по струму.

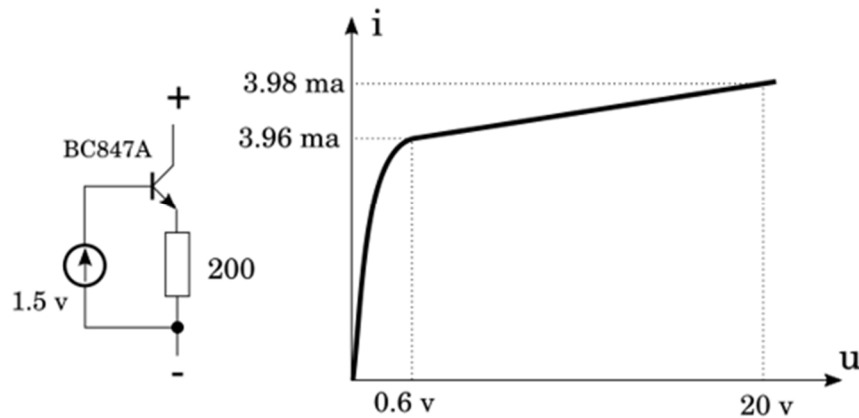


Рисунок 3.2 – Стабілізатор струму з резистором в колі емітера

В такому випадку мінімальна напруга виросла до 0.6В, але натомість внутрішній опір виріс аж до 970кОм.

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{20 - 0.6}{0.00398 - 0.00396} = 970 \text{ кОм}$$

Причина такої зміни проста, перехід база – емітер зміщений в прямому напрямку, і невеликій зміні напруги відповідає велика зміна струму бази, а значить і струму колектору. Зворотній зв'язок в цьому випадку більш глибокий.

Можна спробувати покращити характеристики джерела струму додавши підсилювач в ланцюг зворотного зв'язку.

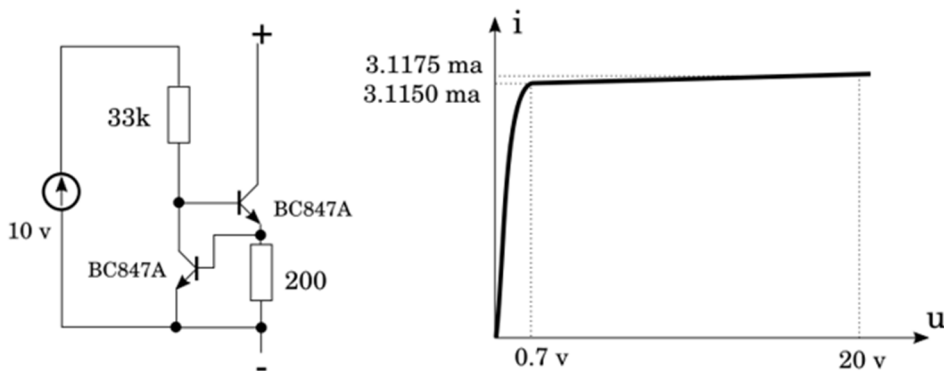


Рисунок 3.3 – Стабілізатор струму з додатковим підсилювачем в ланцюзі зворотного зв'язку.

В такому випадку, через сильний зворотній зв'язок ми отримали дуже гарну стабілізацію струму, внутрішній опір становить аж 7.7МОм. в більшості випадків таке джерело струму можна вважати ідеальним. Регулювання струму такої схеми відбувається шляхом підбору резистору в ланцюзі емітера основного транзистора. Резистор бази підсилювача має невеликий вплив на внутрішній опір, і в цілому підбирати його не слід.

Отже, для гарного джерела струму слід реалізувати глибокий зворотній зв'язок по струму, а також реалізувати можливість управління вихідним струмом без зміни елементів схеми.

3.2 Розробка джерела струму

Для реалізації зворотного зв'язку був обраний операційний підсилювач, силовим компонентом є PNP транзистор. дана схема не є повноцінним джерелом струму, у ній немає стабілізації струму від вхідної напруги. Стабілізація відбувається тільки при зміні опору навантаження.

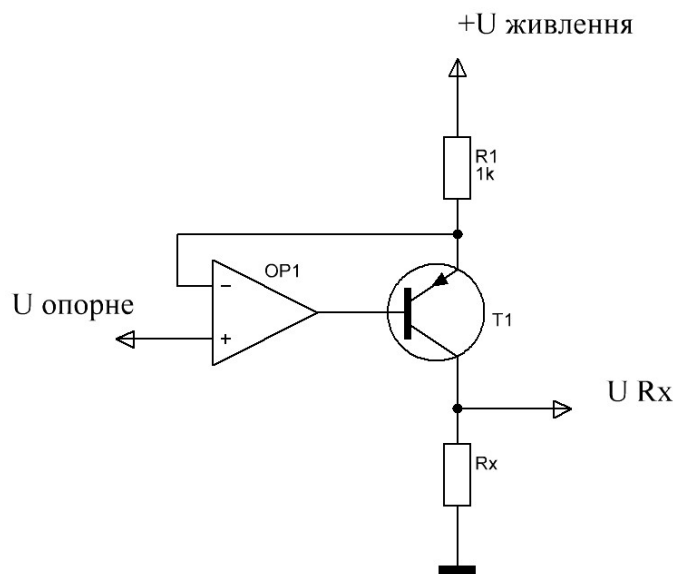


Рисунок 3.4 – Схема джерела струму з операційним підсилювачем.

Зворотній зв'язок реалізований через падіння напруги на резисторі $R1$. Операційний підсилювач та транзистор не вносять значних змін параметрів у схему, що дозволяє використовувати майже будь які з компонентів такого типу.

Якщо таку схему використовувати на великих значеннях струму, транзистор слід брати потужний та встановити його на радіатор, адже схема є лінійною (весь надлишок потужності просто розсіюється у тепло). Принцип роботи схеми лежить на порівнянні напруги зворотного зв'язку та опорній напрузі. Крізь резистор R1 протікає струм, і відповідно на ньому відбувається певне падіння напруги. Це падіння напруги зчитується інвертованим входом операційного підсилювача, а опорна напруга зчитується неінвертованим входом. Доти, доки $U_{\text{опорне}}$ більше ніж $U_{\text{падіння}}$ на інвертованому вході транзистор залишається відкритий, і через нього протікає струм. Це обумовлює збільшення падіння струму, що збільшує напругу на інвертованому вході до рівня неінвертованого входу. В цей момент схема стабілізується, і її вихідний струм є стабільний незалежно від навантаження. Розглянемо дану схему при напрузі живлення 12В та опорній напрузі 5В.

Умовою врівноваження вихідного струму є однакова напруга на обох входах операційного підсилювача. З цієї умови випливає, що на інвертованому вході ОП напруга також складатиме 5В, і відповідно падіння напруги на R1 складатиме:

$$U_{\text{живлення}} - U_{\text{опорне}} = 12 - 5 = 7 \text{ В}$$

Відомо, що опір R1 складає 1кОм, а напруга яка протікає крізь нього – 7В.

Знайдемо струм за законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{7}{1\,000} = 0.007 \text{ А}$$

Розрахований струм, що протікає через R1, T1 та навантаження, зважаючи, що напруга живлення становить 12В а опорна напруга 5В, становить 7мА. Даний результат був перевірений в програмі NI Multisim - програма для запису та моделювання електронних схем

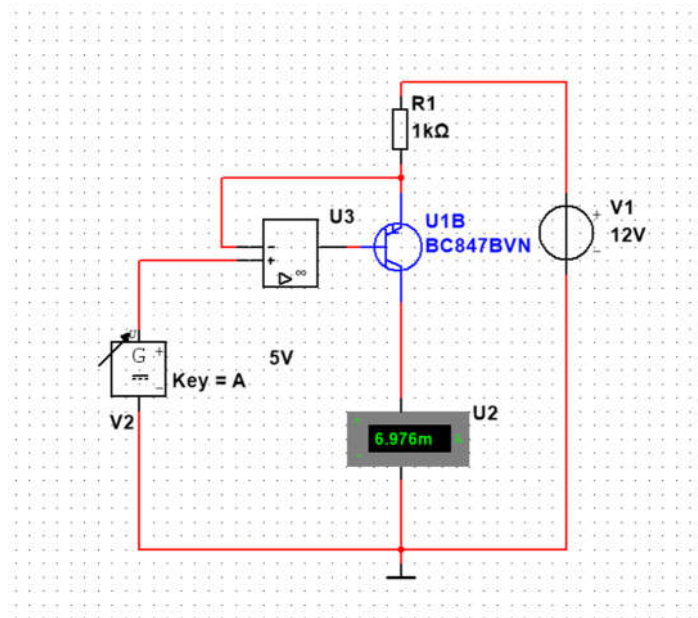


Рисунок 3.5 – Моделювання схеми в Multisim.

До недоліків такого джерела струму крім залежності від напруги живлення, ще можна віднести складність встановлення певного струму. Рішенням обох цих проблеми є ускладнення схеми шляхом внесення додаткового каскаду диференціального підсилювача.

Диференційний підсилювач – електронний підсилювач з двома входами, вихідний сигнал якого пропорційний різниці вхідних сигналів.

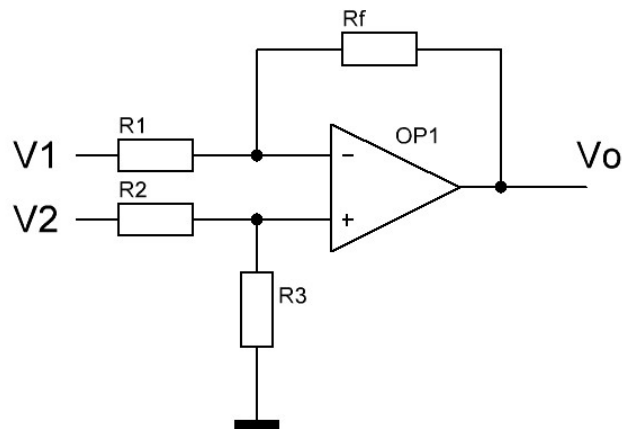


Рисунок 3.6 – Схема диференційного підсилювача на базі операційного підсилювача.

На неінвертований вхід підсилювача подається напруга живлення схеми, а на інвертований вхід подається напруга управління силою струму. Розрахунок вихідної напруги від вхідних сигналів відбувається за наступною формулою:

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} V_1 + V_2 \frac{R_f}{R_1 + R_f} \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

Для коректної роботи каскаду стабілізації струму, йому на вхід потрібно подавати напругу, рівну різниці напруги живлення та напруги управління. В такому випадку коефіцієнт диференційного підсилювача повинен становити 1. Таке значення можна легко отримати, встановивши всі резистори диференційного підсилювача одного номіналу.

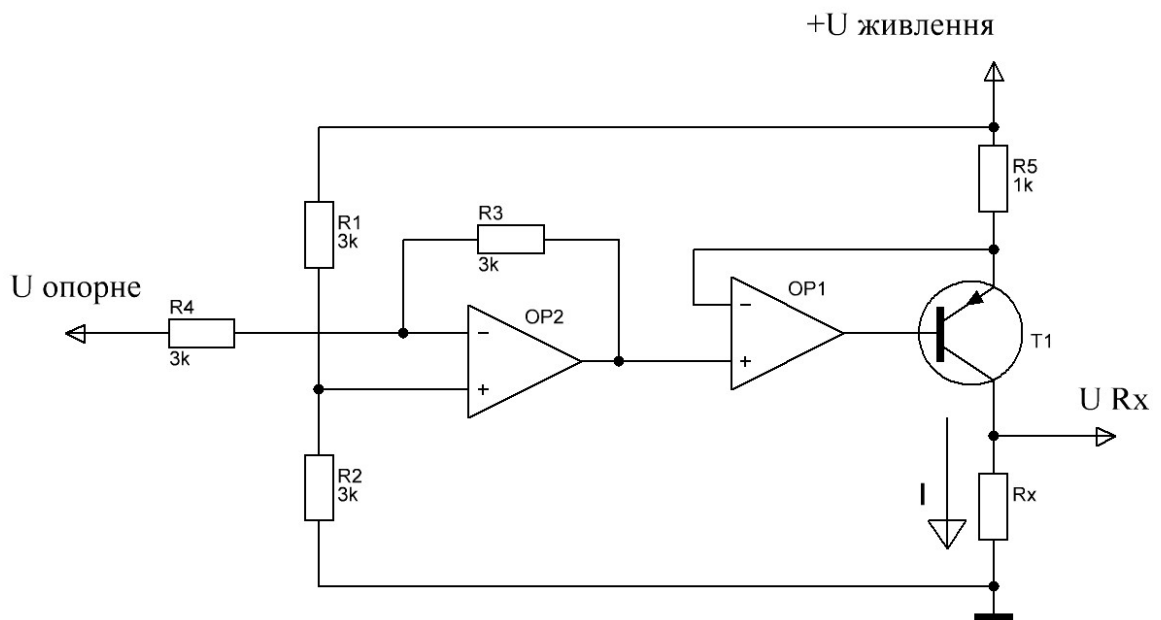


Рисунок 3.7 – Схема джерела струму.

Недоліком такої схеми є відносно малий опір в ланцюзі управління, що може викликати певні проблеми. Але, цю проблему легко можна вирішити додавши повторювач напруги, який ми розглядали в попередній главі.

3.3 Критерії операційного підсилювача та транзистору опорів

Головним критерієм вибору операційного підсилювача та транзистору є напруга живлення схеми та максимальний струм, що протікатиме крізь схему. Допустима напруга транзистору емітер – колектор повинна становити не менше, ніж напруга живлення всієї схеми. Також, допустима робоча напруга операційних підсилювачів повинна бути більшою, ніж напруга живлення схеми. Важливим критерієм є допустимий струм, який може видати на виході операційний підсилювач для керування транзистором. Різноманітними частотними та часовими характеристиками можна знехтувати, адже схема працює здебільшого в лінійному режимі або у відносно низькочастотному.

Зважаючи на те, що дана схема буде використовуватись в малопотужних режимах, і вихідний струм буде становити одиниці та десятки міліампер, а напруга живлення десятки вольт, були обрані наступні електронні компоненти:

Транзистор PNP 2n5401;

Операційний підсилювач LM358.

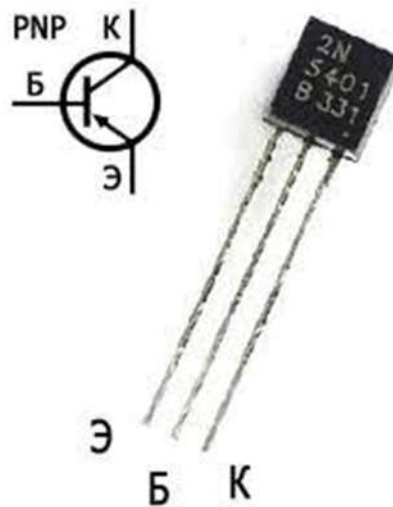


Рисунок 3.8 – PNP транзистор 2n5401.

LM358N

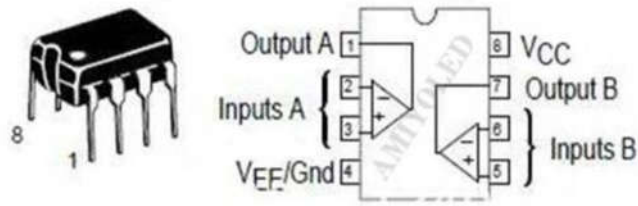


Рисунок 3.9 – Операційний підсилювач LM358.

Характеристики транзистору 2n5401:

Максимальний струм колектору	200мА
Максимальна напруга колектор-емітер	150В
Максимальна напруга колектор-база	160В
Коефіцієнт підсилення по струму	Не більше 300
Максимальна розсіювана потужність	625мВт

Характеристики операційного підсилювача LM358:

Дана мікросхема має в своєму корпусі два однакових операційних підсилювачі, що дозволяє зменшити кількість компонентів при збірці схеми.

Напруга живлення при однополярному живленні	3-32В
Напруга живлення при двополярному живленні	+/-1.5В - +/-16В
Максимальний вихідний струм	40мА
Максимальна розсіювана потужність	830мВт
Кількість операційних підсилювачів в одному корпусі	2
Максимальна вихідна напруга	$U_{\text{живлення}} - 1.5\text{В}$

Резистори в дані схемі мають безпосередній вплив на характеристики точності схеми. Так, розбіжність резисторів диференційного підсилювача викликає зміну його коефіцієнта, що в свою чергу викликає нелінійність вихідного струму від керуючого сигналу. Резистор R5 (рис.3.7) безпосередньо впливає на рівень вихідного струму, тому він має бути точним та термостабільним. Для правильної та коректної роботи схеми слід встановити резистори точністю 1%. Розсіювана потужність резисторів диференційного підсилювача при максимальній напрузі живлення з даним операційним підсилювачем (32В) становить не більше 75мВт. Розсіювана потужність на резисторі R5 при вихідному струму до 10мА становить не більше 100мВт. Зважаючи на ці показники, вважаю, що для легкості монтажу та запасу по потужності слід встановити резистори з розсіюваною потужністю до 0.25Вт.

Список компонентів для зборки схеми:

Номинал	Кількість
Резистор 3К 0.25Вт 1%	4 шт.
Резистор 1К 0.25Вт 1%	1 шт.
Транзистор 2n5401	1 шт.
Операційний підсилювач LM358	1шт.

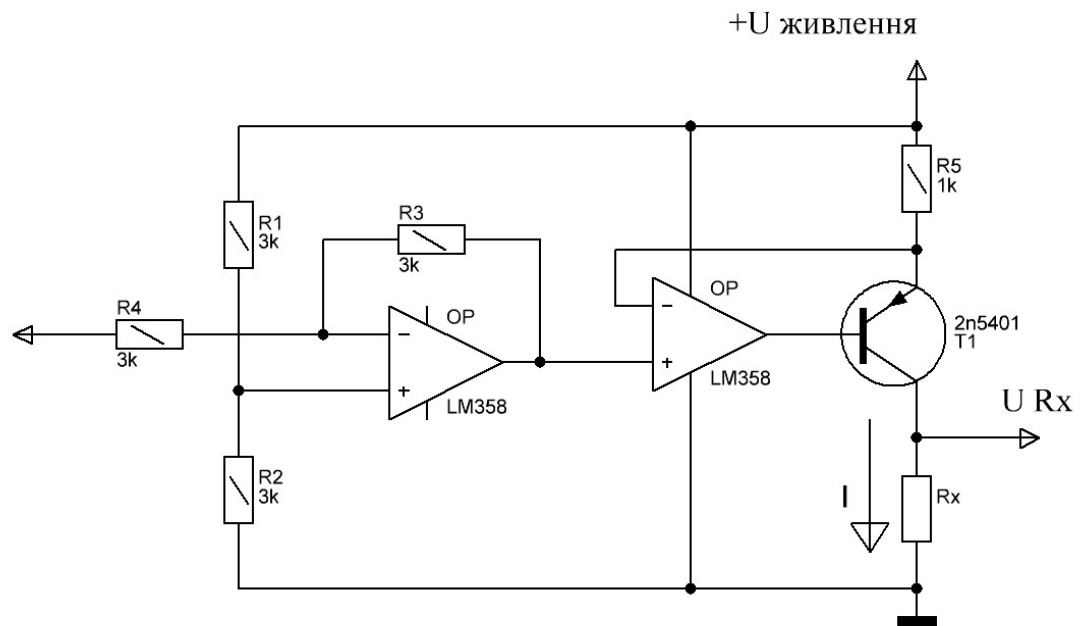


Рисунок 3.10 – Схема прецизійного стабілізованого регульованого джерела струму з заземленим навантаженням.

3.4 Симуляція та дослідження схеми в середовищі NI Multisim

Для досліджень схема (рис.3.10) була зібрана в робочому полі Multisim.

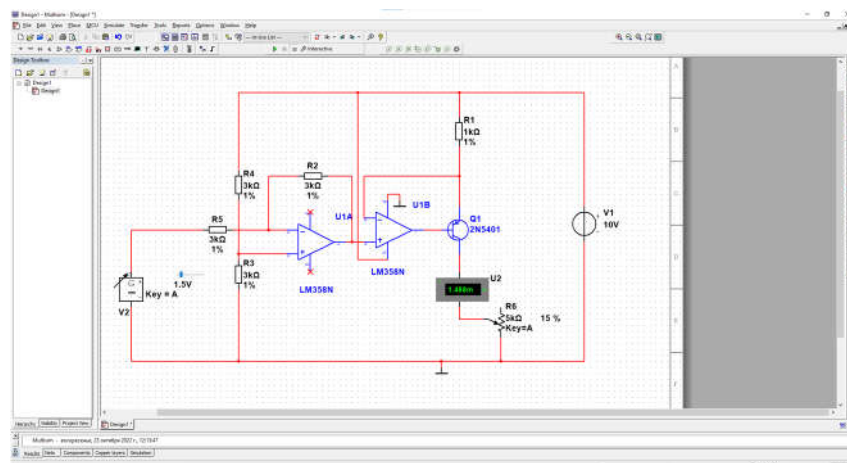


Рисунок 3.11 – Схема джерела струму зібрана в середовищі Multisim.

Дане джерело струму буде досліджуватись за наступними критеріями:

- Залежність вихідного струму від вхідної напруги;
- Вихідний опір;
- Залежність вихідного струму від керуючої напруги;
- Залежність вихідного струму від опору навантаження.

Результатом досліджень стануть графіки, які будуть описувати характеристики схеми.

Для початку досліджень слід зайти у вкладку Simulate, потім в Analyses and simulation, після чого відкриється відповідне вікно програми.

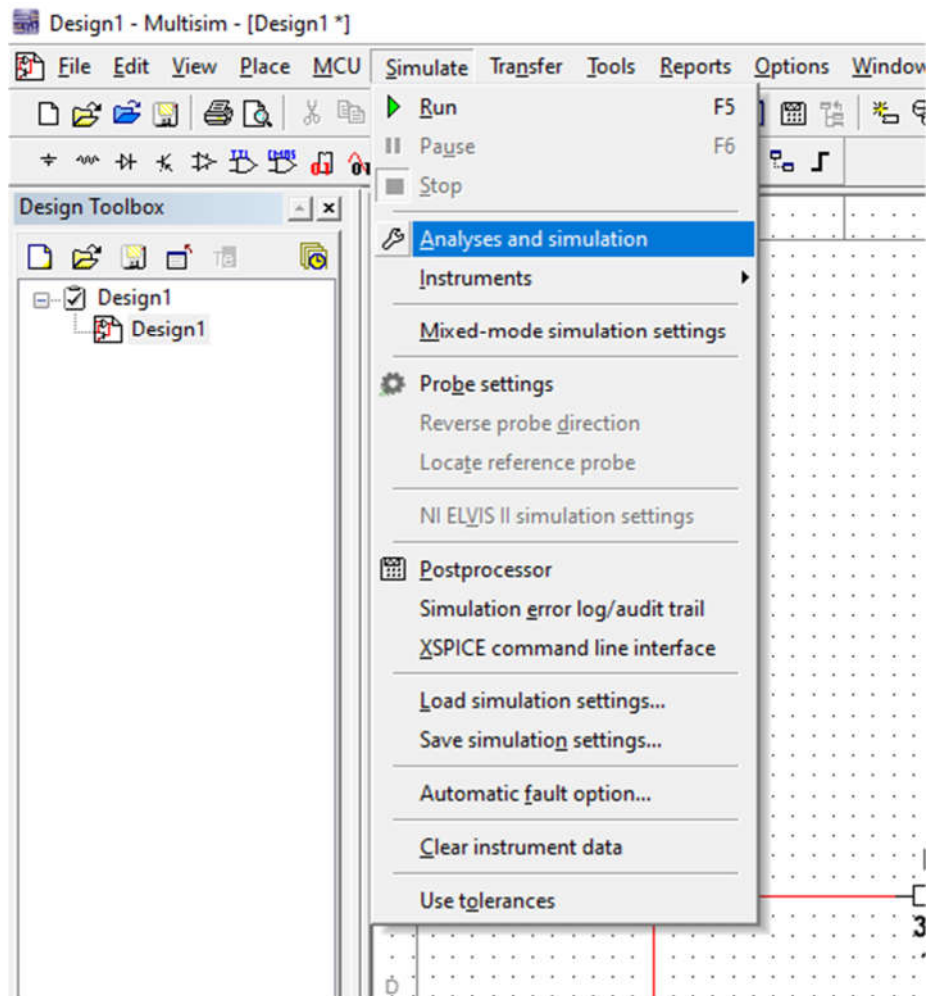


Рисунок 3.12 – Вміст вкладки Simulate.

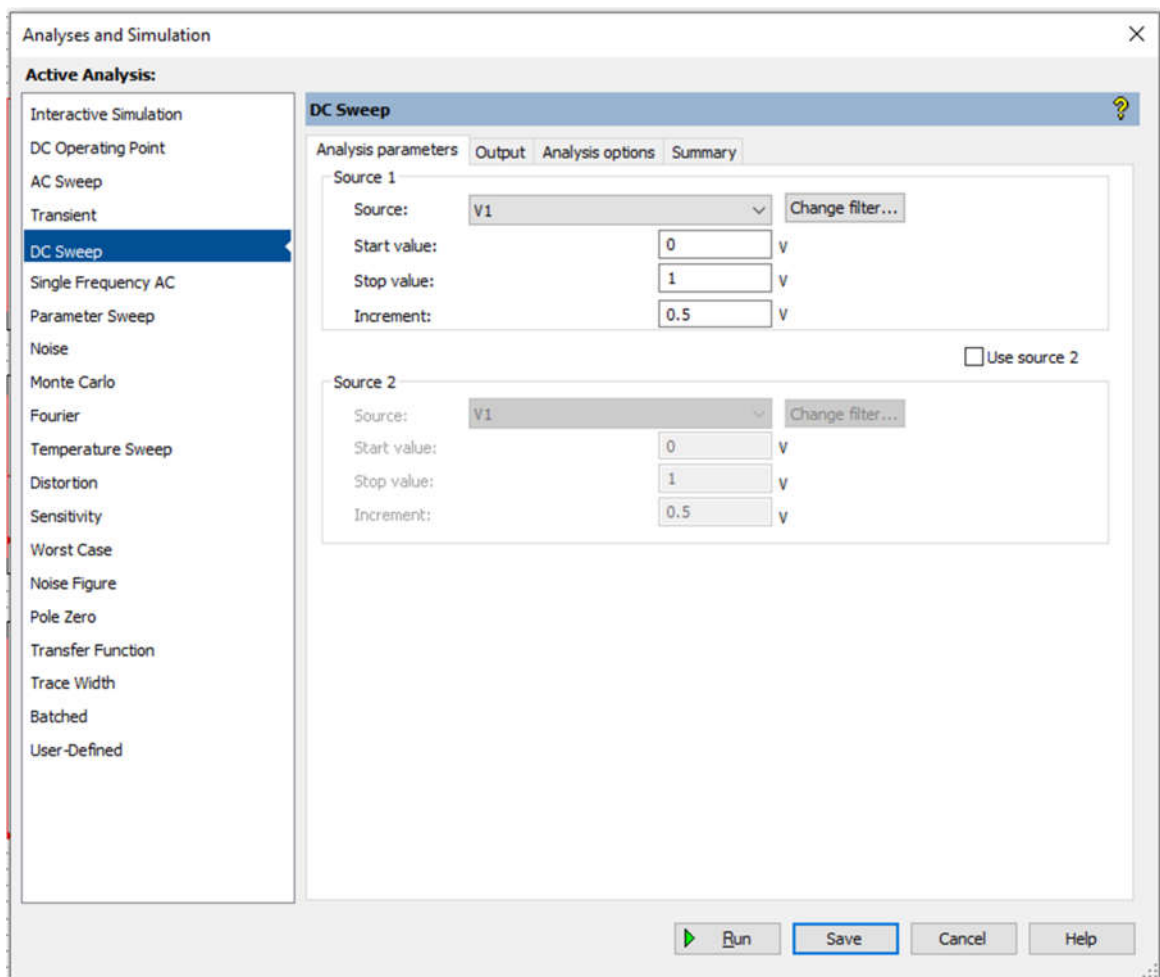


Рисунок 3.13 – Вікно Analyses and simulation.

Нас цікавить режим DC Sweep. В першому вікні (Analysis parameters) потрібно вибрати вхідний параметр, який буде змінюватись. Наприклад, джерело напруги, яке буде змінюватись в певних межах з певним кроком. У вікні Output потрібно обрати що саме вимірюються, в даному випадку це буде струм що протікає через резистор навантаження. В результаті ми отримаємо графік струму, що протікає через резистор, від напруги живлення схеми.

Залежність вихідного струму від напруги.

Зважаючи, що напруга живлення операційного підсилювача лежить в межах 3-32В, то саме такі межі виміру були обрані. Керуючий сигнал встановлений на рівні 3В, що відповідає вихідному струму на рівні 3мА. Вимір струму відбувається на резисторі номіналом 0,1К. Крок зміни напруги при вимірюванні встановлений на рівні 0.5В.

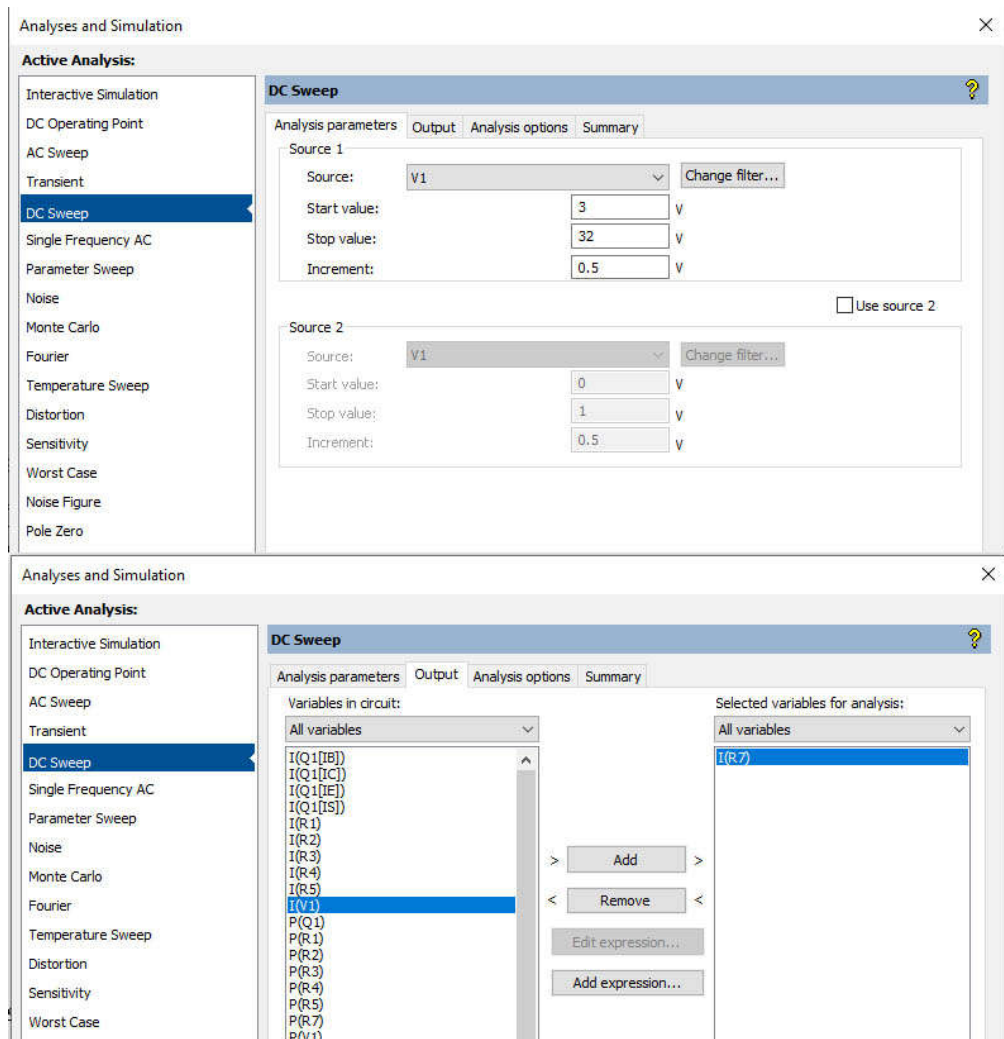


Рисунок 3.14. – Налаштування для вимірів.

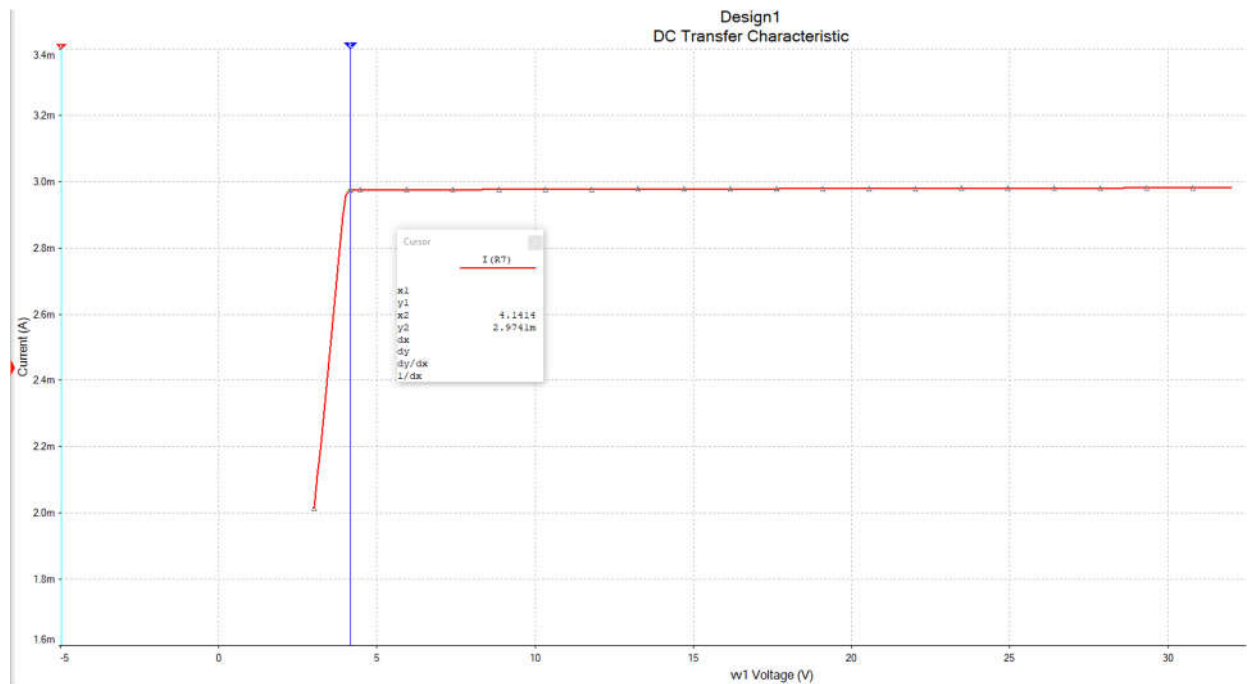


Рисунок 3.15 – Залежність вихідного струму від напруги живлення (3-32В).

На графіку чітко видно, що при досягненні напруги живлення 4В графік вирівнюється та має майже ідеальну лінійну характеристику. Цей вимір не демонструє в повній мірі нелінійність струму від напруги живлення, тому був проведений ще один вимір з напругою в межах 4.5-32В.

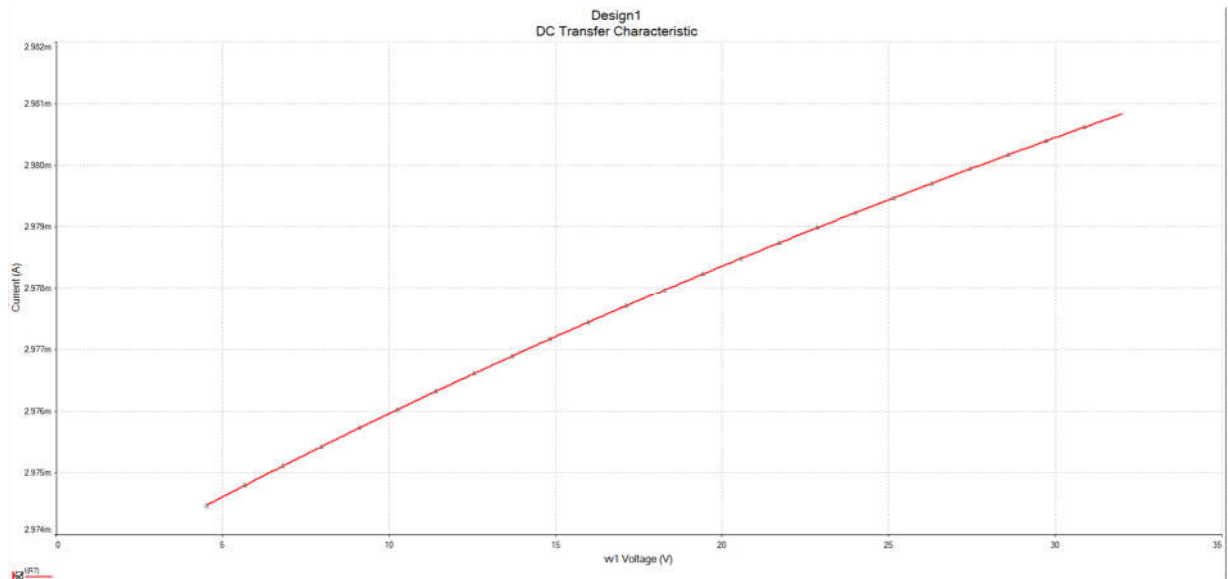


Рисунок 3.16 – Залежність вихідного струму від напруги живлення (4.5-32В).

На графіку можна бачити лінійну залежність вихідного струму від вхідної напруги, але ця залежність надзвичайно мала. Струм при різній напрузі живлення наведений на таблиці нижче:

4.5В	12В	24В	32В
2.9745 мА	2.9765 мА	2.9793 мА	2.9808 мА

Різниця струму між мінімальною та максимальною напругою живлення становить:

$$2.9745 - 2.9808 = 0.0063\text{мА}$$

Нелінійність джерела струму в межах живлення 4.5 – 32В становить 0.2%, що є дуже гарним показником.

Внутрішній опір розраховується за наступною формулою:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{32 - 4.5}{0.0029808 - 0.0029745} \approx 4.36\text{мОм}$$

Отримали дуже гарне значення. В цілому в більшості випадків таке джерело струму можна вважати ідеальним.

Залежність струму від напруги управління

Для цього дослідження схема не змінювалась. Напруга живлення схеми становить 20В, опір навантаження – 0.1К, керуюча напруга – 0 – 10В з кроком 0.1В.

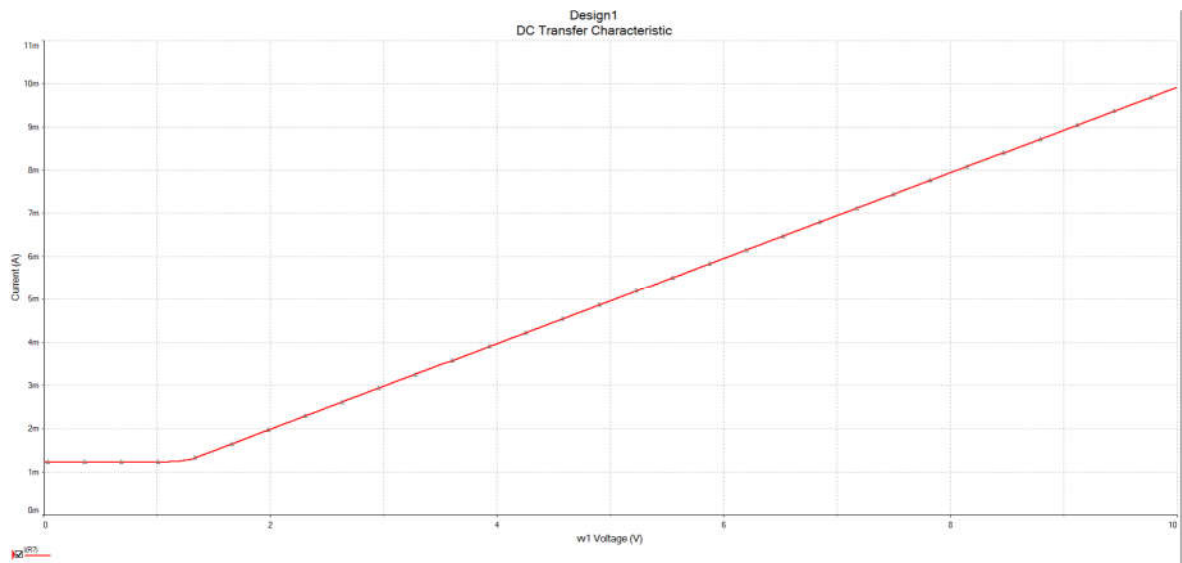


Рисунок 3.17 – Залежність струму від напруги управління.

З графіку можна бачити, що струмом легко можна керувати в межах 1.3 – 10мА.

Нижня границя мінімального струму обумовлена характеристикою операційного підсилювача, що входить в склад диференційного підсилювача. А саме, максимальна вихідна напруга операційного підсилювача є меншою, ніж напруга живлення останнього, тому на виході такого диференційного підсилювача напруга завжди буде менша ніж напруга живлення. В цій схемі джерела струму це проявляється у вигляді не можливості управління струмом в межах 0 – 1.3мА. Ця характеристика на пряму залежить від максимальної напруги, яку може видати операційний підсилювач при певному живленні. При використанні інших операційних підсилювачів можна добитись більш малих значень мінімального струму.

При цьому, струм трохи відрізняється від заданого, що свідчить про невелику похибку. Показники струму при різних показниках напруги, а також відсоток похибки при цих значеннях приведені на таблиці нижче:

1.5В	3.5В	5В	7.5В	10В
1.489мА	3.478мА	4.959мА	7.442мА	9.92мА
0.73%	0.62%	0.82%	0.77%	0.8%

Можна бачити, що похибка по всьому діапазоні зберігається майже на одному рівні. Нелінійність в діапазоні 1.5 – 10мА становить 0.2%. Відхилення струму від значення напруги в середньому становить 0.74%, таке відхилення відбувається через не ідеальні характеристики вихідного транзистору (до вихідного струму також входить струм бази транзистору) Також, так як це відхилення має лінійну природу, його можна компенсувати системою управління або-ж резистором вихідного каскаду.

Залежність вихідного струму від опору навантаження.

Дане дослідження показує як змінюється струм, що видає схема при навантаженнях різного опору. Для цього у вікні Analyses and Simulation слід вибрати вкладку Parameter Sweep. Далі в цьому вікні вводяться необхідні параметри, вибирається потрібний тип графіку.

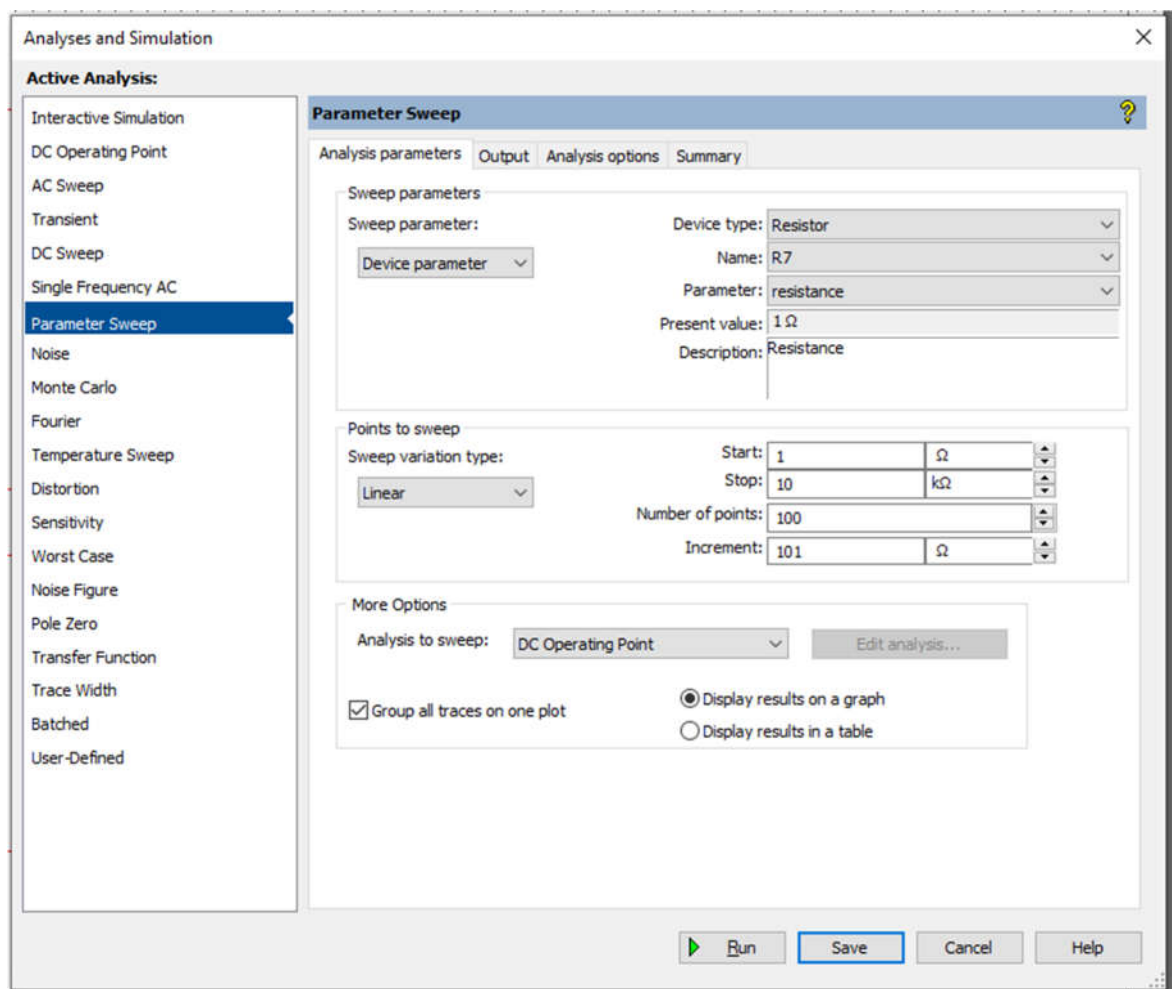


Рисунок 3.18. – Вкладка Parameter Sweep.

Дослідження проводились із наступними параметрами:

- Напруга живлення схеми – 30В;
- Встановлений струм – 5мА;
- Діапазон опору навантаження 1 – 10 000 Ом.

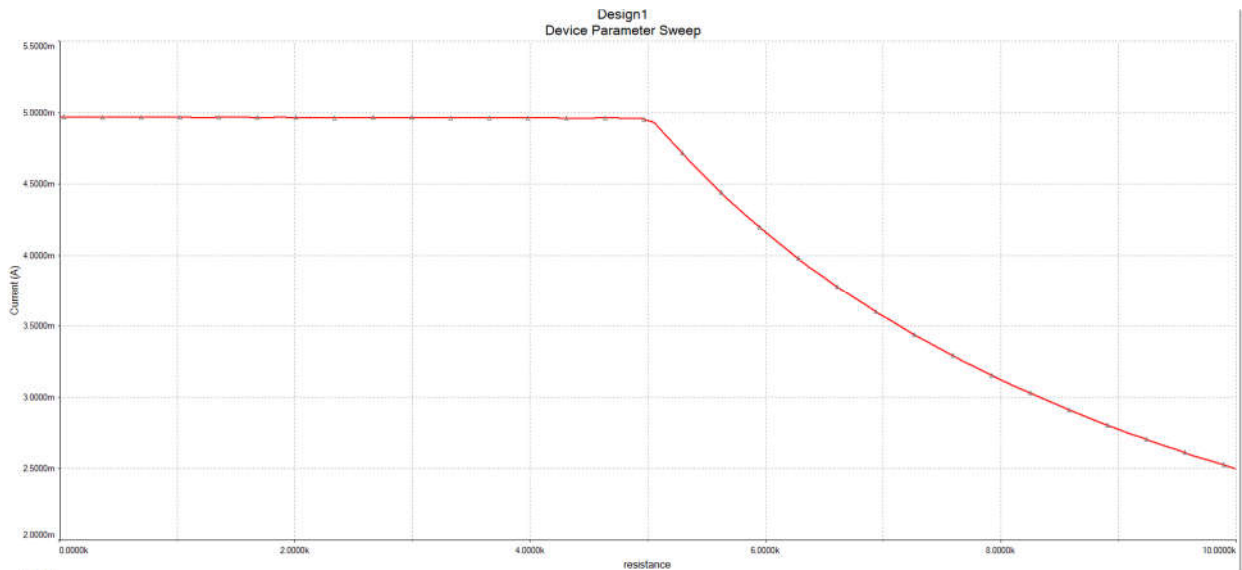


Рисунок 3.19 – Залежність струму від опору навантаження (1Ом – 1кОм).

На початку графіку спостерігається стабілізація струму на рівні близькому 5мА, потім, при досягненні опору в 5кОм напруги живлення стає недостатньо для підтримання заданого рівня струму, і спостерігається поступовий спад струму. Слід зазначити, що дана схема не може забезпечити повну напругу живлення на опір навантаження, адже для роботи їй необхідний резистор в колі струму. В даному випадку цей опір становить 1кОм, він додається до опору навантаження 5кОм, і за законом Ома можна підтвердити що необхідний опір для протікання струму в 5мА при 30В становить 6кОм. При більших значеннях опору досягти струму 5мА при напрузі живлення 30В неможливо.

Даний графік малоінформативний в діапазоні стабілізації струму, тому експеримент був повторений з цими-ж налаштуваннями, але в межах опору до 5кОм.

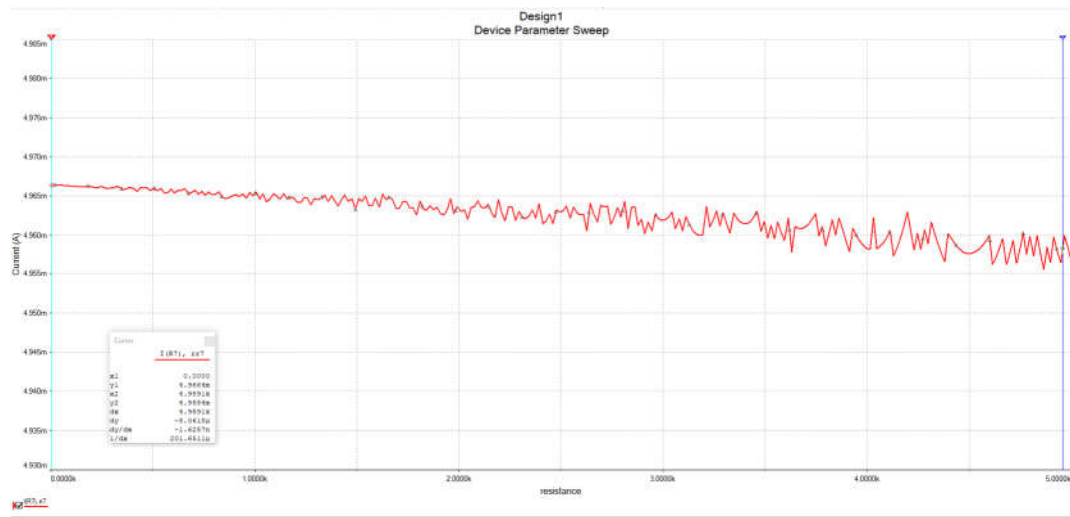


Рисунок 3.20 – Залежність струму від опору навантаження (1Ом – 5кОм).

Графік вийшов досить шумний на великих значеннях опору, причиною цього можуть бути шуми резисторів, транзистору та операційного підсилювача. Вважаю, що шум не значний і не вносе значимих змін в роботу схеми.

Також спостерігається тенденція зменшення струму при збільшенні опору. На діапазоні опору 0 – 5кОм і струму, встановленому на рівні 5мА, різниця струму між мінімальним та максимальним опором склала 0.008мА, а це 0.16%. Це є дуже гарним показником точності.

3.5 Характеристики джерела струму

При дослідженні були отримані наступні параметри схеми джерела струму:

Допустима напруга живлення	4.5 – 32В
Вихідний струм	1.5 – 10мА
Вхідна керуюча напруга	1.5 – 10В
Внутрішній опір	4.36мОм
Відхилення значення струму від значення керуючої напруги	-0,74%
Нелінійність вихідного струму від керуючого сигналу	0.2%
Нелінійність вихідного струму від напруги живлення	0.2%
Нелінійність вихідного струму від опору навантаження (5мА, 0 – 5кОм)	0.16%

Дана схема має відмінні показники точності, тому її можна використовувати для побудови різноманітної вимірювальної апаратури. Ця схема легко масштабується, і за необхідності можна легко отримати вихідний струм в одиниці та навіть десятки ампер. Такі показники досягаються шляхом зміни транзистору вихідного каскаду. Для ще більших потужностей можна використовувати сучасний польовий транзистор, адже зазвичай вони мають великий допустимий струм, а також вони керуються напругою а не струмом, що зменшує вимоги до операційного підсилювача. При встановленні в якості силового компонента N – мосфету, інвертований та неінвертований вхід другого операційного підсилювача (той на якому реалізований зворотній зв'язок) слід змінити місцями.

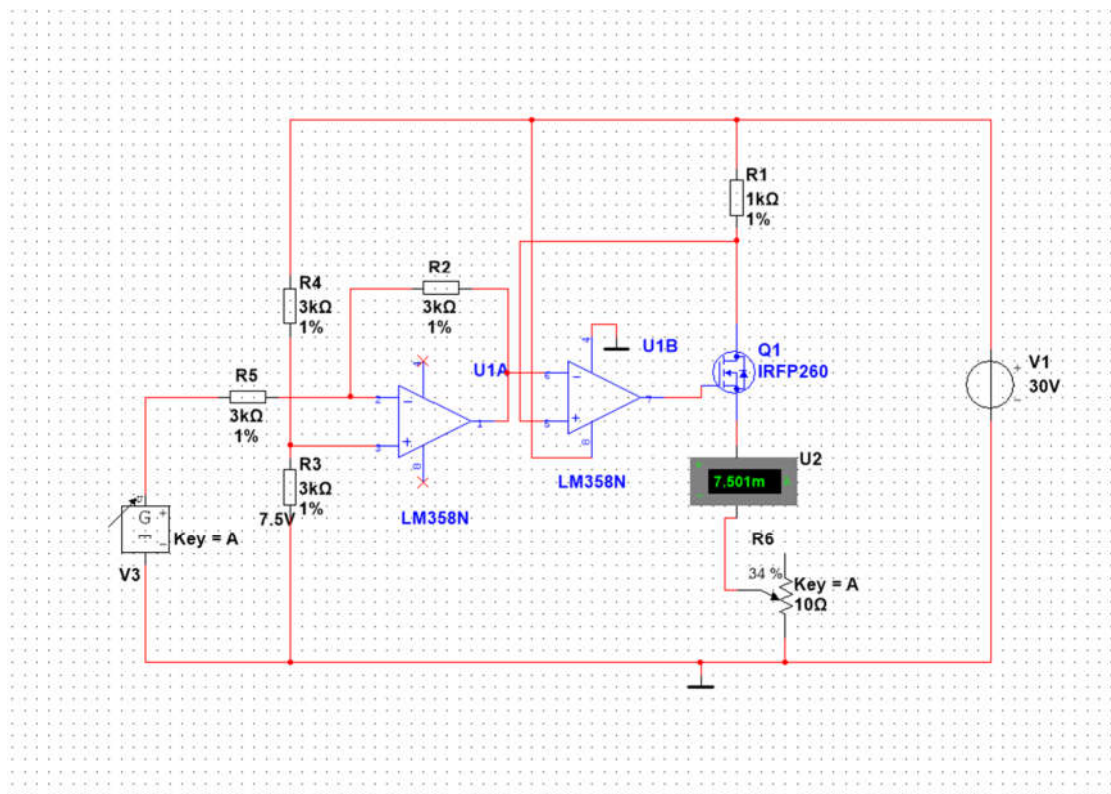


Рисунок 3.21 – Джерело струму з вихідним каскадом на польовому транзисторі.

Слід зауважити, що дана схема працює в лінійному режимі, і при великому струмі на силовому компоненті буде виділятися суттєва теплова енергія. В такому випадку при виборі транзистору слід звернути увагу на його максимальну теплову потужність, а також його необхідно встановити на радіатор охолодження.

Висновок

В цій главі розглянуті базові семи джерела струму. Після цього розроблена регульована схема прецензійного джерела струму з заземленим навантаженням, описані її складові та принцип роботи. Обумовлений вибір певних електронних компонентів, їх характеристики, а потім проведене дослідження електронної схеми. Отримані результати, зважаючи, що вони отримані в результаті комп'ютерної симуляції мають відмінні показники. В реальному пристрої вони звісно будуть гірші, але вважаю, що при різних ймовірних відхиленнях в реальній схемі точність не буде падати нижче 1%.

					13. ДР. 123. 4651. 05. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ

4.1 Архітектура та схема вимірювального пристрою.

В сучасному світі рівень цифровизації дуже високий, тому вважаю за потрібне реалізувати даний вимірювальний комплекс на мікроконтролері. Таке рішення позбавить користувача необхідності власноруч розраховувати параметри вимірюваних компонентів, всі обчислення будуть відбуватися в мікроконтролері.

Головною задачею є об'єднання схеми джерела струму з схемою управління на мікроконтролері. Для вимірювання реактивних опорів на вхід джерела струму слід подавати синусоїдальну напругу, але мікроконтролер не вміє генерувати такий сигнал. Рішенням цієї проблеми може стати мікросхема AD9833 – це програмований генератор сигналів різної форми в широкому діапазоні частот.

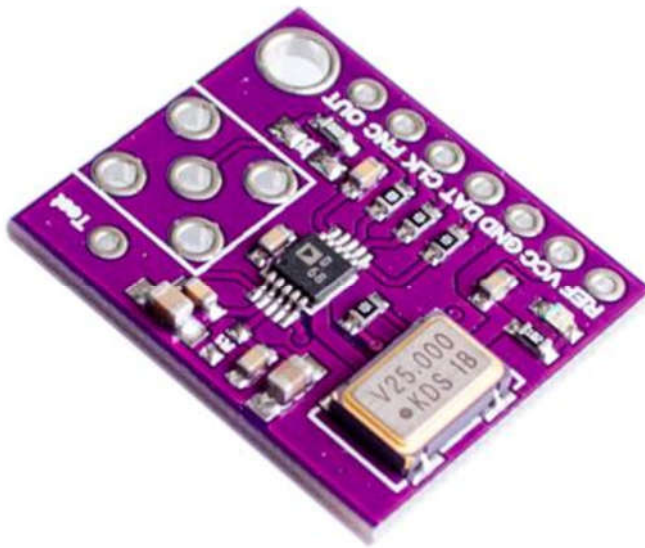


Рисунок 4.1 – Програмований генератор сигналів AD9833

Характеристики AD9833:

Діапазон вихідних частот	0Гц – 12.5мГц
Напруга живлення	2.3 – 5.5В
Інтерфейс	SPI
Роздільна здатність	28 біт (0.1Гц при опорному сигналі 25мГц)
Форма сигналу	Синус, трикутник та меандр

Даний модуль має відмінні показники точності вихідної частоти, адже вони трактуються кварцовим генератором. Точність кварцового генератора становить PPM50, а це 50Гц на кожен 1мГц. Частота генератора 25мГц, тому

$$25 \times 50 = \pm 1250 \text{Гц}$$

В результаті маємо вихідну частоту з точністю не менше ніж 0.005%.

Слід зазначити, що в дані схемі немає сенсу використовувати дуже високі частоти. Генератор сигналів буде працювати в межах від сотень герц, до десятків кілогерц.

Вихід генератора сигналів має не високу потужність, а тому його сигнал може спотворюватись через низький вхідний опір джерела струму. Для того щоб це не відбувалось, між генератором сигналу та джерелом струму слід встановити буферний повторювач.

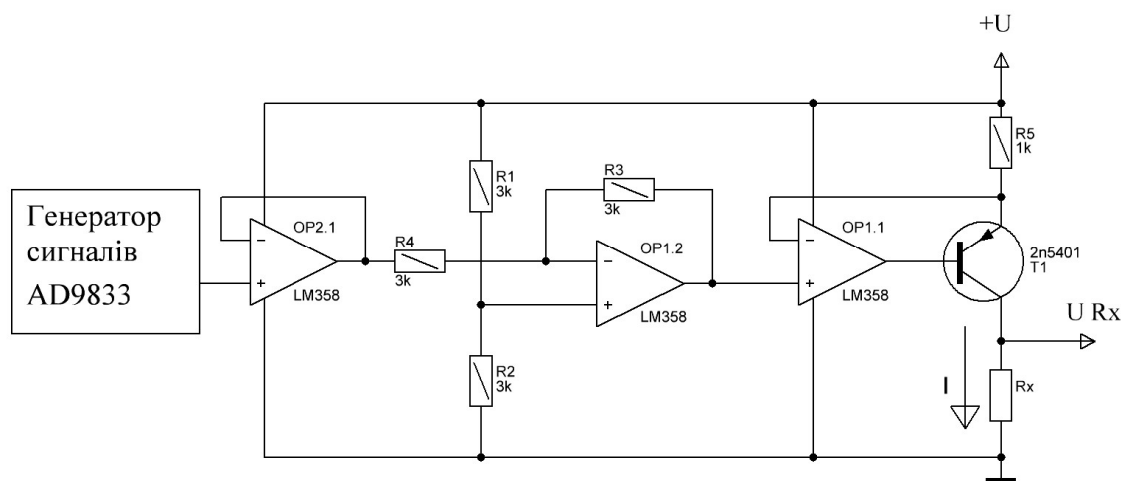


Рисунок 4.2 – Генератор сигналів під'єднаний до схеми джерела струму.

Вимірювання напруги на вимірюваному компоненті можна проводити декількома методами, але я обрав метод з використанням АЦП. Як вже говорилося в попередній главі, для того щоб не вносити змін у вимірювані параметри, напругу слід зчитувати через буферний повторювач.

АЦП повинен бути відносно швидкодіючий, щоб зафіксувати верхню та нижню напівхвилі синусоїди. В ідеалі частота АЦП повинна перевищувати частоту струму у 2 рази. У мікроконтролерів серії ATMEGA частота АЦП не перевищує 10кГц, а значить максимальна частота виміру буде не більше 5кГц. Ще одним важливим параметром є кількість біт АЦП. Цей параметр впливає на роздільну здатність, і відповідно на точність вимірювань. У контролерах зазвичай це 10 біт, що дає нам 1023 можливих значення АЦП. Так, якщо АЦП буде працювати в межах 0 – 5В його роздільна здатність становитиме $5/1024=4.9\text{мВ}$.

Для вимірювання амплітудної напруги із значень АЦП слід зробити вибірку, знайти найбільше та найменше її значення, відняти їх і отримується амплітуда напруги. Потім цю амплітуду можна використовувати в розрахунках вимірюваного параметру.

Для початку можна використовувати АЦП самого мікроконтролеру, але для підвищення точності вимірювань слід використати зовнішній, більш швидкодіючий та з більшою роздільною здатністю АЦП.

На точність вимірів також впливає опорна напруга АЦП, вона використовується як еталон для виміру, і тому безпосередньо впливає на точність вимірюваної напруги.

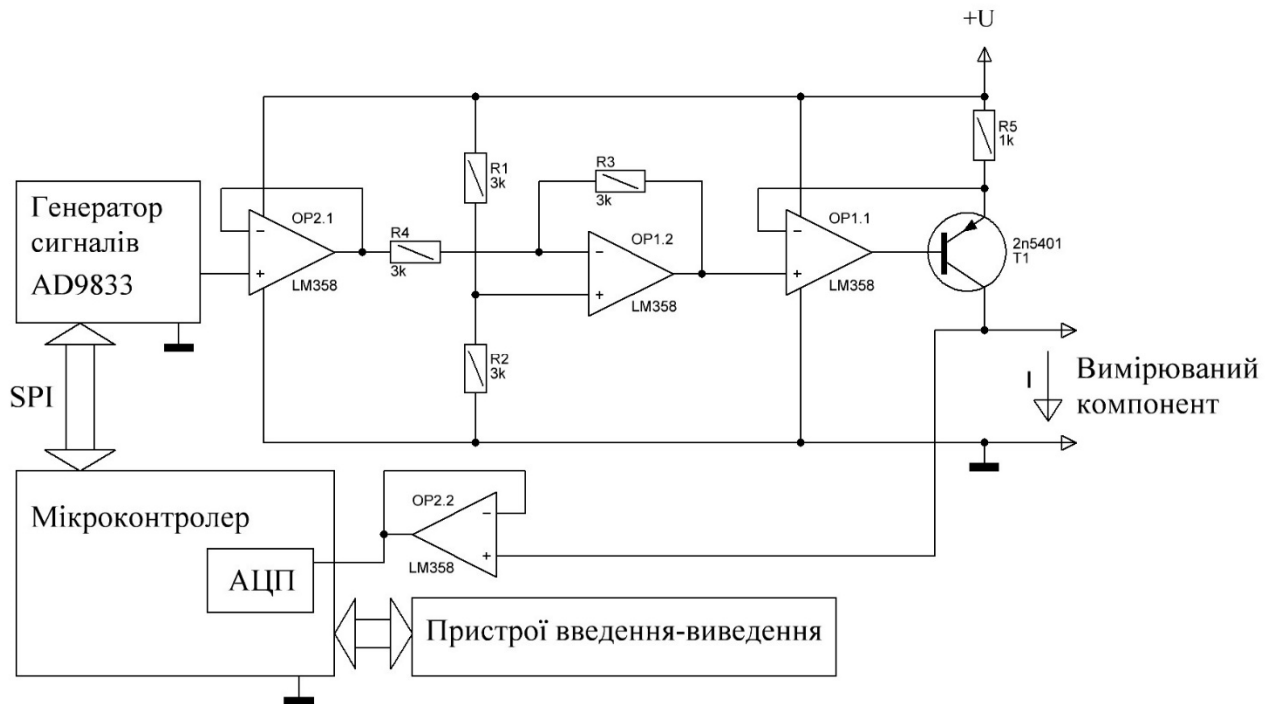


Рисунок 4.3 – Загальна схема вимірювального пристрою.

4.2 Характеристики вимірювального пристрою

На характеристики точності може впливати ряд факторів, а остаточна точність вимірювань залежить від всіх них разом взятих. Такими факторами є:

- Точність встановлення частоти;
- Точність встановлення вихідного струму та амплітуди;
- Стабільність струму незалежно від напруги живлення;
- Роздільна здатність АЦП;
- Джерело опорної напруги АЦП;
- Похибки при обрахуванні результату в мікроконтролері.

Всі ці фактори мають той чи інший вплив на вимірюваний параметр, і вносять свої похибки.

Оцінювати характеристики точності в такому випадку буде складно, адже на відміну від моделей в реальному житті у пристрої можуть з'явитись інші фактори, наприклад нагрів компонентів, неякісний АЦП чи генератор сигналів, розбіжність параметрів ОУ та резисторів, тощо.

Діапазон вимірюваних параметрів також залежить від параметрів АЦП, а саме від його роздільної здатності та максимальної частоти дискретизації. Наприклад, при вимірі індуктивностей малих значень, на низьких частотах падіння напруги буде замалим щоб його виміряти, тому слід використовувати більш високу частоту струму під час вимірів. А це ускладнює вимір діючої напруги на самій індуктивності.

Для різних конфігурацій системи будуть різні межі вимірювання. Критерієм є достатнє значення напруги падіння на опорі для її точної фіксації. Розглянемо межі вимірювання індуктивності з АЦП частотою 10кГц та межами вимірювання 0-5в. На близько нульових значеннях напруги буде велика похибка, тому нижня межа падіння напруги на АЦП буде 0.3В. Максимальна частота струму 5кГц. Струм в межах 1.3 – 10мА.

Мінімальне значення індуктивності в такому випадку становить 1.5мГн, а максимальне 1Гн.

Висновок

В цій главі розглянутий приклад створення вимірювального пристрою на основі розробленого джерела струму. Розглянуті деякі особливості які впливають на точність вимірювань та їх межі. Загалом обмежуючим фактором є характеристики АЦП.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні вимоги до безпеки

5.1.1 До самостійної роботи з радіоелектронним обладнанням допускаються:

- Особи чоловічої і жіночої статі, які досягли 18 років;
- Особи, які пройшли медичний огляд і допущені за станом здоров'я до роботи;
- Особи, які пройшли навчання за технічною професією;
- Особи, які пройшли перевірку знань з електробезпеки в обсязі не нижче IV групи при напрузі вище 1000 В і не нижче III групи - при напрузі до 1000 В;
- Особи, які пройшли вступний інструктаж і первинний інструктаж на робочому місці, освоїли безпечні методи і прийоми виконання робіт.

Працівник повинен:

- Дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- Не курити, не розпивати спиртні напої поряд з обладнанням.

5.1.2 На працівника можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- Підвищена температура поверхонь інструменту;
- Підвищене значення напруги в електричному ланцюзі.

Працівник повинен:

- Вміти надавати першу долікарську допомогу потерпілому при нещасних випадках. Знати, де знаходиться аптечка з набором медикаментів, і при необхідності забезпечити доставку (супровід) потерпілого до лікувальної установи;
- Дотримуватися правил санітарної та особистої гігієни;
- Не куштувати їжу на робочому місці;
- Працівник несе персональну відповідальність за порушення вимог інструкції відповідно до законодавства України.

5.2 Вимоги до безпеки перед початком роботи

- Підготуйте засоби індивідуального захисту, перевірте їх справність;
- Підготуйте для роботи інструменти, перевірте їх справність;
- Уважно огляньте робоче місце і приведіть його в порядок (приберіть всі зайві для роботи предмети, інструменти, пристосування і прилади розташуйте

в зручному і безпечному порядку, дотримуючись принципу: що береться лівою рукою, повинно знаходитися ліворуч, а те, що береться правою – справа);

- встановіть сидіння в зручне для роботи положення, щоб при виконанні робочих операцій не доводилося робити зайвих рухів руками і корпусом тіла;
- Переконайтеся в справності захисного заземлення обслуговується обладнання;
- Перед кожним застосуванням захисних засобів перевірити їх справність і відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити від пилу. Діелектричні рукавички перевірити з маркування, для якої напруги допустимо застосування даного засобу і чи не минув термін періодичного випробування, перевірити відсутність проколів шляхом скручування;
- Всі ізолюючі частини інструменту повинні мати гладку поверхню, не мати тріщин, задирок. Ізоляційне покриття рукояток повинно щільно прилягати до металевих частин інструменту і повністю ізолювати ту його частину, яка під час роботи знаходиться в руці працюючого. Ізольовані рукоятки повинні забезпечуватися упорами і мати довжину не менше 10 см.

5.3 Вимоги безпеки при виконанні роботи

5.3.1 Забезпеченням заходів безпеки та організації умов роботи

радіоелектронне обладнання поділяється на малогабаритне і великогабаритне:

- до малогабаритному радіоелектронного обладнання відноситься обладнання одноблоковому і багатоблокових виконання, яке за своєю вагою і габаритам може бути розміщено неробочому столі (верстаті) або на візку близько нього. До малогабаритному обладнання належать також стійки з вставними блоками, габаритні розміри яких в плані не більше 700 x 700 мм;
- до великогабаритному обладнання відноситься однокорпусні, багатокорпусний і бескорпусном обладнання, що складається з одного і більше блоків, яке встановлюється на підлозі або в разі відсутності загального корпусу розміщується на різних конструкціях або на підлозі в спеціальних приміщеннях.

5.3.2 Управління обладнанням.

- Управління радіоелектронним обладнанням здійснюється персоналом, виконуючим технологічні операції згідно з прийнятим технологічним режимом, у порядку виконання своїх повсякденних обов'язків;
- До виконання робіт з управління радіоелектронним обладнанням персонал приступає лише після попереднього огляду обладнання та перевірки справності дії захисних пристроїв (блокувань, механічних заземлювачів) робочої камери. Справність їх дії визначається не менш ніж по двох ознаками, наприклад, за показаннями вимірювальних приладів і сигнальним лампам;
- Всі операції, пов'язані з постановкою і зняттям оброблюваного виробу, з'єднанням (від'єднанням) його з електричної та технологічної частиною обладнання, та інші допоміжні операції дозволяється виконувати тільки після зняття напруги з обладнання та перевірки відсутності залишкових зарядів на струмоведучих частинах, з якими може відбутися зіткнення при виконанні технологічних операцій. Перевірка відсутності залишкових зарядів проводиться за допомогою ручного заземленого розрядника;
- Включення і відключення устаткування повинно проводитися за допомогою вимикачів, розміщених на пультах і панелях управління, і штепсельних роз'ємів;
- При вимірах параметрів режимів роботи обладнання необхідно дотримуватися таких вимог (НЕ проникати до приладів, вмонтованих під захисні скла і сітки, огорожувальні їх пристосування не знімати. прилади переносного типу розміщувати на робочому столі, полицях або висувних столиках обладнання. Тримати вимірювальний прилад в руках або на колінах забороняється. Осцилограф та інші аналогічні прилади розміщувати на спеціальних візках, в стелажах або нішах обладнання. до включення в електричну мережу заземлити (занулити) металеві корпуси переносних вимірювальних приладів. при відключенні приладів провід захисного заземлення від'єднати в останню чергу.

5.4 Технічне обслуговування приладів

- Технічне обслуговування радіоелектронного обладнання здійснюється оперативно-ремонтним персоналом підрозділу (цеху, відділу), лабораторії, ділянки, де експлуатується це обладнання;
- гляд обладнання може проводитися одноосібно оперативно-ремонтним персоналом, що має відповідну групу з електробезпеки. При огляді слід дотримуватися обережності: при відкритті дверей не проникати всередину обладнання, не торкатися струмоведучих частин і відкритої апаратури;
- Під час огляду забороняється виконувати будь-які роботи, знімати огороження (обшивки) з обладнання, закорачивать блокконтакти на дверях обладнання та робочої камери;
- Заміна запобіжників, як правило, проводиться після зняття навантаження і напруги;
- При неможливості зняти напругу у виняткових випадках допускається замінювати запобіжники під напругою, але при знятої навантаженні. При цьому слід працювати в діелектричних рукавичках і захисних окулярах;
- При заміні сигнальних ламп на пультах і панелях управління, що не вимагають проникнення всередину обладнання, необхідно знімати напругу з ланцюга сигналізації. Якщо при цьому потрібно проникати всередину обладнання, то роботу необхідно виконувати після зняття з нього напруги і залишкових зарядів;
- При виявленні несправностей, які не можуть бути усунені в порядок технічного обслуговування, обладнання повинно бути відключене від електромережі та інших джерел живлення за допомогою комутаційних пристроїв.
-

5.5 Ремонт приладів

- Для усунення дефектів, які не входять до переліку робіт, виконуються в порядку технічного обслуговування, та з метою профілактики радіоелектронне обладнання виводиться в ремонт;

- Ремонт радіоелектронного устаткування виконується:
 - оперативно-ремонтним персоналом за розпорядженням, записаному в експлуатаційному (оперативному) журналі;
 - ремонтним персоналом інших підрозділів підприємства або персоналом монтажних організацій (за нарядом згідно з правилами техніки безпеки). Керівник монтажної організації або підрозділу, з якого направляється ремонтний персонал, зобов'язаний у письмовій формі повідомити особі, що видає наряд, хто може бути призначений відповідальним керівником, виконавцем робіт і членом бригади;
- Ремонт великогабаритного радіоелектронного обладнання повинен виконуватися бригадою у складі не менше 2-х осіб з відповідними групами з електробезпеки;
- Ремонтні роботи виконуються на обладнанні, з якого повністю знята напруга (у тому числі і з його ввідних клем), після перевірки відсутності залишкових зарядів за допомогою ручного заземленого розрядника;
- Виконання технічних заходів з підготовки робочого місця і допуск до ремонтних робіт покладається на оперативно-ремонтний персонал того підрозділу, де експлуатується це обладнання;
- Пробне вмикання відремонтованого обладнання проводиться оперативно-ремонтним персоналом під наглядом інженера (майстра) по устаткуванню;
- Ремонтному персоналу та персоналу монтажних організацій забороняється самостійно виробляти пробне включення ремонтного обладнання. Налагодження устаткування;
- Налагодження радіоелектронного обладнання проводиться за програмою робіт оперативно-ремонтним персоналом на закріпленому за ним ділянці, персоналом спеціальних служб підприємства, що займаються ремонтом і наладкою обладнання, і працівниками підрозділів (цехів відділів тощо), що займаються розробкою і виробництвом радіоелектронного обладнання;
- Право видачі програми робіт на наладку радіоелектронного обладнання розпорядженням по підприємству надається начальникам підрозділів та їх заступникам;

- Налагодження великогабаритного устаткування виконується бригадою у складі не менше 2-х чоловік, очолюваної інженерно-технічним працівником або висококваліфікованим робітником (наладчиком), який має групу з електробезпеки не нижче IV. Члени бригади повинні мати групу з електробезпеки не нижче III;
- Наладку малогабаритного обладнання допускається виконувати одноосібно працівникові, має достатню виробничу кваліфікацію і групу по електробезпеки не нижче IV (при напрузі до 1000 В - не нижче III), в присутності поблизу налагоджуваного обладнання другої особи, яка має групи не нижче III;
- Налагоджувальні роботи допускається проводити як на ділянках, спеціально для цього призначених, так і у виробничих приміщеннях (у цехах, лабораторіях), де розробляється або експлуатується устаткування. При цьому повинні бути вжиті заходи, що виключають перебування осіб, не допущених до робіт з радіоелектронним обладнанням, на робочих місцях, відведених для налагодження (застосуванням огорож, організацією робіт в різні зміни і т.п.);
- Робочий стіл (верстак) для налагоджувальних робіт повинен бути виконаний з токонепроводячого матеріалу (дерево, пластик і т.п.), мати полки для розміщення контрольно-вимірювальної апаратури та джерел живлення і обладнаний окремим електрощитом із загальним вимикачем, запобіжниками або автоматичними вимикачами, сигнальною лампою (або вольтметром), утопленими штепсельними гніздами і шиною захисного заземлення (занулення) з гвинтовими затискачами;
- Підготовка робочого місця та обладнання до налагодження, виконання технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт у процесі налагодження покладається на працівників, допущених до налагодження. Постійний нагляд за працюючими покладається на особу, яка очолює бригаду;
- Витягувати обладнання з корпусу (кожуха), знімати його обшивку, виявляти і усувати дефекти в електричній схемі, замінювати вийшли з ладу деталі і вузли дозволяється тільки після повного зняття напруги з обладнання і перевірки відсутності залишкових зарядів за допомогою ручного заземленого розрядника;

- У процесі налагодження устаткування з напругою до 1000 В допускається під'єднання вимірювального приладу до контрольних точок схеми без відключення напруги. Виміри можуть проводитися при знятому огороженні (кожусі) шляхом торкання точок схеми проводом, що йде від вимірювального приладу і оканчиваючимся штекерним наконечником з твердого ізоляційного матеріалу з металевим електродом довжиною не більше 1 - 2 см. Другий провід від вимірювального приладу до початку вимірювань повинен бути приєднаний до металевого заземленого корпусу налагоджуваного обладнання (блоку);
- В окремих випадках для виявлення дефектів, які не можуть бути виявлені при знятій напрузі (іскріння, перекриття, пробой і т.п.), дозволяється вести спостереження за перебувають під напругою елементами обладнання через відкриті двері або зняті огороження (при знятому кожусі). При цьому дозволяється закорачивать захисні блокування і застопоривають в розімкнутому стані механічні заземлювачі. Наладчик, продукує включення напруги, повинен бачити всіх членів бригади і попередити їх про подачу напруги. При неможливості виконання цієї умови відкриті частини обладнання повинні бути огорожені тимчасовими огорожами з застережними плакатами;
- Якщо в обладнанні маються електролітичні конденсатори з напругою вище 100 В, то таке обладнання слід розташовувати так, щоб ці конденсатори не знаходились проти особи наладчика і не були звернені у бік сусідніх місць. Якщо ці умови не виконуються, то з боку сусідніх робочих місць повинні бути встановлені тимчасові огорожі, а налагоджувальникові слід захищати обличчя півмаскою з оргскла;
- По закінченні наладки обладнання повинно бути приведене в робочий стан (зняті закоротки з захисних блокувань, введені в дію механічні заземлювачі, поставлені на місце зняті обшивки, прибрані тимчасові захисні екрани й огороження). Повинна бути перевірена справність дії блокування і механічних заземлителів.

5.6 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.6.1 Негайно припинити роботу при виникненні ситуацій, які можуть призвести до аварії або нещасним випадкам:

- Відключити використовуване обладнання;
- при виникненні пожежі чи загоряння працівник зобов'язаний:
 - Негайно повідомити про це в міську пожежну службу по телефону 01, вказавши адресу об'єктам що горить, і керівнику об'єкта;
 - Вжити заходів щодо забезпечення безпеки та евакуації людей;
 - Приступити до гасіння пожежі за допомогою наявних на об'єкті первинних засобів пожежогасіння;
 - Після прибуття підрозділів пожежної служби повідомити їм необхідні відомості про вогнище пожежі та заходи, вжиті за його ліквідацію;
 - На період гасіння пожежі працівник повинен забезпечити охорону з метою виключення розкрадання матеріальних цінностей.

5.6.2 Надати необхідну першу долікарську допомогу потерпілому на виробництві, звільнивши його від дій травмуючого фактора (електроструму, механізмів і т.д.).

5.6.3 При отриманні травми на виробництві негайно звернутися до лікувального установи і повідомити про те, що трапилося безпосередньому керівнику, зберегти робоче місце без змін на момент отримання травми, якщо це не загрожує оточуючим і не призведе до аварії.

5.7 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Після закінчення роботи з радіоелектронним обладнанням, що виконувалася в виробничих приміщеннях, місце роботи звільняється від всіх приладів, інструментів, пристосувань, які були доставлені для виробництва робіт;
- Вимийте обличчя, руки теплою водою з милом.

Висновок до розділу

На підставі теми дипломної роботи була складена охорона праці, в якій було розглянуто::

1. Загальні вимоги до безпеки;
2. Вимоги перед початком роботи;
3. Вимоги безпеки при виконанні роботи;
4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях;
5. Вимоги безпеки після закінчення роботи.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розроблене регульоване прецензійне джерело струму з заземленим навантаженням. Розглянуті параметри складових компонентів джерела струму та вимоги до них, на основі цього була зібрана схема та дослідженні її параметри і характеристики. Після цього розроблена архітектура вимірювального пристрою на базі мікроконтролера та розробленого регульованого джерела струму.

В роботі розглянуті параметри та характеристики притаманні індуктивності, ємності та опору. Також розглянуті різноманітні методи вимірювання цих компонентів, їх недоліки та переваги.

Дана розробка дозволяє створити комплекс для виміру характеристик індуктивності, ємності та опору. Такий комплекс дає досить точні значення вимірюваних компонентів. Сферою використання є будь яка діяльність яка передбачає вимірювання компонентів електронних схем, наприклад розробка нових пристроїв чи ремонтні роботи вже існуючих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бамдас, А. М. Дроселі змінного струму радіоелектронної апаратури (котушки з залізом) / А.М. Бамдас, Ю.А. Савиновский. - М., 2002. – 248с.
2. Немцов М.В. Довідник по розрахунку параметрів котушок індуктивності 1989, - 192с.
3. Епштейн С. Л. Вимірювання характеристик конденсаторів. 2015 – 220с.
4. Нестеренко, Б.К. Інтегральні операційні підсилювачі / Б.К. Нестеренко. - М.: Энергоиздат, 1982. - 128 с.
5. Рутковски, Дж. Інтегральні операційні підсилювачі / Дж. Рутковски. - М.: Мир, 1978. - 323 с.
6. Варламов, Р. Г. Малогабаритні джерела струму / Р.Г. Варламов, В.Р. Варламов. - М.: Радио и связь, 1988. - **632 с.**
7. Харрисон, Линден Т. джерела опорної напруги та струму / Харрисон Линден Т.. - М.: ДМК Пресс, 2015. - **494 с.**
8. https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_конденсатор
9. https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_опір
10. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Індуктивність>
11. <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/326/310.html>
12. <https://bitkit.com.ua/rezistor>