

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

### ПОРТАТИВНИЙ ВИМІРЮВАЧ RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ

Галузь знань 17 “Електроніка та телекомунікації”

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітня програма “Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі”

Шифр КПТР.019037.01.02 ПЗ

Виконав: здобувач 4 курсу, група TR2c-19-1

Шифр



Підпис

Р. О. Козловський

Ініціали, прізвище

Керівник



Підпис, дата

С. К. Підченко

Ініціали, прізвище

Нормоконтроль



Підпис, дата

В. І. Стецюк

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій



Підпис, дата

С. К. Підченко

Ініціали, прізвище

\_\_08.06.2022 р.

Хмельницький 2022 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень: бакалавр

Галузь знань: 17 “Електроніка та телекомунікації”

Спеціальність: 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітня програма: «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Завідувач кафедри ТМІТ



Підпис, дата

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Козловському Роману Олександровичу

Прізвище, імя, по-батькові здобувача

студент 4 курсу групи ТР2с-19-1

1. Тема проєкту: ПОРТАТИВНИЙ ВИМІРЮВАЧ RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ

Керівник проєкту Підченко С. К., д.т.н, доцент

Прізвище, імя, по-батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 01 березня 2022 р. № 18

2. Строк подання здобувачем проєкту на кафедру 18.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту Вимірювання опору (R), індуктивності (L) та ємності (C); автономність, портативність, мінімальні масо-габаритні параметри; інтерфейси: провідний – USB, безпроводний – Bluetooth;

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

### Вступ

1. Аналітичний огляд літературних джерел і патентних матеріалів

2. Вибір і техніко-економічне обґрунтування структурної схеми

3. Розрахунок схеми електричної принципової

### Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. КПТР.019037.01.02 Е1. Схема електрична структурна.

2. КПТР.019037.01.02 Е3. Схема електрична принципова.

3. Плакат 1. Класифікація методів вимірювання параметрів двополюсників.





4. Плакат 2. Структурні схеми засобів вимірювання.

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 7.02.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ		
1. Аналітичний огляд літературних джерел і патентних матеріалів		
2. Вибір і техніко-економічне обґрунтування структурної схеми		
3. Розрахунок схеми електричної принципової		
Висновки		
Перелік посилань		
Схема електрична структурна		
Схема електрична принципова		
Плакат 1.		
Плакат 2.		
Слайди презентації		
Перелік елементів		
Попередній захист		

Здобувач



Підпис

Р. О. Козловський

Ініціали, прізвище

Керівник проекту



Підпис

С. К. Підченко

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

**Тема кваліфікаційного проекту:** “Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом”.

**Автор проекту:** Козловський Роман Олександрович.

**Керівник проекту:** д.т.н, доцент Підченко Сергій Костянтинович

**Пояснювальна записка:** 78 сторінок, 45 рисунків, 10 джерел.

**Графічна частина:** 2 плаката, 2 креслення, 10 слайдів презентації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МЕТРОЛОГІЯ, ОПІР, ІНДУКТИВНІСТЬ, ЄМНІСТЬ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ГЕНЕРАТОР, Bluetooth, АЦП.

*Метою кваліфікаційного проекту є розробка метрологічного пристрою для вимірювання імітансу.*

Проект складається з трьох основних розділів.

У першому розділі проведено аналітичний огляд існуючих джерел наукових і технічних публікацій серед вітчизняних та зарубіжних джерел. Здійснено глибокий аналіз одержаних результатів.

Другий розділ присвячений розробці структурної схеми пристрою та його техніко-економічному обґрунтуванню.

У третьому розділі здійснена розробка схеми електричної принципової портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом. Пристрій наділений провідним інтерфейсом USB та безпроводним – Bluetooth.

До особливостей кваліфікаційного проекту відноситься мобільність та портативність, наявність радіоканалу, використання DDS синтезатора з роздільною здатністю 0,004 Гц для формування вимірювального сигналу.

---

**Р. О. Козловський**

Ініціали, прізвище здобувача



---





Підпис, дата



## ЗМІСТ

стр.

ВСТУП .....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	10
1.1. Опис і постановка задачі .....	10
1.2. Вимірювачі окремих величин .....	13
1.3. Комплексні вимірювачі .....	17
1.4. Віртуальні методи та системи вимірювання .....	21
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	23
2. ВИБІР І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ .....	24
2.1. Засоби вимірювання.....	24
2.2. Структурні схеми засобів вимірювання .....	31
2.3. Структурна схема портативного вимірювача RLC з радіо інтерфейсом .....	41
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....	44
3. РОЗРАХУНОК СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ .....	45
3.1. Мікроконтролер .....	45
3.2. Перетворювач UART-USB .....	52
3.3. DDS генератор з джерелом опорного колювання .....	57
3.4. Фільтр низької частоти .....	61
3.5. Комутатори .....	61
3.6. Масштабуючий підсилювач .....	66
3.7. Синхронний детектор .....	68
3.8. Аналого-цифровий перетворювач .....	68
3.9. модуль Bluetooth .....	70

					КПРТ.019037.01.02 ПЗ				
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом  Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив		Козловський							
Перевірів		Підченко С. К.						78	6
Н. контр.		Стецюк В. І.						ХНУ, гр. ТР2с-19-1	
Затв.		Підченко С. К.							

3.10. Схема живлення .....	71
3.11. Вхідні щупи приладу .....	72
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	74
ВИСНОВКИ .....	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	78
ДОДАТОК А. Слайди презентації .....	79

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

Засоби контролю та вимірювання різних фізичних величин – невід'ємна частина як сучасного виробництва так і сервісу і побуту. Виробництво, експлуатація, обслуговування і ремонт радіоелектронної та телекомунікаційної апаратури неможливе без вимірювальних засобів. А тенденція до мініатюризації та автономності спостерігається і в області метрології. Вже відходять в минуле громіздкі прилади, розміром з бабусину скриню. Інколи вимірювальні комплекси займали цілі кімнати і, зрозуміло, ні про яку автономність мова не йшла. І якщо в умовах стаціонарного виробництва така ситуація ще припустима, то в умовах сервісу та побуту завжди були затребувані компактні мініатюрні переносні прилади. Уявімо собі, наприклад сучасний автосервіс, де електромеханік повинен продіагностувати автомобіль не тільки в стаціонарних умовах, але і в динаміці або на виїзних ремонтах чи техоглядах. Так сам раіомайтру необхідно щодня носити вимірювальні прилади із собою, адже досить часто огляд, профілактика і ремонт відбуваються на дому у клієнта. Таких прикладів багато. Але в цілому всі користувачі прагнуть мати якомога компактніше та автономніше вимірювальне обладнання.

Впровадження засобів контролю та вимірювання постійно розширюється в міру створення складних автоматизованих та автоматичних виробництв, оскільки управління такими виробництвами неможливе без отримання інформації про стан процесів, сигналів, матеріалів, обладнання, механізмів та інших компонентів, що беруть участь у виробничому циклі. Джерела такої інформації – вимірювальні перетворювачі. Особливо поширені електронні вимірювальні перетворювачі. Освоєння надмалих та надвеликих діапазонів фізичних велич, прискорені темпи впровадження електронної техніки та автоматичних виробництв призвели до необхідності розробки та виготовлення величезної кількості різних вимірювальних перетворювачів. Це впливає на техніко-економічні показники виробництва, ускладнює експлуатацію та спеціалізацію

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		8

виробництва, створює труднощі при розробці та впровадженні невиправданого різноманіття вимірювальних перетворювачів. І тут теж часто виникають ситуації, коди давачі сигналів потрібно встановити в важкодоступних місцях або на рухомих частинах обладнання. Потрібно оперативно знімати показники з віддалених об'єктів. В подібних ситуаціях вже ніяк не обійтися без радіоканалу передачі даних.

Впровадження у вимірювальну техніку мікропроцесорів та спеціалізованих інтегральних мікросхем забезпечило подальший розвиток засобів вимірювань, створення нового покоління програмованих вимірювальних приладів із підвищеними метрологічними характеристиками. За останні роки помітно змінилася роль окремих вимірювальних приладів. Вони дедалі частіше стають джерелами первинних даних автоматизованих систем збору, передачі, обробки та відображення (реєстрації) вимірювальної інформації. Спостерігається еволюція інтерфейсів вимірювальної техніки. Розширюється застосування метрологічного обладнання для вирішення конкретних виробничих, прикладних або наукових завдань.

Таким чином, при створенні вимірювальної техніки необхідний новий підхід, що дозволяє будувати уніфіковані схеми перетворювачів, які дозволяють вимірювати не один-два параметри, а працювати незалежно від характеру вимірюваної фізичної величини. Такий підхід розширює функціональні можливості вимірювальних перетворювачів, робить їх більш гнучкими до поставлених задач.

Отже намічається, по крайній мірі, три тенденції розвитку метрологічного обладнання:

- мікромініатюризація;
- уніфікація;
- використання радіоканалу передачі телеметрії.

Спробуємо вирішити ці всі питання в даному кваліфікаційному проекті.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1. Опис і постановка задачі.

Для вимірювання комплексних параметрів кіл на різних частотах або комплексного опору існує окремий клас пристроїв – вимірювачі імпедансу або як ще їх називають вимірювачі RLC [1], хоча остання назва більш вужча з технічної точки зору, адже дані прилади можуть додатково вимірювати, наприклад, добротність, тангенс кута діелектричних втрат, комплексний опір, фазовий зсув, тощо. Основними характеристиками вимірювань імпедансу, крім діапазону та погрішності вимірювання R, L і C є:

- частотний діапазон;
- області зміни рівня тестового сигналу та можливість його стабілізації при зміні опору вимірюваного кола;
- наявність внутрішнього та зовнішнього зміщення тестового сигналу постійною напругою (наприклад, при тестуванні варикапів);
- інтерфейс зв'язку приладу з ПК (планшетом, телефоном).

Принцип дії даного класу пристроїв (вимірювачів імпедансу, імітансу) оснований на аналізі проходження тестового сигналу із заданою частотою через коло, що володіє комплексним опором і наступним порівнянням з опорною напругою [2-4]. Напруга робочої частоти з внутрішнього генератора подається на вимірюваний об'єкт, на якому вимірюється напруга. Струм, протікаючий через об'єкт, за допомогою внутрішнього перетворювача струм-напруга перетворюється в напругу. Вимірювання відношення цих двох напруг і дає повний опір кола.

$$|Z| = \frac{U}{I} \quad (1.1)$$

КПТР.019037.01.02 ПЗ				
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Козловський Р.		
Перевірів		Підченко С. К.		
Н. контр.		Стецюк В. І.		
Затв.		Підченко С. К.		
Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом				
Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
				10
ХНУ, гр. ТР2с-19-1				

Графічне представлення повного опору представлено на рис. 1.1. Як видно з даного представлення, повний опір  $Z$  складається з двох компонентів: активної ( $R_s$ ) і реактивної ( $X_s$ ).

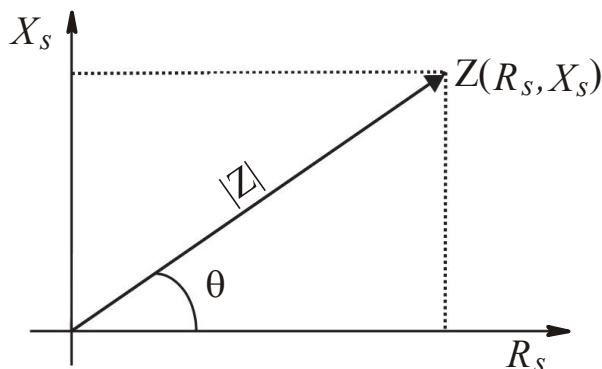


Рисунок 1.1 – Графічне представлення повного опору

Комплексний опір  $Z$  визначається наступним відношенням:

$$Z = R_s + jX_s = |Z| \quad (1.2)$$

Звідси випливає, що активний опір  $R_s$  пов'язаний з комплексним опором:

$$R_s = |Z| \cdot \cos \theta, \quad (1.3)$$

та, відповідно, реактивний опір  $X_s$ :

$$X_s = |Z| \cdot \sin \theta, \quad (1.4)$$

де  $\theta$  – кут між активним та комплексним опором.

З рис. 1.1 також слідує, що комплексний опір пов'язаний з активним та реактивним:

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \quad (1.5)$$

В свою чергу, відмічаємо, що існує два типи реактивного опору – ємнісний  $X_C$  та індуктивний  $X_L$ :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1.6)$$

$$X_L = 2\pi f L \quad (1.7)$$

де  $C$  ( $L$ ) – відповідно значення ємності (індуктивності),  $f$  – частота, на якій вимірюється реактивний опір.

З практики вимірювання відомо [3-6], що найбільш оптимальним, з точки зору похибки вимірювання, є вимірювання опорів в межах від 0,1 Ом до 10 МОм. Вимірювання опору нижче 0,1 Ом вимагає застосування спеціальних методів з великими струмами, а вимірювання опору вище 10 МОм вимагає великих напруг. З формул 1.6 і 1.7 випливає, що для вимірювання малих індуктивностей та ємностей слід використовувати більш високі частоти, а для вимірювання великих ємностей та великих індуктивностей навпаки нижчі. Формули 1.6 і 1.7 визначають значення реактивних опорів для ідеальних ємностей та індуктивностей. Реально кожна ємність має свій внутрішній кінцевий опір між пластинами, що призводить до виникнення внутрішніх втрат. Цей опір залежить від частоти. Очевидно, що чим менше опір, тим краще ємність. Аналогічно і для індуктивності будь-яка індуктивність має активний опір витків, магнітний потік розсіювання та інші параметри, що впливають на відхилення ідеальної індуктивності від реальної. Для оцінки ступеня внутрішніх втрат в ємностях та індуктивності вводять параметр тангенс кута втрат (або тангенс кута діелектричних втрат).

З усього вище сказаного слідує, що при проведенні вимірювань за допомогою вимірювача RLC необхідно враховувати наступне: в

- вибір частоти вимірювання ємності та індуктивності має бути здійснено грамотно, з урахуванням величин цих елементів: для зниження похибки вимірювання, малі значення індуктивності (мкГн) та ємності (пФ) слід вимірювати на більш високих частотах, а більші значення індуктивності (Гн) та ємності (мФ) слід вимірювати на нижчих частотах.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		12

- коректно має бути обрана схема заміщення: при більших значеннях індуктивності (Гн) та ємності (мФ) слід вибрати паралельну схему заміщення, при малих значеннях індуктивності (мкГн) та ємності (пФ) слід вибрати послідовну схему заміщення.

Нехтування цими правилами значно спотворює достовірність вимірювань. Зараз на ринку засобів вимірювання присутня достатня кількість вимірювачів RLC, які відрізняються як ціною, так і функціональними можливостями. Огляд та аналіз можливостей почнемо з більш простих моделей.

## 1.2. Вимірювачі окремих величин

Вимірювання окремих фізичних величин було завжди актуальною задачею науки і техніки. Людство завжди прагнуло знати відстань, час, вагу, а згодом і цілий ряд електротехнічних величин – опір, ємність, індуктивність, напругу, струм, тощо. Ми не будемо розглядати прилади 19-20 століть, вони всім відомі – це аналогова техніка, як правило із стрілковим циферблатом. Хоча слід відмітити, що пізніше були розробки вже із цифровим табло. Наведемо приклади сучасних вимірювальних приладів, які дозволяють аналізувати одну якусь конкретну величину.

### *Мегаомметр UNI-T UT512.*

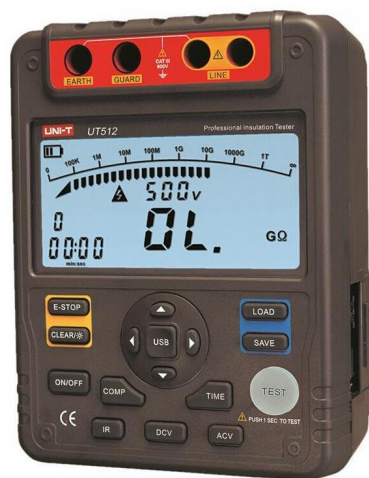


Рисунок 1.2 – Мегаомметр UNI-T UT512

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

UNI-T UT512 призначений для вимірювання опору ізоляції в діапазоні від 0,5 МОм до 100 000 МОм з випробувальною напругою від 500 до 2500 В.

Технічні характеристики:

- дисплей 9999, РК з підсвічуванням, 123×58 мм;
- опір ізоляції: діапазон 0,5 МОм ~ 100 ГОм;
- похибка 0 ~ 20%;
- живлення: 1,5 В лужна батарея (LR14);
- автоматичний вибір діапазону;
- індикатор низького заряду батареї;
- сплячий режим;
- габарити 202×155×94 мм;
- вага 1,8 кг.

**Цифровий мікроомметр UNI-T UT620B.** Мікроомметр UT620B – це професійний тестер вимірювання низького опору постійного струму 4-провідним методом. Може використовуватися у вузьких просторах для пошуку несправностей, таких як вимірювання опору металевого покриття, опору обмоток двигуна та трансформаторів, з'єднання заземлення, точки зварювання, перевірка шини розподільної шафи, з'єднання проводів та багато іншого.



Рисунок 1.3 – Цифровий мікроомметр UNI-T UT620B

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		14

Технічні характеристики:

- мінімальна роздільна здатність: 1 мкОм;
- Опір ( $\Omega$ ):
  - 60.000 м $\Omega$  / 10 А $\pm$ (0.25%+25dgts);
  - 600.00 м $\Omega$  / 1 А  $\pm$ (0.25%+20dgts);
  - 6.0000  $\Omega$  / 100 мА  $\pm$ (0.25%+20dgts);
  - 60.000  $\Omega$  / 10 мА  $\pm$ (0.25%+20dgts);
  - 600.00  $\Omega$  / 1 мА  $\pm$ (0.25%+25dgts);
  - 6.0000 к $\Omega$  / 100 мкА  $\pm$ (0.25%+30dgts);
- максимальний вихідний струм: 10 А;
- дисплей: РК, 116 x 87.5 мм (розрядність 60000);
- живлення: літієва батарея 7.4 В/4000 мАг (акумулятор);
- розміри: 268×168×60 мм;
- вага: 1.5 кг.

Особливості мікроомметра UNI-T UT620B:

- покращений метод вимірювання, який підвищує точність шляхом урівноваження контактного опору проводів;
- порівняння вимірювань з верхньою та нижньою межами;
- вимірювання довжини дроту (м/фут);
- сховище даних (на 1000 комірок);
- підключення до комп'ютера через USB-порт;
- функція обнуління;
- відносний режим;
- режим вимірювання опору IND;
- задній ліхтар;
- індикація низького заряду батареї.

**Вимірювач ємності конденсаторів CM7115A.** Даний прилад конденсаторів використовується для вимірювання ємності. Вибір діапазону вимірів здійснюється вручну. Оснащений функцією ручного калібрування. Забезпечений індикацією низького заряду батареї.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.4 – Вимірювач ємності конденсаторів CM7115A

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання: 200 пФ – 20 мФ;
- налаштування нуля;
- ручний вибір діапазону;
- ручна калібровка;
- індикація низького заряду батареї;
- розрядність дисплея: 1999
- джерело живлення: 9В (6F22 "Крона").

**Цифровий вимірювач ємності Dmm6013L.** Прилад Dmm6013L призначений для вимірювання ємності конденсаторів. Має досить високі характеристики за точністю вимірювання і широким діапазоном вимірюваних значень ємності.



Рисунок 1.5 – Цифровий вимірювач ємності Dmm6013L

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		16

Технічні характеристики приладу:

Ємність 200pF/2nF/20nF/200nF/2n/20nF/200F/2000F/20000F

Точність  $\pm 0.5\%$

Робоча частота 800 Гц, 80 Гц, 8 Гц

Живлення 9 В батарея 6F22

Максимальний дисплей 1999

Розмір дисплея 45 x 20 мм

Вага 176 г

Розмір 140x70x35 мм.

### 1.3. Комплексні вимірювачі

Першими, якраз, з'явилися вимірювальні прилади окремих фізичних чи радіотехнічних величин – гальванометри, вольтметри, амперметри, тощо. І лише згодом із розвитком електроніки та мікропроцесорної техніки деякі функції стали об'єднувати і таким чином ми одержали мультифункціональну вимірювальну техніку – мультиметри.

**Вимірювач напруги і опору заземлення Sanwa PDR4000.** Даний пристрій дозволяє вимірювати відразу 2 параметра – опір і напругу.



Рисунок 1.6 – Вимірювач опору заземлення Sanwa PDR4000

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		17

Технічні характеристики приладу:

- розрядність шкали цифрового дисплея: 4000 відліків;
- опір заземлення: 40/400/4000 Ом;
- напруга 0~400 В (40~500 Гц);
- тестовий струм 2 мА, що дозволяє вимірювати опір без відключення схеми вимірювання, частота 820 Гц;
- можливість вимірювання опору заземлення за 3-х та 2-х полюсною схемою;
- швидкість оновлення: 2 виміри за секунду;
- підсвічування;
- відносні виміри;
- індикатор розрядженої батареї;
- можливість вимірювання напруги дотику;
- утримання показів Data hold;
- автовимкнення живлення (через 10 хв.);
- конструкція безпеки відповідно до IEC61010-1 CAT.II 400V/CAT.III 300V;
- живлення: 1.5 В x 6 (тип АА);
- габарити: 163x102x50 (мм),
- вага: 0.44 кг.

**Мультиметр SIDE ADMS1A.**



Рисунок 1.7 – Мультиметр SIDE ADMS1A

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		18

Містить функції мультиметра, тестера, вимірювача напруги (постійного та змінного струму), частотоміра, опору, цілісність кіл.

Технічні характеристики:

- матеріал: АБС-пластик;
- рівень безпеки: CAT.II 400V;
- дисплей: LCD (2000 відліків);
- частота дискретизації: прибіл. 3 рази на секунду;
- автовимкнення: прибіл. 2 хвилини;
- індикатор навантаження: «OL» або «-OL»;
- напруга постійного струму:  $400 \pm (0,8\% + 3)$ , роздільна здатність 0,01 В;
- напруга змінного струму:  $400 \pm (1,2\% + 3)$ , роздільна здатність 0,01 В;
- опір:  $10 \text{ МОм} \pm (1,2\% + 3)$ , роздільна здатність 1 Ом;
- частота:  $1000 \text{ Гц} \pm (2,0\% + 3)$ , роздільна здатність 0,1 Гц;
- джерело живлення: 1 батарея ААА 1,5 В.

**Портативний вимірювач імітансу RLC ALT 2822C.** Це сучасний висококласний цифровий прилад із тестовими частотами до 100 кГц (100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц).



Рисунок 1.8 – Портативний вимірювач імітансу RLC ALT 2822C

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		19

Вимірювач ALТ 2822С дозволяє аналізувати: L (індуктивність); С (ємність); R (опір); Z; В; Q (добротності котушок);  $\Theta$  (тангенсу кута); ESR. Наявність пінцета для перевірки компонентів SMD у стандартній комплектації.

Технічні характеристики:

- вимірювання первинних параметрів: L/C/R/Z; вторинних: В / Q /  $\Theta$  / ESR;
- дисплей: 40000 знаків, дворядковий;
- діапазони вимірів:
  - ємність: від 4 пФ до 20,000 мФ;
  - опір: від 0,4 Ом до 10,000 МОм;
  - індуктивність: від 4 мкГн до 1 кГн;
  - добротність/Тангенс кута втрат: 0,0001...9999;
  - базова похибка 0,25%;
- режими вимірювання: послідовна та паралельна схема, ручний та автоматичний вибір діапазону;
- функція автовимкнення;
- підсвічування;
- можливість калібрування;
- швидкість вимірів: від 250 мс;
- режим допусків: 1%/5%/10%/20%
- інтерфейс міні-USB (віртуальний послідовний порт), можливість керування приладом із комп'ютера;
- наявність тестового сигналу;
  - частота тестового сигналу: 100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц;
  - амплітуда тестового сигналу 0,6 (с.к.з.);
- внутрішній опір: 0,1 кОм;
- безпека ІЕС 61010-1:2001; ІЕС 61326-2-1:2005;
- робоча температура: від 0 до 40 ° С, вологість <90%;
- розміри 19х9х4,1 см;
- живлення: від адаптера 220 В, 50 Гц або від вбудованого АКБ 8,4 В NiMH, струм споживання 28 мА. (час роботи до 6 годин).

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 1.4. Віртуальні методи та системи вимірювання.

Окрім фізичних пристроїв в окремих корпусах, сьогодні майже всі напрямки метрології представлені віртуальними лабораторними комплексами. Подібні реалізації містять більше програмних складових, аніж апаратних. Як і їх фізичні аналоги, використовуються для вимірювання опору, індуктивності, ємності, а також широкого набору функцій, яких не було у аналогів. Це пояснюється тим, що в програмній (математичній) обробці сигналів майже немає обмежень. Наприклад, досить просто можна реалізувати змінний вигляд робочого столу, що у фізичних приладів категорично неможливо, введення / виведення інформації за допомогою бездротових технологій, часовий і спектральний аналіз, тощо.

Самим елементарним приладом може бути реалізація, представлена на рис. 1.9, яка має елементарну апаратну частину і потужну програмну.

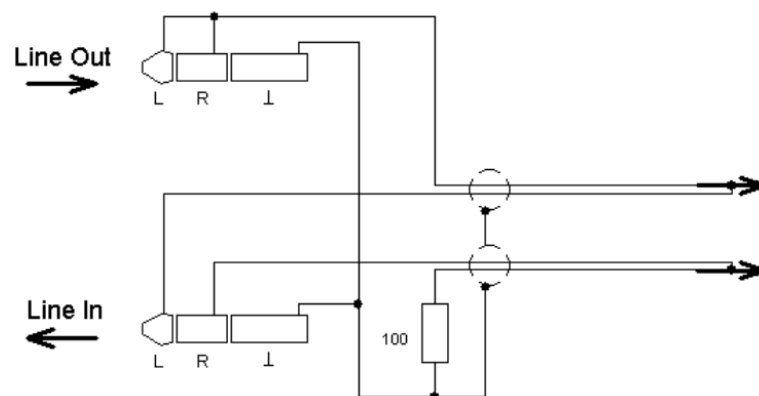


Рисунок 1.9 – Віртуальний RLC метр

									Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					21

По суті – це вимірювальна лабораторія, у вигляді перехідника для підключення до звукової карти комп'ютера з мінімальною комплектацією (два штекера, резистор, провідники і щупи).

В якості тестового використовується сигнал синусоїдної форми, що генерується звуковою картою. Програмна частина має алгоритми швидких перетворень Фур'є, що дає можливість проводити спектральний аналіз. Присутній також режим калібрування із замкнутими між собою щупам.

Навіть у такій скудній реалізації, прилад дозволяє вимірювати:

- опір, R: 0,01 Ом ... 3 МОм;
- індуктивність, L: 100 нГн ... 100 Гн;
- ємність, C: 10 пФ ... 10 000 мкФ.

Мінімальна погрішність вимірювань визначається допуском зразкового резистора, який можна взяти, наприклад, із прецизійного ряду.

Окрім основних параметрів прилад дозволяє аналізувати: ESR, порядку 0,001 Ом, SKO (середньоквадратичне відхилення) порядку 0,0003 Ом, та багато іншого.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		22

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Сучасна радіовимірювальна техніка в даний час знаходиться у стадії бурхливого розвитку. Щороку з'являються нові та модернізовані вимірювальні прилади та комплекси, модульні системи, віртуальні прилади та ін. Провідні приладобудівні підприємства та фірми постійно покращують метрологічні та експлуатаційні параметри своєї продукції. Широке використання мікропроцесорних та обчислювальних приладів суттєво розширило область їх використання дозволило поєднати вимірювання з процедурою обробки їх результатів, автоматизувати їх проведення.

Вимірювання в інженерній практиці займають надзвичайно важливе місце. Це справедливо і для галузі радіотехніки, електроніки та телекомунікаційної техніки. Сучасні радіоелектронні виміри передбачають застосування досить складних приладів та систем різного призначення. Вибір приладу значною мірою визначає і вибір методу вимірювання, який є стандартним для засобу вимірювання. За рідкісними винятками, в інженерній практиці використовують стандартні універсальні вимірювальні прилади, що випускаються у промислових масштабах приладобудівними фірмами. Історично вдосконалення радіовимірювальної техніки відбувалося шляхом:

- аналого-цифрового перетворення вимірювальної інформації та цифрового відліку результату;
- передання цифрової інформації до системи обробки результатів;
- введення логіки управління вимірювальними операціями та автоматизації процедури отримання результату;
- введення обчислювальних пристроїв управління та обробки структуру приладу.

Таким чином, тематика радіовимірювань була і залишається актуальною.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		23

## 2. ВИБІР І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

### 2.1. Засоби вимірювання.

Наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності називається метрологією [5]. Об'єктами вимірів у метрології є фізичні величини. Під фізичною величиною розуміють властивість, у якісному відношенні загальну багатьом фізичним об'єктам (фізичних систем, їх станів, та процесів у них), а кількісному – індивідуальне кожному за них. Індивідуальність в кількісному відношенні слід розуміти в тому сенсі, що властивість може бути для одного об'єкта в кілька разів більша, ніж для іншого.

Вимірюванням називається знаходження значення фізичної величини досвідченим шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювання – це складна операція, що полягає в порівнянні фізичної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю (стандартом або еталоном), виконанні необхідних логічних і обчислювальних дій та у поданні результату вимірювань у числовій формі із зазначенням його точності. Основна мета вимірювань – кількісна оцінка значення фізичної величини в прийнятих для неї одиницях.

Найважливішим завданням метрології є забезпечення єдності та необхідної точності вимірів. Під єдністю розуміють такий стан вимірів, у якому їх результати виражені в узаконених одиницях і похибки вимірів відомі із заданою ймовірністю. У цьому випадку можна зіставляти результати вимірювань, виконаних у різних місцях, у різний час та із застосуванням різних вимірювальних засобів. Для виконання даних вимог та здійснення вимірювань необхідно встановити систему одиниць фізичних величин та мати спеціальні технічні засоби (засоби вимірювань), за допомогою яких можна порівнювати вимірювану та відому величини [7, 8].

					КПТР.019037.01.02 ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Козловський Р						24
Перевірив		Підченко С.К						
Н. контр.		Стецюк В. І.						
Зав.		Підченко С. К.			Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР2с-19-1		

Засобом вимірювань називають технічний засіб, що використовується для вимірювань і має нормовані метрологічні властивості. Засобами вимірювань є міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки та вимірювальні системи. Міра – засіб вимірювань, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Наприклад, кварцовий генератор – міра частоти електричних коливань. Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній безпосередньому сприйняттю спостерігачем. Під вимірювальною інформацією розуміють інформацію про значення вимірюваних фізичних величин. Сигнал вимірювальної інформації – це сигнал, функціонально пов'язаний з фізичною величиною, що вимірюється.

Існують аналогові та цифрові вимірювальні пристрої [9]. Аналоговий прилад – це такий пристрій, показання якого є безперервною функцією зміни вимірюваного значення. Цифровий прилад – це пристрій, який автоматично створює дискретні сигнали вимірювальної інформації, читання яких представлені в цифровій формі.

Складні вимірювальні засоби можуть складатися з функціонально пов'язаних простих вимірювальних засобів. До них належать вимірювальні установки та вимірювальні системи. Вимірювальна установка – це комбінація (функціонально комбіновані вимірювальні інструменти (заходи, вимірювальні інструменти, вимірювальні перетворювачі) та допоміжні пристрої, розроблені для формування вимірювальних інформаційних сигналів у формі, зручній для прямого сприйняття спостерігачем. Вона розташована в одному місці.

Вимірювальна система – набір вимірювальних інструментів (заходів, вимірювальних інструментів, вимірювальних перетворювачів та допоміжних пристроїв), взаємопов'язаних каналами зв'язку та розроблених для формування вимірювальних інформаційних сигналів у формі, зручній для автоматичної обробки та (або) використання в автоматичних системах керування. Вимірювальна система може складатися з декількох вимірювальних установок, пов'язаних між

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		25

собою каналами зв'язку та забезпечуючих вирішення загальної проблеми вимірювання.

Найбільш великою групою вимірювальних інструментів є вимірювальні інструменти, до яких і відноситься проєктований в даній роботі пристрій. Вони класифікуються за різними ознаками:

- призначення;
- принцип роботи;
- умови експлуатації;
- конструктивні особливості;
- дизайн;
- принцип відображення інформації;
- точність, тощо.

Електротехнічні та радіотехнічні пристрої, можуть бути:

- загального призначення (широко поширені, призначені для роботи в різних умовах експлуатації – наука, технології та виробництво);
- спеціальні (вужького призначення, придатні для роботи лише за певних умов експлуатації);
- вбудовані (такі, що конструктивно входять до складу інших пристроїв, систем та вимірювальних комплексів);
- зразкові (еталонні) – високої точності, призначені для повірки та градування вимірювальних пристроїв нижчої точності та класу.

Засоби вимірювання відповідно до ДСТУ [4-8] повинні задовольнити наступним групам вимог:

- 1) технічні;
- 2) безпеки;
- 3) правилам прийомки;
- 4) методам випробувань.

Перша група включає вимоги до нормованих метрологічних характеристик, до опору вхідних та вихідних схем, до моменту встановлення робочого режиму та тривалості безперервної роботи, а також до надійності. Діючі стандарти

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		26

поширюються також на допоміжні частини вимірювальних засобів, які включають елементи вимірювальних інструментів, розташованих поза їх корпусом.

Основними характеристиками вимірювання є принцип, метод і точність. Принцип вимірювань – це набір фізичних явищ, на яких ґрунтуються вимірювання, наприклад, вимірювання напруги на основі електростатичної взаємодії заряджених провідників. Метод вимірювання – це набір методів використання принципів та вимірювальних інструментів. Наприклад, вольтметри для вимірювачі напруги змінного струму високої частоти можуть містити таку послідовність операцій на основі різних принципів: нелінійне перетворення та ізоляція постійної компоненти струму, перетворення постійного електричного струму в обертовий момент електромагнітного механізму вимірювання. Кожна операція проводиться за допомогою індивідуальних вимірювальних інструментів.

Розрізняють два основні методи вимірювання:

- пряма оцінка;
- порівняння з відповідною мірою.

Метод прямої оцінки – це метод вимірювання, в якому значення фізичної величини визначається безпосередньо опорним пристроєм прямої дії.

Метод порівняння з мірою – це метод вимірювання, в якому вимірюване значення порівнюється зі значенням, що формується мірою, наприклад, вимірювання напруги постійного струму порівняно з ЕРС нормального елемента.

Існує кілька різновидів методів порівняння:

а) диференціальний метод порівняння з мірою, в якій на вимірювальний пристрій впливає різниця між вимірюваними та відомими величинами, відтвореними мірою, наприклад, вимірювання електричного опору з мостом з неповним балансуванням;

б) нульовий – метод порівняння з мірою, в якому результуючий ефект дії на порівняльний пристрій доводиться до нуля, наприклад, вимірювання електричного опору мостом з його повним балансуванням;

в) метод порівняння – метод порівняння з мірою, в якій вимірюване значення замінюється відомим значенням, відтвореним мірою, наприклад, вимірювання

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		27

внесеного електричним колом послаблення сигналу шляхом почергового ввімкнення у вимірювальну установку досліджуваного кола та регульованого робочого атенюатора.

Кожен із методів може бути реалізований по різному. За методом отримання результату виділяються:

- прямі;
- непрямі;
- загальні;
- сукупні.

Пряме вимірювання – в якому значення фізичної величини виявляється безпосередньо з експериментальних даних, наприклад, вимірювання електричного струму за допомогою амперметра.

Непряме вимірювання – в якому бажане значення фізичної величини  $Y$  виявляється на основі відомої залежності між цим значенням та величинами  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , що піддається прямим вимірам. В результаті вимірювання шукана величина знаходиться шляхом обчислення відповідно до формули:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.1)$$

Наприклад, при вимірюванні потужності за допомогою амперметра та вольтметра, струм  $I$  та напруга  $U$  вимірюється прямим методом, а потужність  $P$  обчислюється формулою:

$$P = U \cdot I \quad (2.2)$$

В даному прикладі для вимірювання потужності використовується два вимірювальних прилади. Але в загальному випадку для вимірювання складних величин їх може бути і більше. Адже, щоб визначити складну величину непрямим методом, у формулі якої є велика кількість простих базових величин, потрібно

здійснити велику кількість вимірів і тоді лише здійснити розрахунок шуканого значення. Це потребує певної універсальності від вимірювального комплексу.

Загальними вимірами називають виміри кількох однойменних величин, що здійснюються одночасно, при яких шукані значення величин знаходять рішенням системи рівнянь, одержаних за результатами прямих вимірювань різних поєднань даних величин. Так, наприклад, вимірювання при яких значення опорів окремих резисторів набору знаходять за відомим опором одного із них та за результатами прямих порівнянь опорів різноманітних поєднань резисторів.

Сукупними вимірами називають виміри двох або декількох неоднойменних величин, що проводяться одночасно, для знаходження залежності між ними. Наприклад, опір при температурі 20 °С і температурні коефіцієнти вимірювального резистора знаходять за даними прямих вимірювань його опору при різних температурах.

За способом вираження результатів розрізняють:

- абсолютні виміри;
- відносні виміри.

Абсолютними називають виміри, основані на прямих вимірах однієї чи кількох основних величин і (або) використанні значень фізичних констант, наприклад вимірювання сили струму в амперах (кратних або дільних одиницям ампера).

Відносними називають виміри відношення фізичної величини до однойменної, що грає роль одиниці, або вимірювання величини по відношенню до однойменної величини, що приймається за вихідну, наприклад вимірювання коефіцієнта передачі чотиріполюсника на фазних частотах по відношенню до максимального значення цього коефіцієнта на деякій частоті.

За характером залежності вимірюваної величини від часу виміру поділяються на:

- статичні (вимірювана величина залишається постійною);
- динамічні (величина змінюється).

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		29

Точність – це якість вимірів, що відображає близькість їх результатів до справжнього значення вимірюваної величини. При цьому під істинним значенням фізичної величини розуміється її значення, яке в якісному та кількісному відношенні ідеально відображає відповідну властивість об'єкта. За точністю вимірювання діляться на три класи:

а) вимірювання вищої точності, що виконуються при дослідженні еталонів і визначенні фундаментальних фізичних констант;

б) контрольно-перевірочні вимірювання, що виконуються при державній та відомчій повірці засобів вимірювань;

в) технічні виміри на виробництві.

Вимірювання в радіоелектроніці мають ряд особливостей:

1. Велика кількість властивостей, що характеризують роботу радіоелектронних пристроїв. Можна виділити дві великі групи вимірюваних величин: показники і параметри кіл, показники і параметри сигналів.

2. Широкий діапазон значень вимірюваних величин. Практичний спектр вимірюваних частот необмежений: від постійного струму до сотень і тисяч мегагерц в діапазоні міліметрових і оптичних хвиль. При вимірюванні потужності зіштовхуються з величинами від  $10^{-17}$  Вт і менше для слабких сигналів до сотень і тисяч мегават при вимірюванні імпульсної потужності радіолокаційних станцій. Вимірювання напруги проводять від часток мікрвольт до десятків і сотень кіловольт, наприклад, у потужних радіопередавачах. Діапазон вимірювання повних (комплексних) опорів: від опору ізоляційних матеріалів до активних опорів в межах  $10^{-6}$ - $10^{-12}$  Ом; малі та великі затухання від 0 до 150-200 дБ.

Різноманітність вимірюваних величин, а також широкий діапазон, в якому можуть бути їх значення, призводять до різноманіття принципів, на яких базується побудова радіоелектронної вимірювальної апаратури, та способів її побудови. Наприклад, методи вимірювань та конструкції приладів, що здійснюють вимірювання у різних частотних діапазонах, можуть принципово відрізнитися один від одного. У діапазоні низьких частот геометричні розміри приладу набагато менші за довжину хвилі коливань, що дозволяє будувати вимірювальну апаратуру

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		30

на елементах із зосередженими параметрами. На надвисоких частотах розміри вимірювальних пристроїв можна порівняти з довжиною хвилі електромагнітних коливань, а результати вимірювання залежать від місця підключення приладу, його конструкції та розмірів.

3. Наявність у радіоелектронних колах великих вхідних та вихідних опорів, які, як правило, виражаються в кілоомах. Для того щоб при підключенні вимірювальних приладів напруги і струми в колах не змінювалися, вхідні опори приладів повинні бути набагато більшими від вихідних опорів досліджуваних кіл. Перераховані особливості вимірювань в радіоелектроніці значною мірою визначають і вимоги до вимірювальних приладів.

## 2.2. Структурні схеми засобів вимірювання.

У засобах вимірювань, що реалізують метод безпосередньої оцінки, величина, що вимірюється, піддається ряду послідовних перетворень у прямому напрямку (без повернення до вихідної величини). В кінцевому рахунку вимірювана величина перетворюється на величину, зручну для спостереження, реєстрації або запам'ятовування, наприклад в кутове переміщення рухомої частини приладу, відхилення променя електронно-променевої трубки і т. д.

Структурні схеми вимірювальних приладів показано на рис. 2.1. Схема вимірювального приладу, що працює за методом безпосередньої оцінки (рис. 2.1,а), складається з вимірювального кола і сукупності перетворювальних елементів ( $P_1, \dots, P_n$ ), що забезпечує реалізацію всіх перетворень сигналу вимірювальної інформації, та пристрою реєстрації (ПР), призначеного для відліку значень вимірюваної величини. Вимірювальними перетворювачами можуть бути вимірювальні підсилювачі та трансформатори, вимірювальні дільники напруги -і інші елементи, що мають нормовані метрологічні характеристики.

Вимірювальними перетворювачами можуть бути вимірювальні підсилювачі та трансформатори, вимірювальні подільники напруги та інші елементи, що мають

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		31

нормовані метрологічні характеристики. Розрізняють такі вимірювальні перетворювачі:

- первинний, якого підводиться вимірювана величина;
- проміжний, що займає у вимірювальному колі місце після первинного;
- передавальний, призначений для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації;
- масштабний, що змінює величину в задану кількість разів.

Замість відлікового пристрою використовуватися пристрій запам'ятовування та зберігання інформації, в які сигнал  $X_n$  надходить без візуалізації.

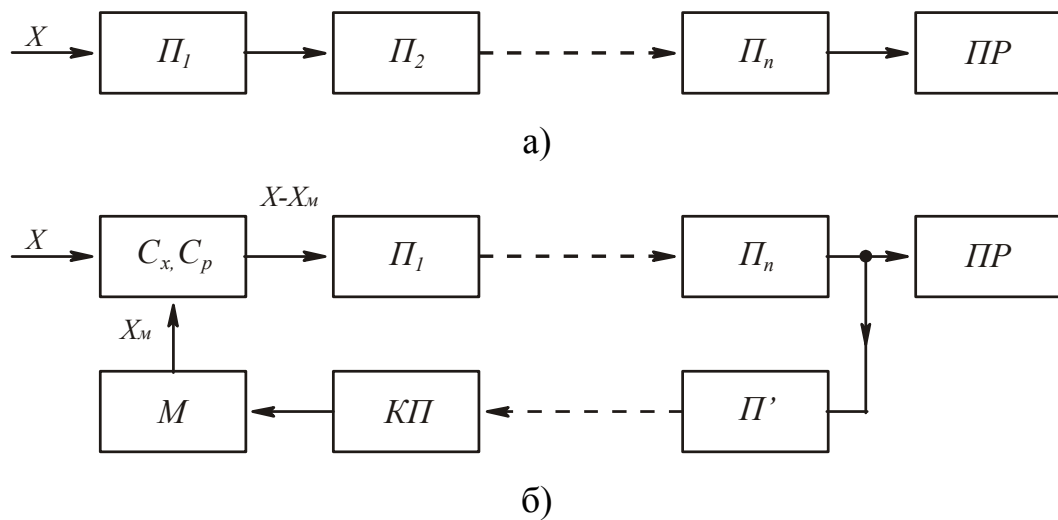


Рисунок 2.1 – Структурні схеми вимірювальних засобів:

П – перетворювачі; ПР – пристрій реєстрації;

КП – керуючий пристрій; М – міра

Структурну схему приладів, основаних на методі порівняння з мірою, представлено на рис. 2.1,б. Вимірювану величину  $X$  і величину  $X_m$ , що відтворюється мірою  $M$ , подають на схему порівняння. Коло прямого перетворення забезпечує передачу сигналу вимірювальної інформації  $X_m-X$  до реєструючого пристрою, а коло зворотного – забезпечує зміну значення величини  $X_m$  (містить перетворювач  $P'$  і керуючий пристрій (КП) зміною величини, відтворюваної мірою  $M$ ). При нульовому методі порівняння домагаються нульових показників пристрою реєстрації ПР, при диференціальному – показників встановленої величини. Міра,

що застосовується в схемі рис. 2.1,б повинна відтворювати ряд однойменних величин різного розміру (багатозначна міра).

На рис. 2.2 представлена найпростіша мостова вимірювальна схема, до якої можуть бути приведені більш складніші мостові схеми. Відомо, що міст перебуватиме в рівновазі ( $I_{12}=0$ ), якщо опори плечей задовольняють рівності:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (2.3)$$

Вважаючи опори трьох плечей урівноваженого моста відомими, опір четвертого плеча (наприклад,  $Z_1$ ) знайдемо із співвідношення:

$$Z_x = Z_1 = Z_2 Z_3 / Z_4 \quad (2.4)$$

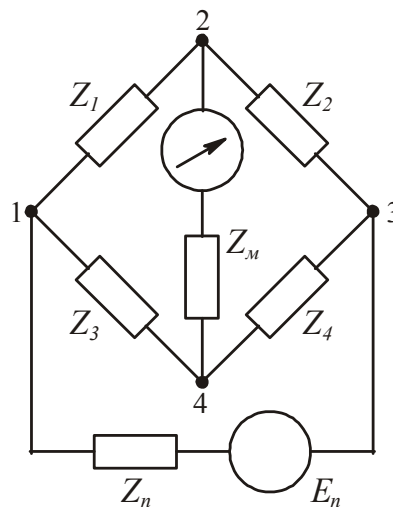


Рисунок 2.2 – Схеми мостового вимірювального кола

Точність виміру залежить від значень паразитних параметрів схеми включення досліджуваного елемента в мостове коло. Мостові схеми, які широко використовуються для вимірювання відносно великих величин, мають суттєві обмеження точності при вимірюваннях малих активних опорів, ємностей та індуктивності. Вимірювання за допомогою резонансних схем основані на

використанні залежності між резонансною частотою коливального контуру та параметрами його елементів.

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.5)$$

За допомогою резонансних схем зручно здійснювати вимірювання за допомогою заміщення, при якому той самий ефект (наприклад, резонанс на фіксованій частоті) повторюється двічі: перший раз – із вимірюваним елементом, другий – із мірою тієї самої фізичної природи. За результат вимірювання приймають значення, що дорівнює величині міри при резонансі. Резонансні схеми зручні при точних вимірах відносно малих значень самоіндукції та взаємоіндукції, малих опорів, ємностей, тангенсів кутів втрат конденсаторів, тощо. Оскільки вимірювання здійснюють на відносно високих частотах, то резонансні схеми доцільно використовувати при вимірюванні параметрів радіодеталей. Так як вимірювальною схемою може служити LC-генератор або резонансний контур, то розрізняють способи вимірювання з включенням досліджуваного елемента в пасивне або активне резонансне коло.

Однак сьогодні більшість приладів будують у цифровій реалізації. Це пов'язане не лише з їх перевагами як автономними пристроями, але й роллю, яку вони відіграють у сучасних вимірювальних системах. Цифрові пристрої мають високу швидкість, точність та низький рівень власного шуму. Вони легко стикуються з комп'ютерними технологіями та мобільними додатками.

Цифровими вимірювальними пристроями називаються пристроями, які автоматично створюють дискретні сигнали вимірювальної інформації, читання яких представлені в цифровій формі. Сигнали, значення яких виражається кількістю імпульсів, особливістю їх розташування на осі того часу тощо мають лише кінцеву кількість значень, визначених вибраним кодом. Цифрова форма представлення результату вимірювання, порівняно з аналоговою, прискорює

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		34

читання, ідентифікацію та обробку результату вимірювання, а також зменшує вірогідність суб'єктивних помилок.

Структурні схеми цифрових пристроїв можуть певні особливості побудови та суттєві відмінності від аналогових. Розглянемо принцип роботи універсального цифрового пристрою (рис. 2.3), який складається з наступних функціональних вузлів:

- попередній перетворювач;
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- лічильника;
- перетворювача коду (дешифратор);
- цифровий індикатор.

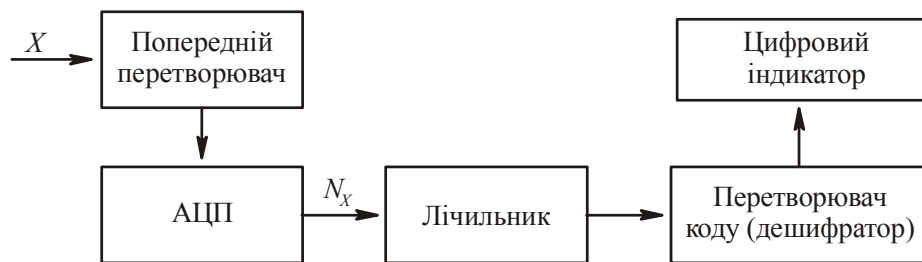


Рисунок 2.3 – Узагальнена структурна схема цифрового вимірювального пристрою

Сучасне метрологічне обладнання немислиме без мікроконтролерів і може бути реалізоване як на загальноприйнятій елементній базі, так і на спеціалізованих великих інтегральних схемах, спеціально розроблених для цієї задачі. В першому випадку обирається будь-який зручний розробнику мікроконтролер і на його базі здійснюється проектування. В даному випадку слід звернути увагу на кількість необхідних портів та їх призначення (АЦП, ЦАП, буфери, тощо). Також слід зауважити, що у розробника є широке поле діяльності, адже написання програмного коду, а отже і круг функціональних можливостей повністю залежать від нього. В другому випадку, спеціалізовані великі інтегральні схеми можуть мати широкий круг закладеного функціоналу (цифрову фільтрацію, перетворення Фур'є, масштабування, тощо), але вони вже містять “вшите” програмне забезпечення.

змінити яке неможливо. Можна спробувати поєднати цих два підходи і зробити симбіоз вказаних технологій. Загальну функцію керування та виведення результатів залишити за власним мікроконтролером, а проміжні функції обробки даних покласти на спеціалізовані ВІС.

Відповідно до ДСТУ [4-8] прилади для вимірювання параметрів компонентів та кіл із зосередженими постійними (вигляд Е) поділяють за функціональним призначенням на підгрупи:

- Е1 – установки та прилади для перевірки вимірювачів параметрів компонентів та кіл;

- Е2 – вимірювачі повних опорів та повних провідностей;

- Е3 – вимірювачі індуктивності; дозволяють визначати параметри котушок індуктивностей за паралельною чи послідовною схемами заміщення на низьких частотах;

- Е4 – вимірювачі добротності (куметри); це прилади, які використовують резонансний метод вимірювання на високих частотах;

- Е6 – вимірювачі активних опорів; до цієї підгрупи входять прилади для вимірювання активних опорів (омметри) у широкому діапазоні значень – міліомметри та мікроомметри (діапазон вимірювань до  $10^{-8}$  Ом), мегаомметри (до  $10^9$  Ом), тераомметри (до  $10^{18}$  Ом); ці прилади використовують для вимірювання перехідних опорів контактних з'єднань, для оцінки якості ізоляції електричних кіл та ін.

- Е7 – вимірювачі параметрів універсальні; сюди входять аналогові та цифрові вимірювачі імітансних параметрів різного принципу дії (мостові, з перетворенням у напругу та ін.);

- Е8 – вимірювачі ємності;

- Е9 – вимірювальні перетворювачі параметрів компонентів та кіл; окрім приладів, що промислово випускаються, використовують також нестандартні засоби вимірювання параметрів RLC (наприклад, прецизійні мостові прилади, схеми вимірювання методом заміщення з використанням зразкових заходів, тощо).

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		36

Закордонні виробники радіовимірювальної техніки [10, 11] поділяють прилади для вимірювання параметрів RLC на вимірювачі імпедансу, аналізатори імпедансу і аналізатори кіл. Вимірювачі імпедансу – досить прості прилади для визначення параметрів RLC на фіксованих частотах із цифровою індикацією результату. Аналізатори імпедансу дозволяють отримати частотні залежності параметрів як числовому, і у графічному вигляді. Аналізатори кіл використовують кілька методів вимірювання в широкому діапазоні частот і дозволяють, крім іншого, провести вибір та аналіз еквівалентної схеми досліджуваного елемента. Класифікація основних методів вимірювання параметрів двополіусників представлена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Класифікація методів вимірювання параметрів двополіусників





фазовий детектор, який складається із перемножувача і фільтра низької частоти (ФНЧ). На другий вхід перемножувача за допомогою електронного комутатора  $K_2$  по чергово подається опорна наруга з генератора зсунута на  $90^\circ$ : спочатку подається  $U_0 \sin(\omega t)$ , а потім  $U_0 \cos(\omega t)$ . Таким чином, на виході перемножувача послідовно отримуємо напруги:

$$\begin{aligned}
 U_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot U_0 \cos(\omega t) &= \frac{U_0}{2} U_m \sin \varphi + \frac{U_0}{2} U_m \sin(2\omega t + \varphi); \\
 U_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot U_0 \sin(\omega t) &= \frac{U_0}{2} U_m \cos \varphi - \frac{U_0}{2} U_m \cos(2\omega t + \varphi).
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Гармонічні складові з подвійною частотою пригнічуються фільтром низьких частот, встановлених на виході перемножувача. Постійна наруга на його виході, пропорційна  $U_m \cos \varphi$  та  $U_m \sin \varphi$ , представляє собою дійсну та уявну частини відповідних комплексних амплітуд. Ці напруги вимірюються цифровим вольтметром постійного струму. Результати вимірювання ( по 2 дійсних числа для кожної напруги  $U_U$  та  $U_I$ ) передаються в мікроконтролер, де вже відбувається розрахунок імітансу (індуктивності, ємності, добротності та втрат). Цей метод вимірювання не потребує стабільного джерела змінної напруги. При дослідженні високоомних кіл це джерело працює як генератор напруги, а результат отримується у вигляді складових комплексної провідності. Для низькоомних об'єктів краще вимірювати повний опір при живленні від генератора струму (генератор з великим вихідним опором).

Враховуючи приведену класифікацію та здійснений аналіз метрологічних методів [1-10], оберемо симбіоз двох найкращих методів: метод вольтметра-амперметра та метод перетворення опору в наругу, так як вони найкраще підходять для компактного мікроконтролерного виконання. Методи основані на законі Ома і передбачають прості арифметичні операції із початковими даними для одержання похідних величин. Крім того, обидва методи мають надзвичайно близьку схемотехнічну реалізацію – операційні підсилювачі, електронні комутатори резистивні подільники, тощо.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		40

### 2.3. Структурна схема портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом.

Розглянемо структурну схему пристрою, що проектується (рис. 2.4). В основу роботи приладу покладено метод вольтметра-амперметра, тобто на досліджуваному елементі здійснюється вимірювання напруги і струму, які діють на даному елементі. Далі на основі математичних операцій обраховуються всі супутні метрологічні параметри.

Тестуючий сигнал робочої частоти формується DDS генератором, який здатен з високою швидкістю виробляти досить широкий діапазон частот (до 37,5 МГц, хоча в нашому випадку достатньо і 100 кГц) з надзвичайно високою роздільною здатністю (0,004 Гц) та прецизійністю. Використання DDS генератора піднімає даний пристрій на новий технічний щабель портативних приладів, адже із такими параметрами ми одержуємо надточний інструмент проведення радіотехнічних досліджень. Сам генератор DDS керується мікроконтролером. Вихідний сигнал від генератора через фільтр низьких частот (ФНЧ) подається на досліджуваний об'єкт що підключається до перетворювача струм-напруга (U/I). Перетворювач формує дві напруги, одна з яких пропорційна струму, протікаючому через вимірюваний об'єкт, інша – напрузі на ньому. Всі подальші обрахунки проводиться програмними засобами (наприклад, відношення напруги до струму відповідає комплексному опору об'єкта і т. д.).

Для охоплення широкого діапазону вхідних величин використовується масштабуючий підсилювач, який також керується мікроконтролером. З його виходу сигнал поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і далі – мікроконтролер, який здійснює перетворення і трансляцію отриманих значень двома шляхами: через USB роз'єм на ноутбук або персональний комп'ютер (ПК) та через Bluetooth модуль на смартфон. Вся постобробка даних здійснюється відповідними програмними засобами: окрема програма для ноутбука і окрема для Android. Приклад програми керування та відображення результатів буде наведено в 3 розділі кваліфікаційного проекту.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		41

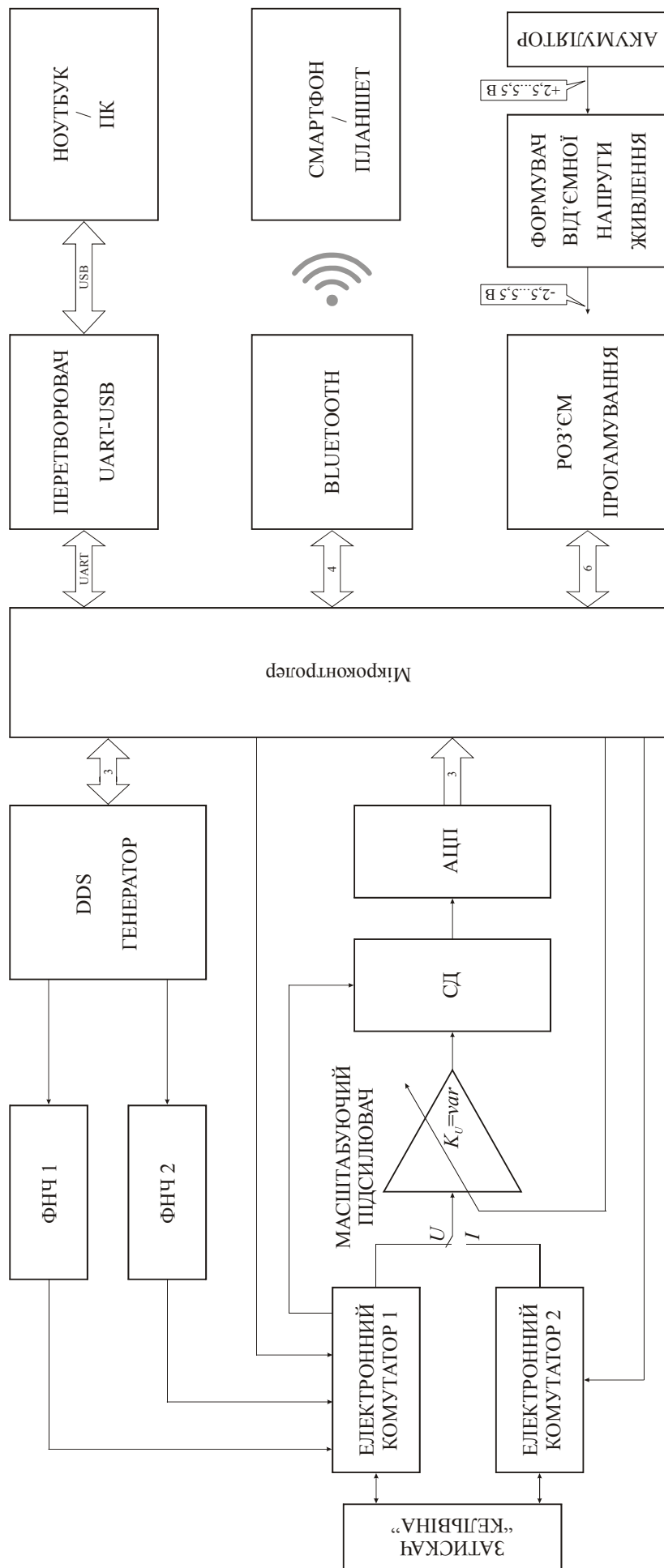


Рисунок 2.7 – Структурна схема портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

Особливістю даного приладу є відсутність пристрою індикації (дисплея). Однак це не являється недоліком. Навпаки, саме дисплей являється найбільш дорогою частиною будь-якого вимірювального приладу. А його відсутність дозволяє суттєво зменшити собівартість приладу. Крім того, саме дисплей в більшості випадків визначає форм-фактор приладу і займає львину частку корпусу, що збільшує його масо-габаритні показники. Тому відсутність дисплею дозволяє реалізувати наш вимірювальний прилад з мінімальними фізичними розмірами.

Сам пристрій може бути настільки мініатюрним, що поміститься у вимірювальний пінцет. Подібні пристрої випускаються промисловістю. Але вони мають ряд недоліків:

- невеликий набір функціональних можливостей;
- відсутність радіоінтерфейсу.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		43

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. У розділі розглянуті теоретичні положення та методи, закладені в побудову метрологічного обладнання. Наведено приклади аналогових та цифрових структурних схем загального призначення.

2. Створена структурна схема портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом. Детально розглянуті та проаналізовані всі структурні та функціональні складові. Обґрунтовано саме такий їх вибір та поєднання.

3. Особливістю спроектованого приладу є відсутність пристрою індикації (дисплея). Однак це не являється недоліком. Навпаки, саме дисплей являється найбільш дорогою частиною будь-якого вимірювального приладу. А його відсутність дозволяє суттєво зменшити собівартість приладу. Крім того, саме дисплей в більшості випадків визначає форм-фактор приладу і займає львину частку корпусу, що збільшує його масо-габаритні показники. Тому відсутність дисплею дозволяє реалізувати наш вимірювальний прилад з мінімальними фізичними розмірами.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		44

### 3. РОЗРАХУНОК СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

В другому розділі ви визначили структуру та склад портативного вимірювача RLC з радіоканалом: мікроконтролер із периферійними колами, включаючи інтерфейс програмування самого мікроконтролера, DDS генератор з джерелом опорного коливання, фільтр низької частоти (ФНЧ), комутатор, масштабуючий підсилювач, синхронний детектор, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), перетворювач UART-USB, модуль Bluetooth та схема живлення.

#### 3.1. Мікроконтролер та периферійні кола.

Виберемо в якості мікроконтролерного пристрою ATmega-168, який представляє собою 8-розрядне КМОП FLASH сімейство мікроконтролерів ATxxxx. Даний мікроконтролер містить область пам'яті, що перепрограмується і стирається (ПЗП Flash), та сумісна із системою команд і за виводами зі стандартним сімейством MCS-51™. Також він містить пам'ять даних EEPROM і SRAM, порти вводу-виводу та стандартні для мікроконтролерів інтерфейси – JTAG, ІС, UART SPI.

ATmega-168 має RISC-архітектуру загального призначення с швидким процесорним ядром. Він має Flash-пам'ять програм, Гарвардська архітектура AVR реалізує повний логічний і фізичний поділ як адресних просторів, так і інформаційних шин для звертання до пам'яті програм і даних. Така побудова кристала в поєднанні з однорівневим конвеєром команд забезпечує високу продуктивність.

КМОП мікроконтролер ATmega-168 споживає в активному режимі на частоті 12 МГц не більше 3,6 мА і в пасивному режимі, при якому зупинено ЦП,

					КПТР.019037.01.02 ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом  Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Козловський Р						45
Перевірив		Підченко С.К						
Н. контр.		Стецюк В. І.						
Зав.		Підченко С. К.						
						ХНУ, гр. ТР2с-19-1		

ОЗП, таймери споживання не перевищує 1,0 мА. В стоповому режимі при напрузі живлення 5 В струм споживання не перевищує 0,5 мкА. Мікроконтролер здійснює всі функції керування пристроєм, індикацією всіх режимів і налаштувань, обробку, вимірювання всіх вхідних сигналів та керування силовою частиною.

Особливості мікроконтролера АТmega-168:

- ємність Flash пам'яті: 8 кБайт, з можливістю перепрограмування;
- часовий ресурс: 10000 циклів записів/стирань;
- внутрішній статичний ОЗП 1 кБайт;
- 512 Байт EEPROM;
- найвища в промисловості швидкодія серед 8-бітних мікроконтролерів (більшість команд виконується за 1 період кварцового генератора);
- високопродуктивний, малопотужний, AVR<sup>®</sup> 8-розрядний мікроконтролер;
- авансована архітектура RISC;
- потужний набір команд (120 інструкцій);
- 32x8 регістра загального призначення (акумулятора);
- повністю статичні операції;
- продуктивність до 16 млн. команд на секунду при тактовій частоті 16 мГц;
- енергонезалежна програма і зберігання даних;
- програмування замка для безпеки програмного забезпечення;
- розвинена система адресації, оптимізована для роботи із Сі-компіляторами;
- програмований синхронний (USART) і асинхронний (UART) послідовний порт;
- Master/Slave синхронний послідовний порт (SPI);
- двоканальний ШІМ-модулятор;
- аналоговий компаратор;
- два 8-розрядних таймери;
- один 16-розрядний таймер;
- три канали ШІМ;
- 8-канальний АЦП;
- програмувальний сторожовий таймер;

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		46

- діапазон робочих напруг 2,7-5,5 В;
- споживаний струм в активному режимі - 3,6 мА;
- споживаний струм в пасивному режимі - 1,0 мА.

Технологічні параметри мікроконтролера АТмега-168 зображені на рис. 3.1.

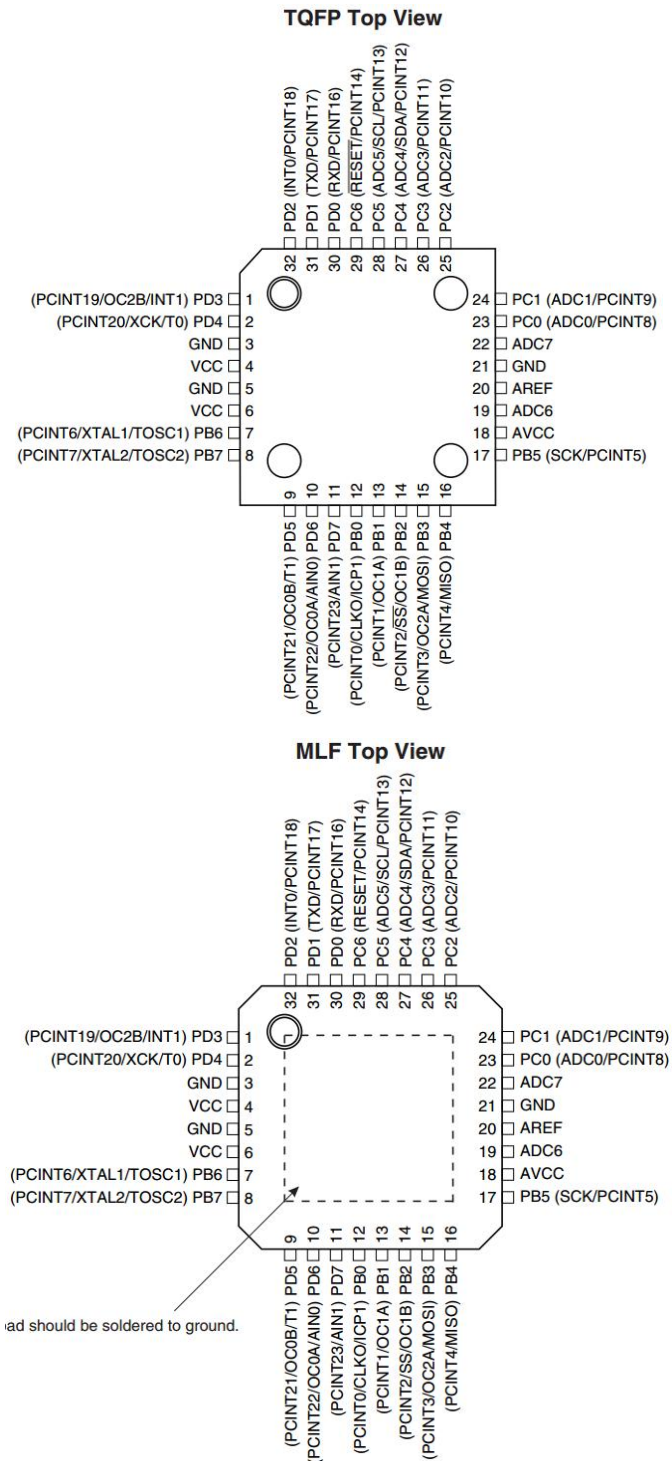


Рисунок 3.1 – Технологічні параметри мікроконтролера АТмега-168

Блок-схема мікроконтролера АТмега-168 представлена на рис. 3.2

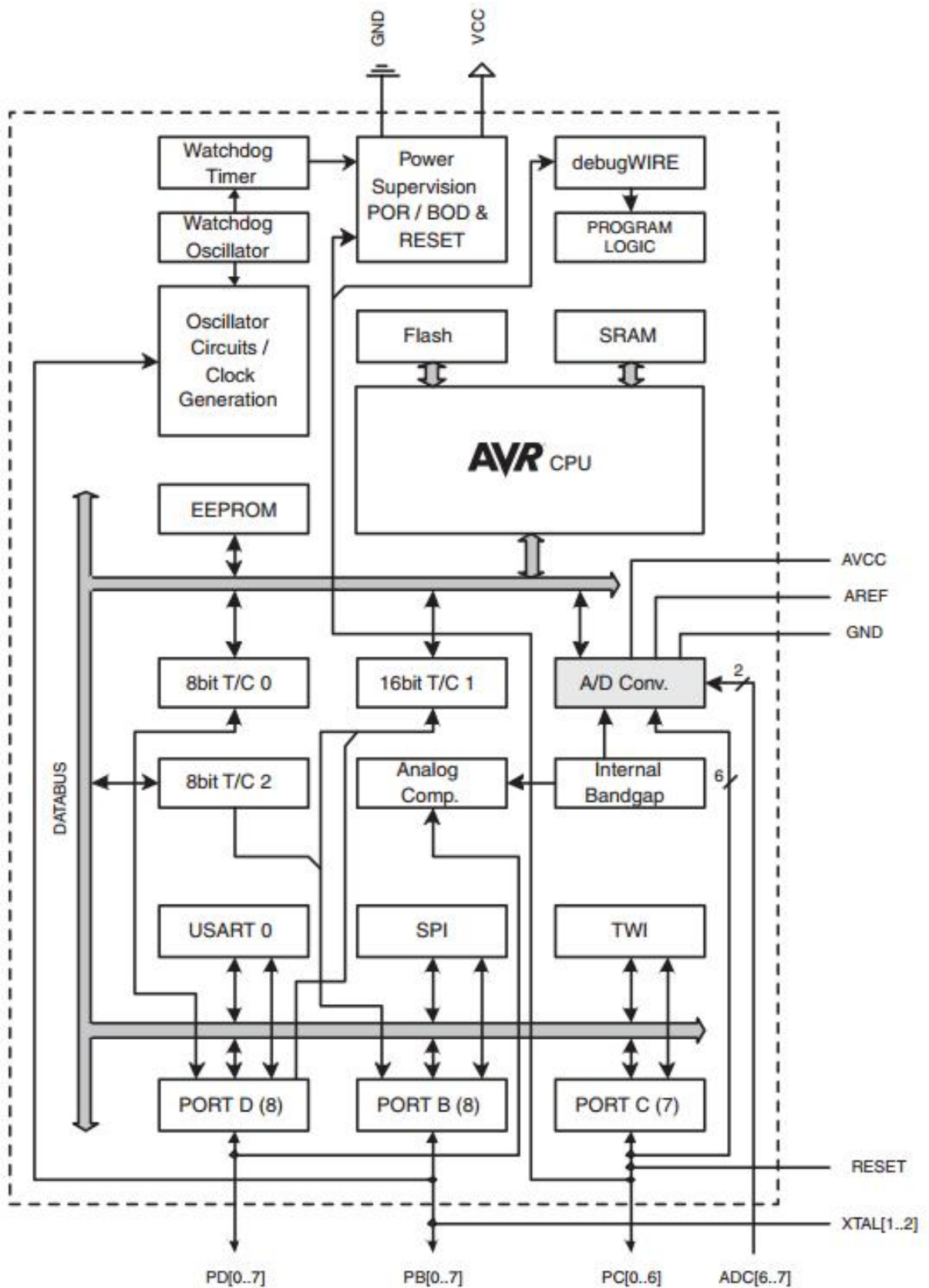


Рисунок 3.2 – Блок-схема мікроконтролера АТмега-168

Схема електрична принципова зображена на рис. 3.3 і відображає під'єднання мікроконтролера до різноманітних периферійних пристроїв: DDS генератора, мультиплексорів 1 і 2, перетворювача UART-USB, модуля BLUETOOTH, АЦП та інтерфейсу програмування. Живлення мікроконтролера – 5 В поступає на виводи 4 і 6 (Vcc). До виводів 7 і 8 під'єднано задаючий кварцовий резонатор та узгоджуючі конденсатори C39, C40.

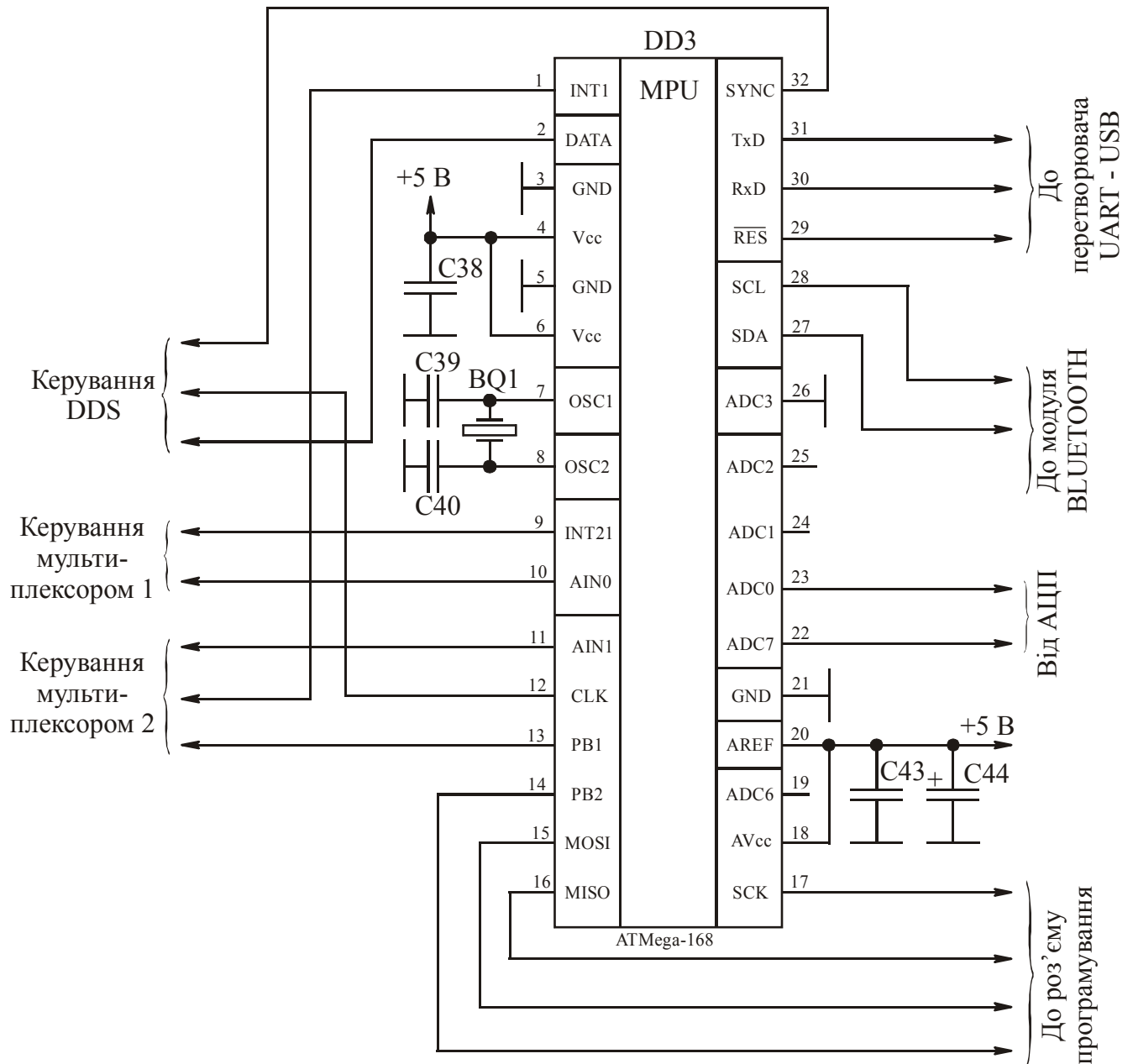


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова мікроконтролера АТmega-168



програмований сторожовий таймер з внутрішнім осцилятором і п'ять програмно вибираються режимів енергозбереження. Режим очікування зупиняє процесор, дозволяючи SRAM, таймерам/лічильникам, USART, 2-провідному послідовному інтерфейсу, порту SPI та системі переривань продовжувати функціонувати. Режим вимкнення живлення зберігає вміст регістра, але зупиняє осцилятор, вимикаючи всі інші функції мікросхеми до наступного переривання або апаратного скидання. У режимі енергозбереження асинхронний таймер продовжує працювати, дозволяючи користувачеві підтримувати базу таймера, поки решта пристрою спить. Режим шумозаглушення АЦП зупиняє ЦП і всі модулі вводу/виводу, крім асинхронного таймера та АЦП, щоб мінімізувати шум перемикання під час перетворення АЦП. У режимі очікування осцилятор кристала/резонатора працює, а решта пристрій сплячий. Це забезпечує дуже швидкий запуск у поєднанні з низьким споживанням енергії.

Пристрій виготовлено з використанням технології енергонезалежної пам'яті Atmel високої щільності. Вбудований ISP Flash дозволяє перепрограмувати пам'ять програм у системі через SPI послідовний інтерфейс звичайним програматором енергонезалежної пам'яті або програмою завантаження на чіпі, що працює на ядрі AVR. Програма завантаження може використовувати будь-який інтерфейс для завантаження прикладна програма у флеш-пам'яті програми. Програмне забезпечення в розділі Boot Flash продовжуватиме працювати, поки оновлюється розділ Application Flash, забезпечуючи операції читання-запис. Завдяки поєднанню 8-розрядного RISC-процесора з внутрішньосистемною самопрограмованою флеш-пам'яттю на монолітному чіпі, Atmel ATmega-168 є потужним мікроконтролером, який забезпечує дуже гнучке та економічно ефективне рішення для багатьох вбудованих програм керування. ATmega-168 AVR підтримується повним набором програм і інструментів розробки системи, включаючи: компілятори C, асемблери макросів, налагоджувач/симулятори програм, внутрішньосхемні емулятори та комплекти оцінки.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		51



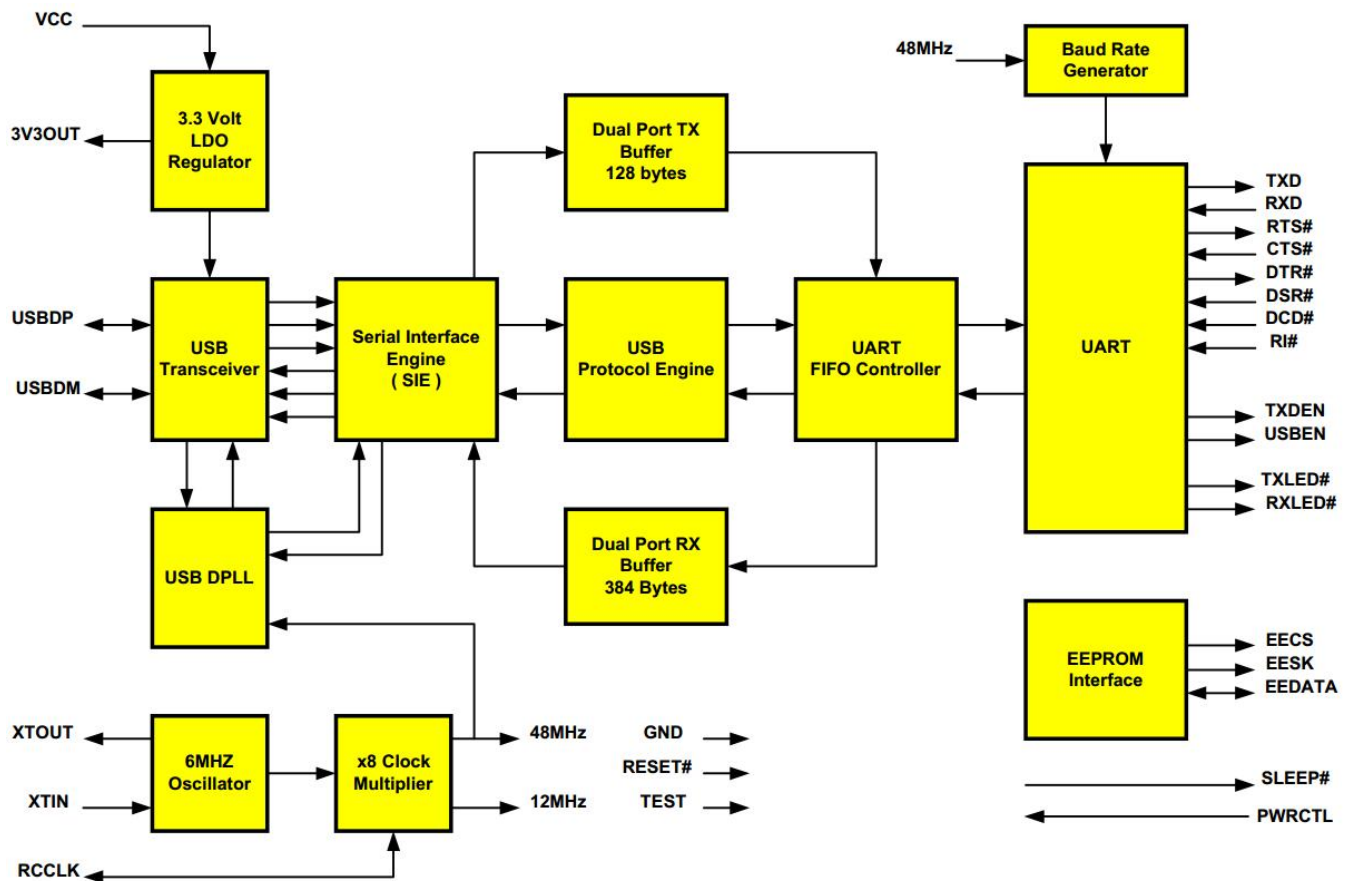


Рисунок 3.6 – Блок-схема FT8U232AM

Її основа – прийомо-передавач інтерфейсів UART і USB. Блок UART наділений повним набором сигнальних кіл стандарту RS-232/RS-485, прийомо-передавач USB – всього двома інформаційними виводами USBDP і USBDM (двохнаправлений канал передачі даних). Блок перетворення кодів SIE (Serial Interface Engine) перетворює послідовний код у паралельний і назад, виконує процедури бітстафінга, формує та перевіряє контрольні коди для вихідних і вхідних потоків даних відповідно.

FT8U232AM включає всі особливості перетворювачів другого покоління:

- два канали вводу-виводу (конфігуруються окремо);
- вбудована схема скидання по включенню живлення;
- вбудований тактовий генератор RC;
- вбудований перетворювач рівня UART/FIFO;
- модернізована система керування живленням;

- підтримка ізохронної передачі;
- вивід негайної передачі, вихід зі стану очікування для кожного каналу;
- низький струм споживання в режимі зниженого енергоспоживання (100 мкА);
- програмований час затримки прийомного буфера даних;
- дільник формувача швидкості передачі з попередньою установкою;
- підтримка зовнішньої пам'яті;
- підтримка протоколу USB 2.0.

Мікросхема D1 FT8U232AM ввімкнена по стандартній схемі (рис. 3.7), рекомендованій виробником.

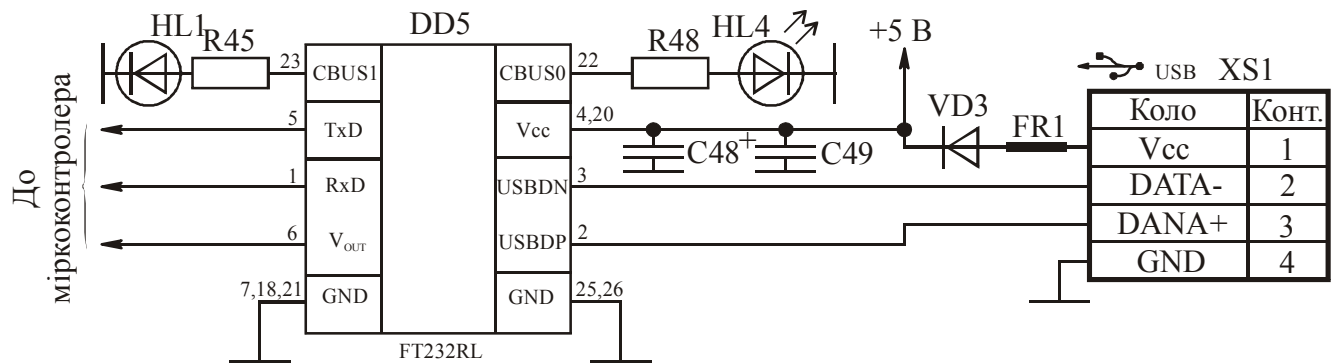


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова перетворювача UART-USB

Виводи 23 (CBUS1) 12 (CBUS0) мікросхеми DD5 використовуються для візуальної сигналізації режимів роботи перетворювача інтерфейсів – відображають відповідно передачу і прийом даних. Для цього на відповідних виводах встановлено світлодіоди HL1 і HL4 через обмежуючі резистори R45 і R48. Для зручності експлуатації виберемо зелений колір світіння світлодіодів, наприклад прилад КИПМО4Д-1Л, з наступними характеристиками:

- сила світла .....2 мкД;
- постійна пряма напруга ..... 2,8 В;
- постійний прямий струм ..... 20 мА;
- максимум спектрального розподілу випромінювання .....0,56 мкм;

- зворотна постійна напруга ..... 5 В.

При значенні струму 20 мА, опір резистора обмеження:

$$R_{45,48} = \frac{U_n}{I_{np.}} = \frac{2,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 110 \text{ Ом},$$

де  $U_n = 5 - 2,8 = 2,2$  В – падіння напруги, яке необхідно забезпечити на резисторах R45 і R48.

Найближчим номіналом є значення 120 Ом. Перевіримо потужність розсіювання резистора:

$$P = I^2 \cdot R_{45,48} = (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 120 = 0,05 \text{ Вт.}$$

Отже візьмемо резистори  $R_{45,48}$  типу RC02G, 120 Ом, E24,  $\pm 20\%$ .

Напруга живлення мікросхеми FT8U232AM – 4,4...5,25 В, споживаний струм - не більше 25 мА в робочому режимі і 250 мкА в режимі очікування.

Одержані дані від мікроконтролера через перетворювач UART-USB транслюються на ноутбук. У програмній частині дискретна робоча частота додатково пропускається через цифровий смуговий фільтр (КІХ-фільтр) і результатом роботи програмної частини є розрахунок відношення напруг.

Як було сказано вище, в основі роботи приладу лежить метод вольтметра-амперметра, тобто вимірюється падіння напруги на тестовому елементі і струм через нього, а  $Z_x$  розраховується як

$$Z_x = \frac{U}{I} \quad (3.1)$$

Зрозуміло, що значення напруг і струмів необхідно отримати в комплексному вигляді. Для вимірювання реальної ( $Re$ ) та уявної ( $Im$ ) складових напруги і струму використовується синхронний детектор (СД). Подаючи на

управління ключами СД сигнали DDS із зсувом  $0^\circ$  або  $90^\circ$  відносно тестового сигналу, одержуємо шукані  $Re$  та  $Im$  частини напруги і струму. Таким чином, для одного виміру  $Z_x$  необхідно виконати чотири вимірювання, 2 для напруги і 2 для струму. Отримуємо комплексний опір:

$$Z=R+jX, \quad (3.2)$$

де  $R$  – активний опір, а  $X$  – реактивний опір.

Послідовний опір:

$$R_s=R. \quad (3.3)$$

Якщо  $X<0$  маємо послідовну ємність:

$$C_s = \frac{1}{2\pi f X} \quad (3.4)$$

При  $X>0$  маємо послідовну індуктивність:

$$L_s = \frac{X}{2\pi f} \quad (3.5)$$

де  $f$  – частота вимірювання.

Добротність обчислюється наступним чином:

$$Q=X/R, \quad (3.6)$$

Тангенс кута втрат:

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\delta=1/Q. \quad (3.7)$$

Таки чином ми отримуємо комплекс вимірюваних функцій, які виводяться у вигляді результатів дослідження радіоелементів.

### 3.3. DDS генератор з джерелом опорного коливання.

Існує ціла серія синтезаторів прямого синтезу за технологією DDS: AD9832, AD9833, AD9834, AD9835, AD9850, тощо. Однак в нашому випадку із задачею формування тестових частот до 100 кГц справиться будь-який генератор. Тому візьмемо поширений і недорогий пристрій AD9834 (рис. 3.8).

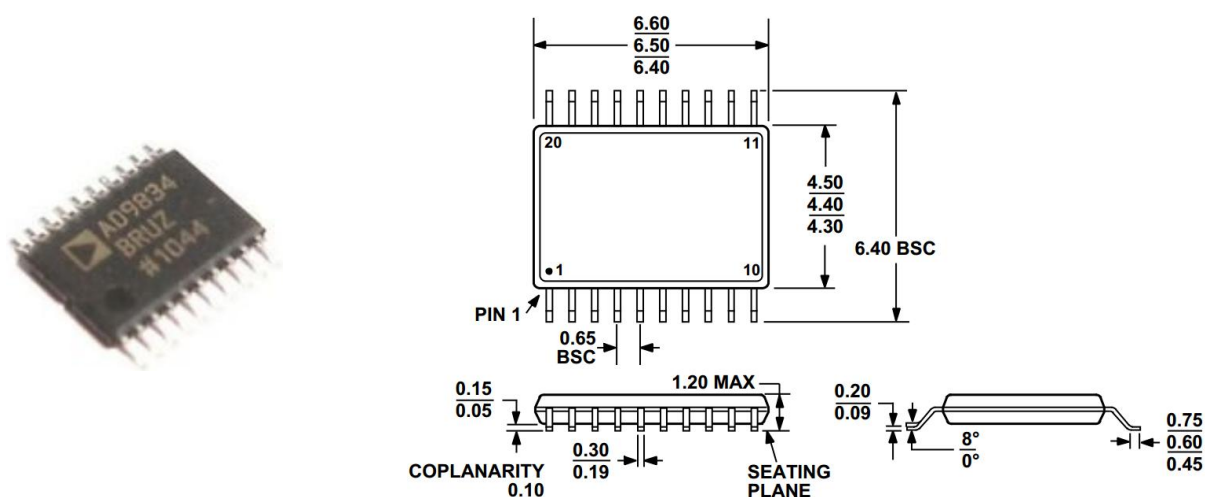


Рисунок 3.8 – Технологічні параметри DDS генератора AD9834

Синтезатор AD9834 має наступні технічні параметрами:

- тактова частота 75 МГц;
- вихідна частота 37,5 МГц;
- розрізнявальна здатність: 0,004 Гц
- форма сигналу: синусоїдальна, трикутна.
- вбудований високоефективний 10-розрядний ЦАП і високошвидкісний компаратор;

- 28-розрядне слово встановлення частоти;
- спрощений інтерфейс керування: паралельний або послідовний асинхронний формат завантаження (3-провідний SPI інтерфейс);
- 5-розрядна модуляція і зсув фази;
- однополярне живлення +2,3-5,5 В;
- мала потужність: 20 мВт;
- режим низького споживання.

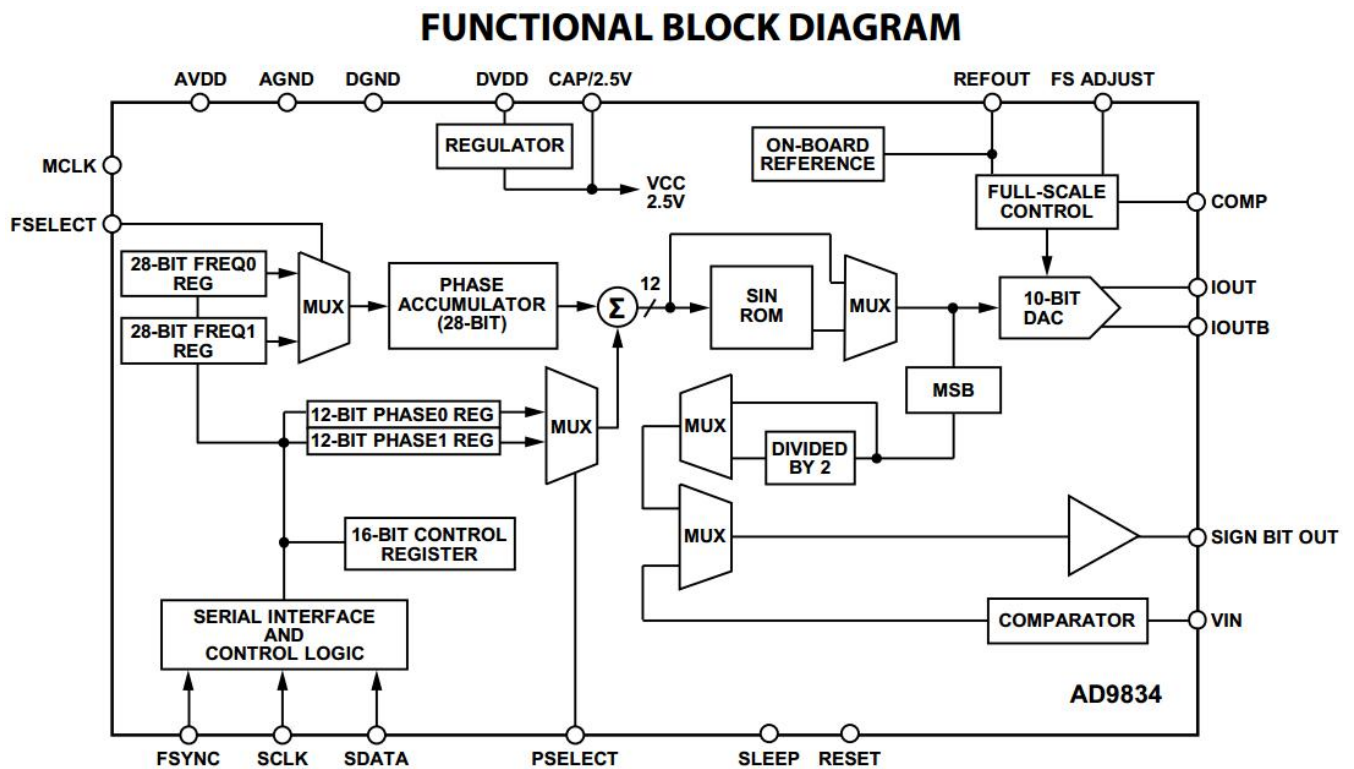


Рисунок 3.9 – Блок-схема DDS генератора AD9834:

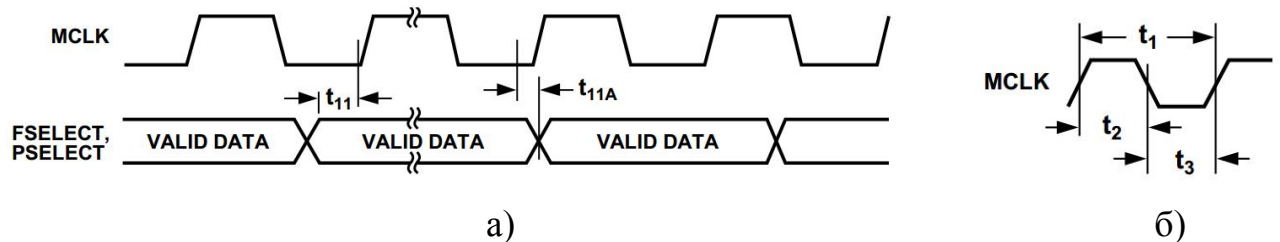


Рисунок 3.10 – Часові діаграми:  
а) Control Timing; б) Master Clock

Співвідношення між вихідною частотою, системним тактуванням і словом налаштування AD9834 визначається виразом:

$$f_{OUT} = \frac{(\Delta Phase \times System Clock)}{2^{28}},$$

де:  $\Delta Phase$  – десяткове значення 28-розрядного слова установки частоти,  
 $0 < \Delta Phase < 2^{28} - 1$ ;

$System Clock$  – пряма вхідна частота (у МГц);

$f_{OUT}$  – частота вихідного сигналу в МГц.

Схема електрична принципова DDS генератора AD9834

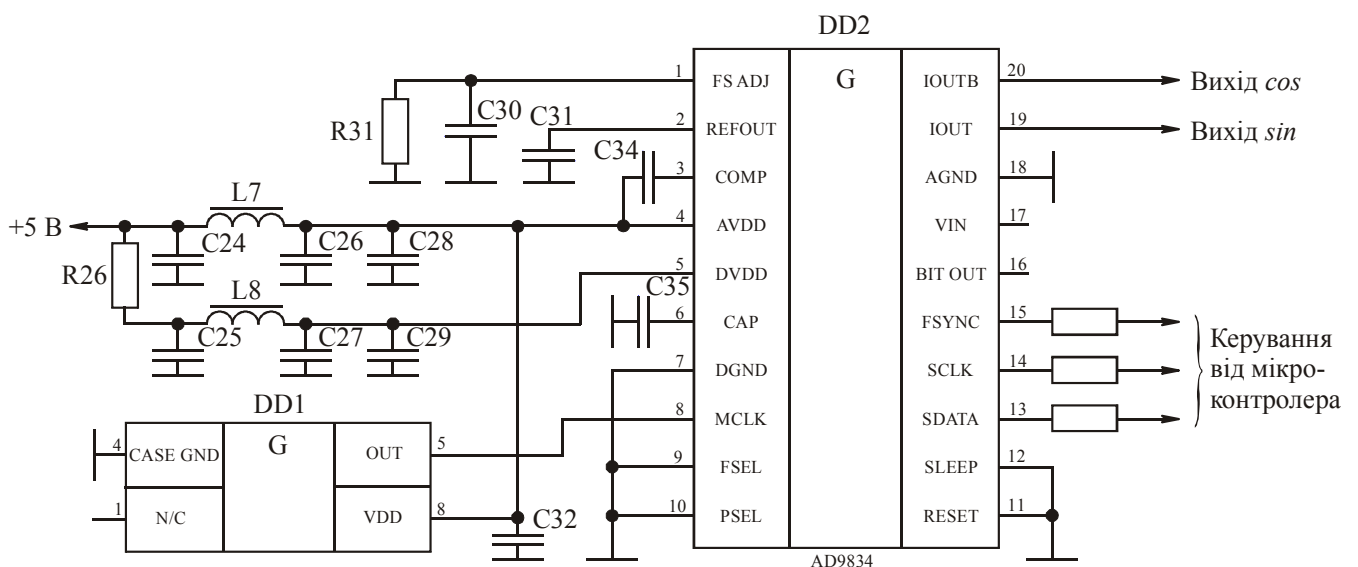
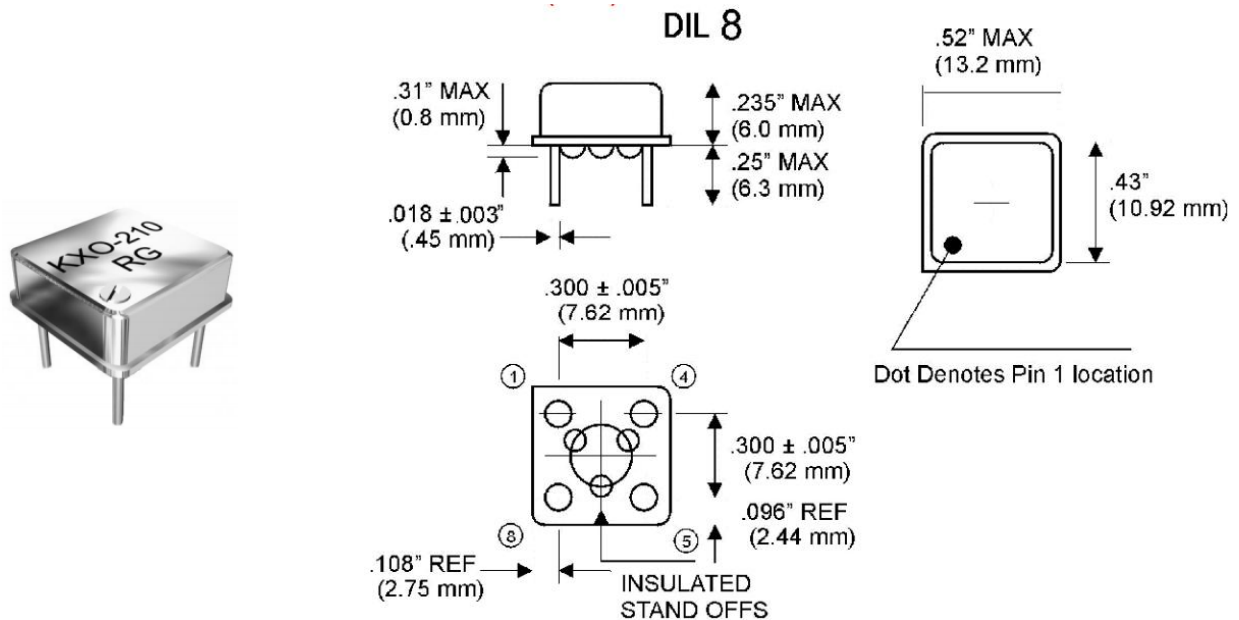


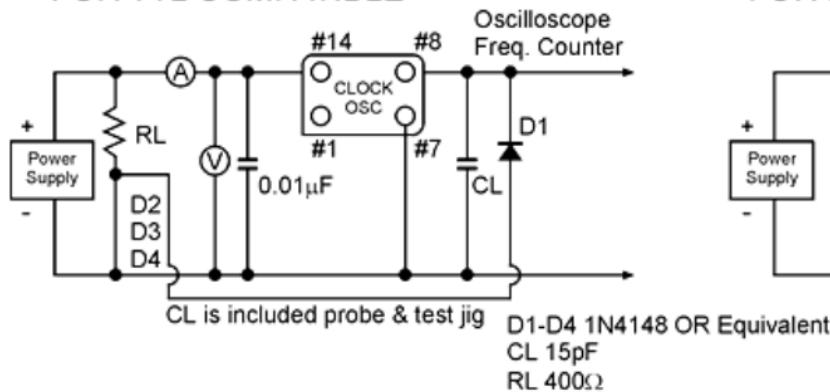
Рисунок 3.11 – Схема електрична принципова DDS генератора AD9834

Правила конструювання генераторів на основі DDS вимагають розділення аналогових та цифрових кіл живлення з якісними колами фільтрації. Тому напруга живлення поступає на виводи 4 (аналог.) та 5 (цифр.) через окремі додаткові фільтри П-подібні LC-фільтри: L7, C24, C26, C28 та L8, C25, C27, C29 та роздільний резистор R26.

Основою роботи DDS синтезу сигналів є наявність високо стабільного опорного джерела. Як правило це термостатовані, термостабілізовані кварцові генератори в окремих металізованих корпусах для зменшення впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів.



**FOR TTL COMPATIBLE**



**FOR HCMOS COMPATIBLE**

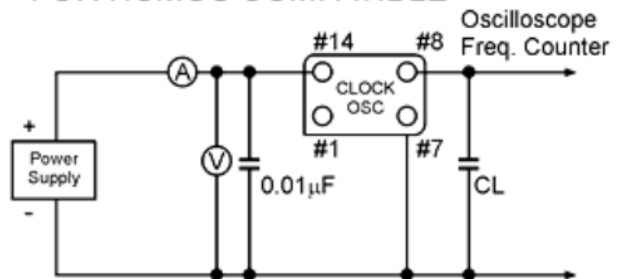


Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд, призначення виводів та стандартні схеми ввімкнення KXO-210 10.0 MHz

Мікросхема формує ортогональну послідовність сигналів на своїх виходах:

- вивід 19 ( $I_{OUT}$ ) –  $\sin, 0^\circ$ ;
- вивід 19 ( $I_{OUTB}$ ) –  $\cos, 90^\circ$ .

Ці сигнали поступають на додаткові фільтри низької частоти (ФНЧ).

### 3.4. Фільтр низької частоти.

Як і опорний генератор для DDS, обов'язковою складовою формування якісного сигналу на виході генератора є фільтр низької частоти (ФНЧ), роль якого полягає в усуненні небажаних бічних складових на виході генератора.

Сформуємо два ідентичні канали ФНЧ, із характеристиками Чебишева (рис. 3.13).

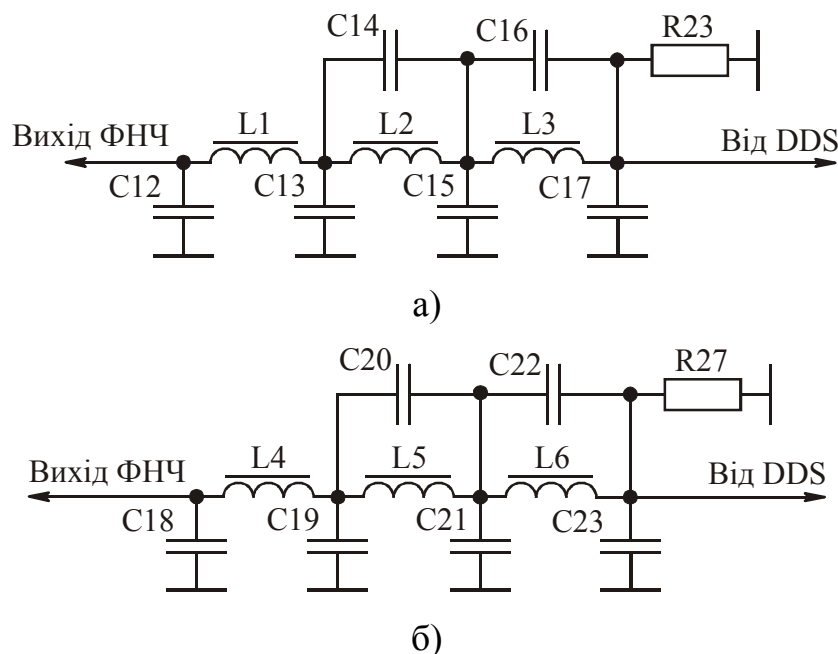


Рисунок 3.13 – Фільтри низької частоти:

а) прямий вихід  $\sin$ ,  $0^\circ$  (б) інверсний вихід  $\cos$ ,  $90^\circ$

### 3.5. Комутатори.

В пристрої є необхідність великої кількості комутацій різноманітних сигналів та їх послідовностей між розрізненими конструктивно блоками. Якщо застосовувати окремі дискретні комутатори, то схема вийде надзвичайно великою і громіздкою. Було вирішено в якості електронних комутаторів використати інтегральне рішення – мікросхеми мультимплексорів/демультиплексорів, які можуть

містити 2/4/8 та більше схем комутацій в одному корпусі. Причому мультиплекси можуть комутувати як 2 вхідні послідовності сигналів так і 3 і 4, що в нашому випадку являється надзвичайно важливим, адже потрібно комутувати від одного до чотирьох сигналів на різні схеми пристрою.

Оберемо для рішення цієї задачі наступні мікросхеми:

- диференціальний 4-канальний аналоговий мультиплексор/демультиплексор HCF4052В (рис. 3.14);

- потрійний 2-канальний аналоговий мультиплексор/демультиплексор 4053В (рис. 3.15).

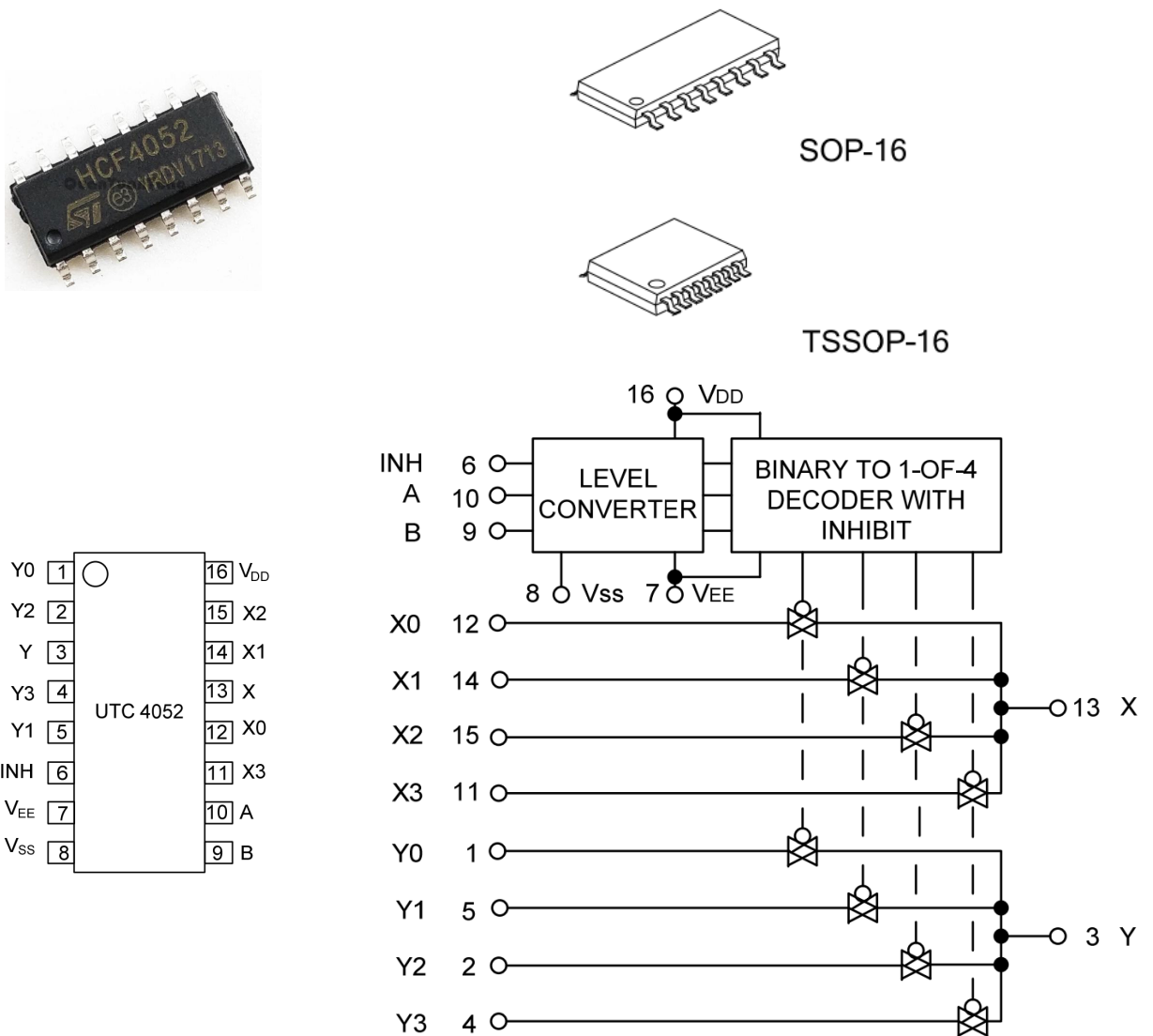


Рисунок 3.14 – Технологічні параметри HCF4052В



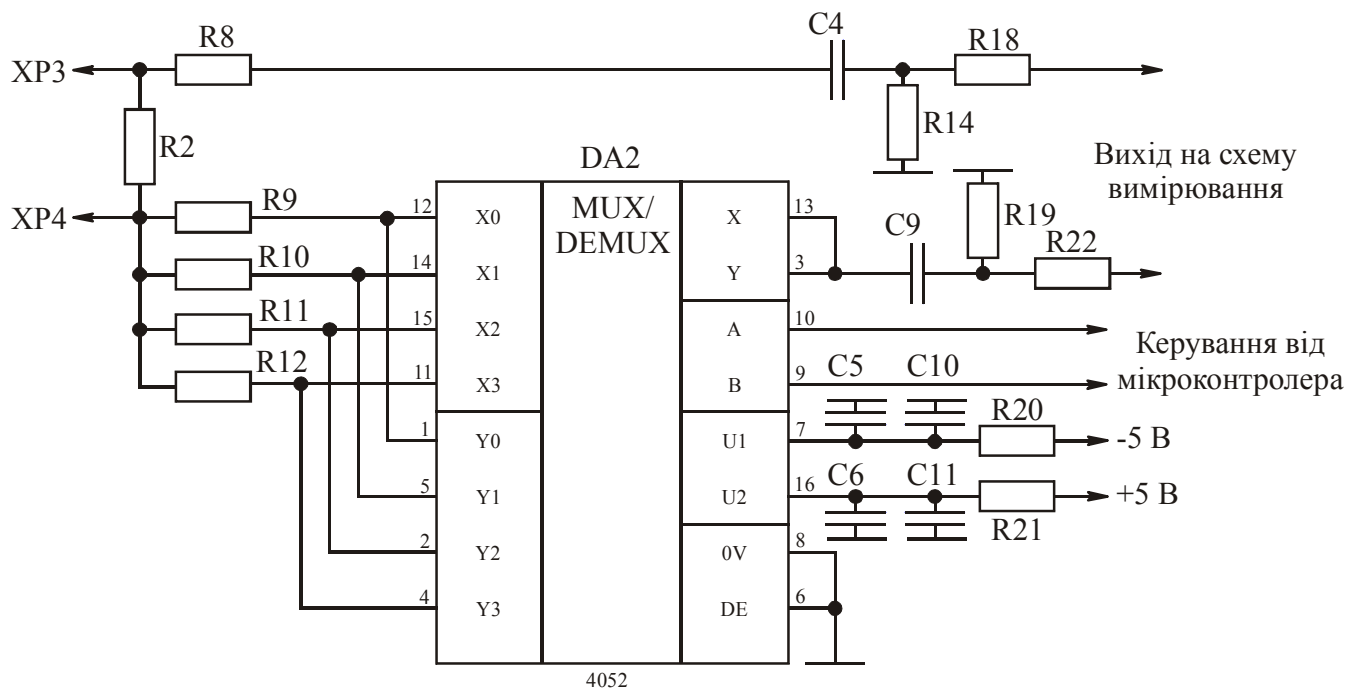
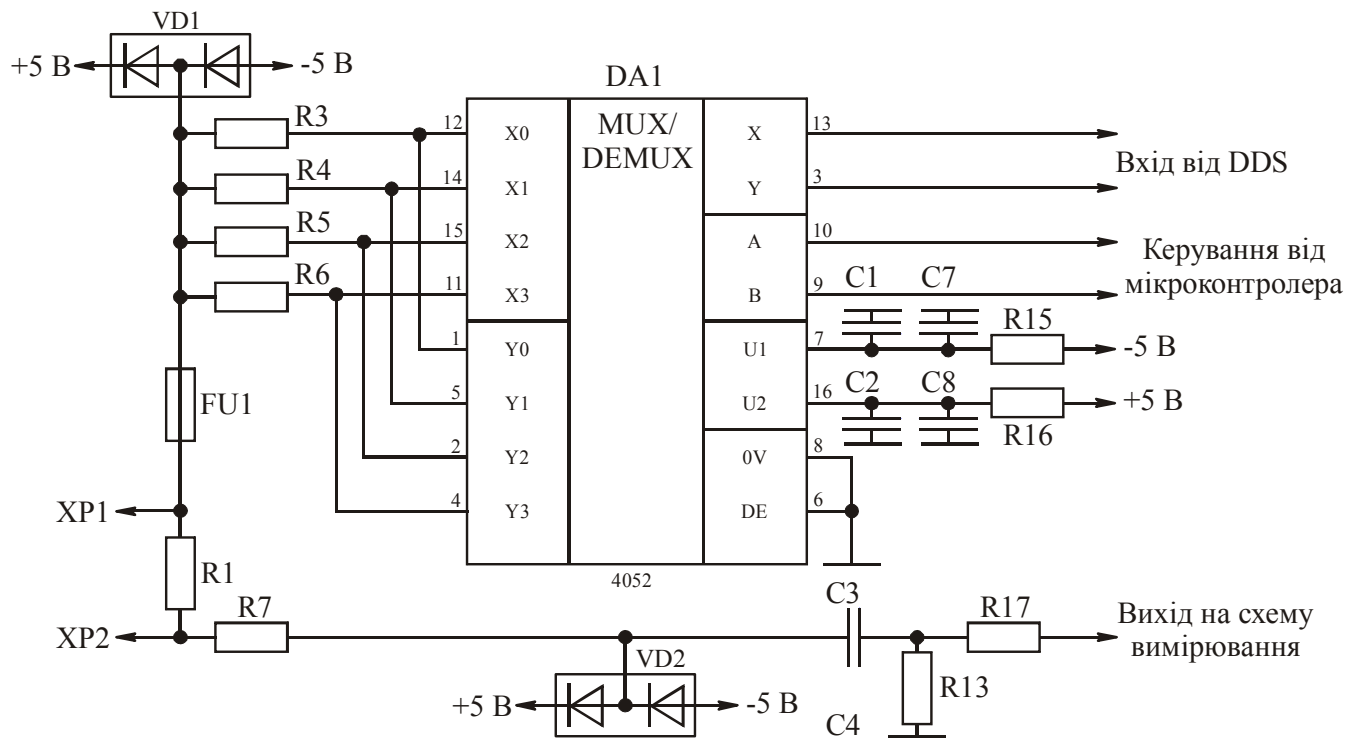


Рисунок 3.16 – Схема електрична принципова вхідних комутаторів на основі диференціального 4-канального аналогового мультиплексора/демультиплексора HCF4052B

Мікроконтролер своїми сигналами управління, поданими на комутатор DA1, підключає один з резисторів R3-R6 послідовно вимірюваному елементу (Z), вибираючи струм залежно від номіналу елемента. Аналогічно працює і мікросхема DA2, комутуючи один з резисторів R9-R12.

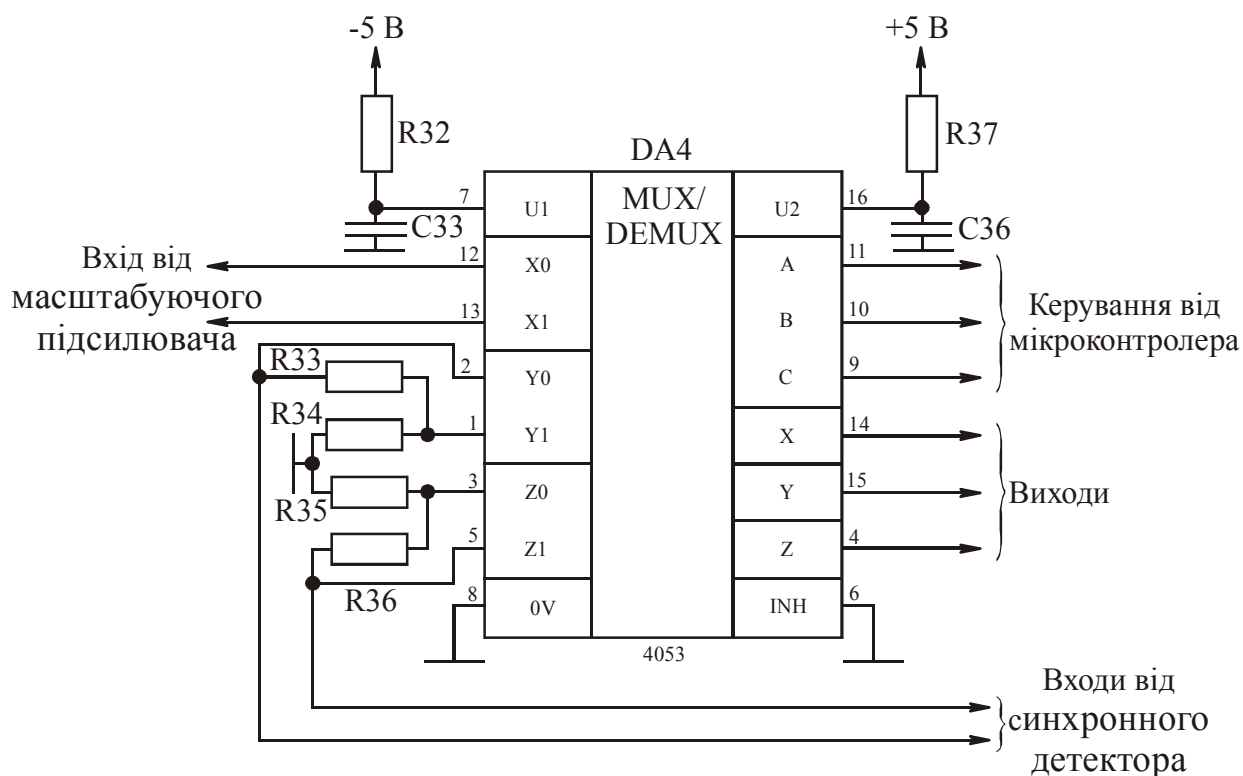
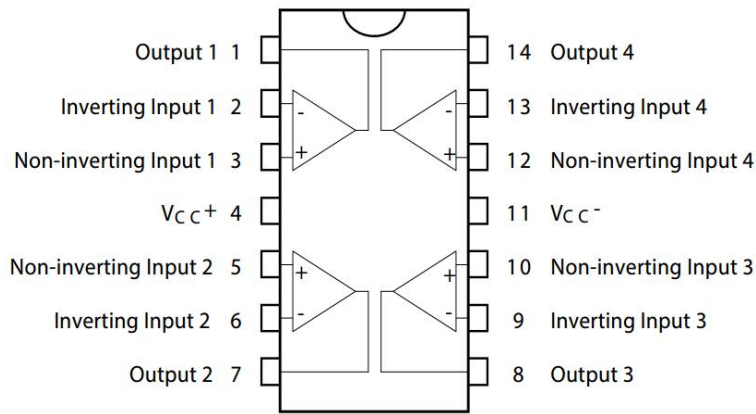


Рисунок 3.17 – Схема електрична принципова внутрішнього комутатора на основі потрійного 2-канального аналогового мультиплектора/демультиплектора 4053В

Мікросхема DA4, на відміну від DA1, DA2, має 3 входи керування – А, В, С. Мікроконтролер своїми сигналами управління, поданими на входи А, В, С здійснює відповідну комутацію двох вхідних сигналів на один вихід: X0, X1 на X, Y0, Y1 на Y і Z0, Z1 на Z. На входи X0, X1 надходять сигнали від масштабуючого підсилювача, входи Y0, Y1 та Y і Z0 забезпечують під’єднання одного із резисторів R33-R36 до відповідних власних входів Y і Z. Функціонально мікросхема здійснює також функцію перемикання напруга-струм, U-I.





  
**P**  
**TSSOP14**  
 (Thin shrink small outline package)

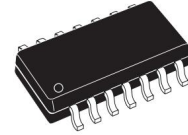


Рисунок 3.19 – Технологічні параметри TL084

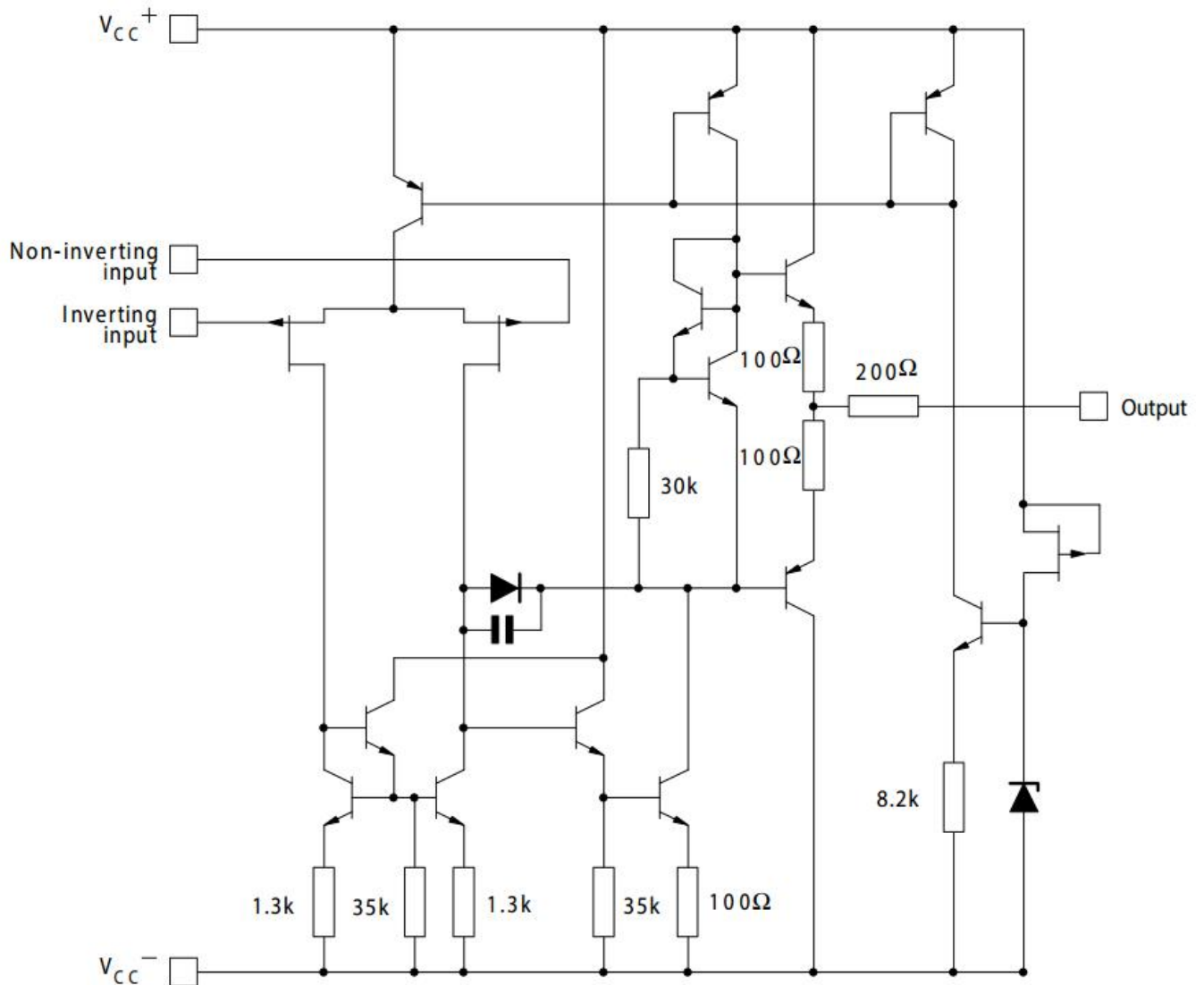


Рисунок 3.20 – Внутрішня топологія ІМС TL084

### 3.7. Синхронний детектор.

Далі сигнал після масштабного підсилювача подається на внутрішній комутатор, а з його виходу на синхронний детектор яки зібрано на подвійному операційному підсилювачі DA5 типу TL062C (рис. 3.21, 3.22).

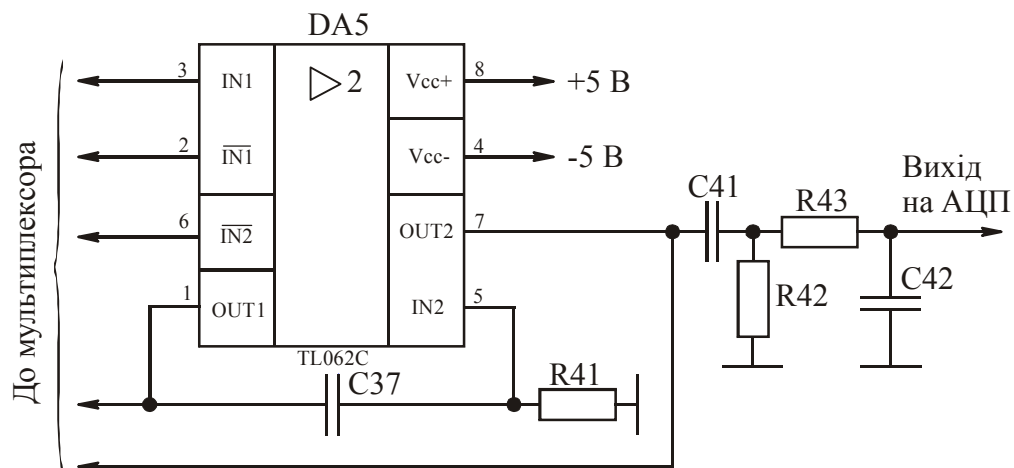


Рисунок 3.21 – Схема електрична принципова синхронного детектора на основі операційного підсилювача TL062C

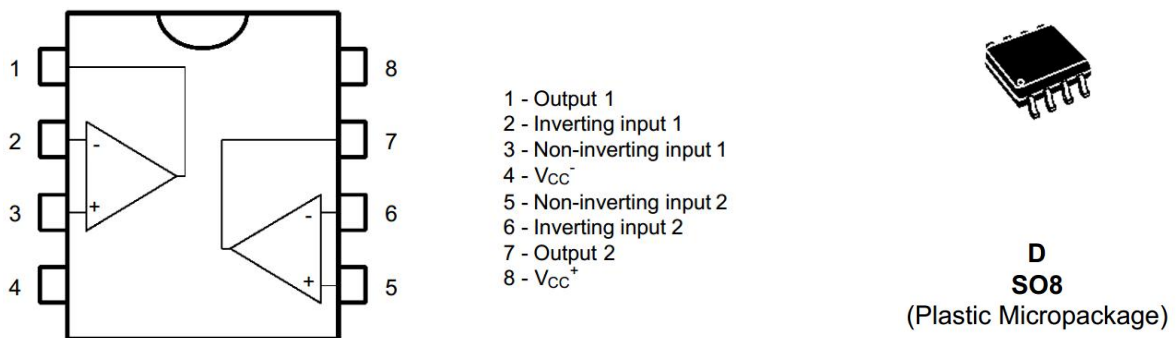


Рисунок 3.22 – Технологічні параметри TL062C

### 3.8. Аналого-цифровий перетворювач

Вихідний сигнал після синхронного детектора подається на АЦП подвійного інтегрування DD4 (рис. 3.23)

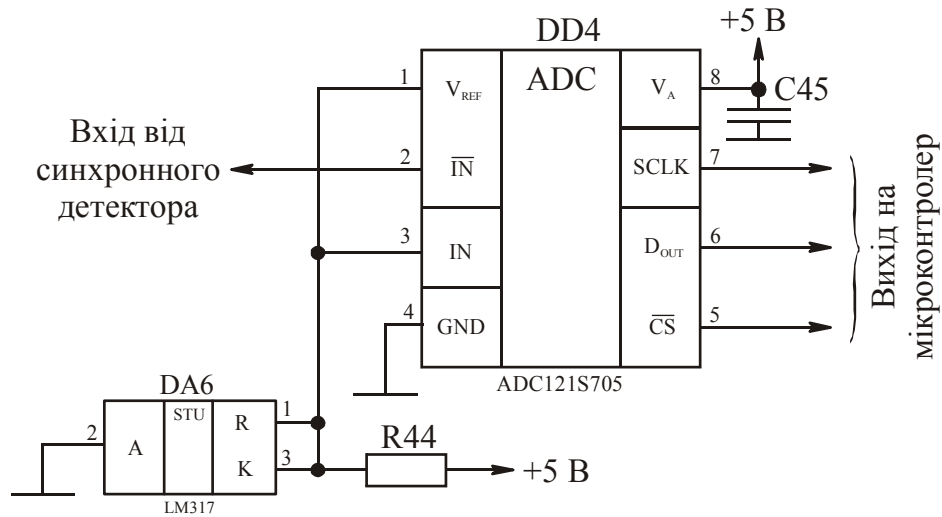


Рисунок 3.23 – Схема електрична принципова аналого-цифрового перетворювача

В якості АЦП візьмемо пристрій ADC121S705 (рис. 3.24). Вибір такого типу аналого-цифрового перетворювача зумовлений його низькою чутливістю до перешкод, і тим, що інтегратор АЦП відіграє роль додаткового фільтра сигналу після синхронного детектора.

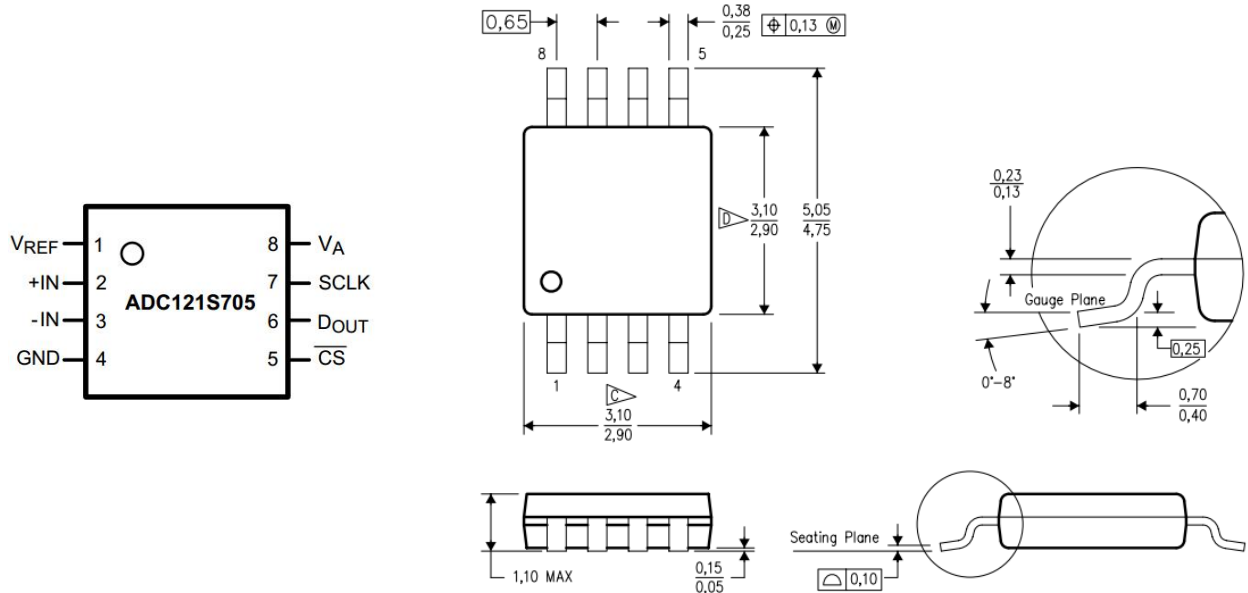


Рисунок 3.24 – Технологічні параметри аналого-цифрового перетворювача ADC121S705



Схема електрична принципова інтеграції модуля Bluetooth HC-05 в нашу схему представлена на рис. 3.27.

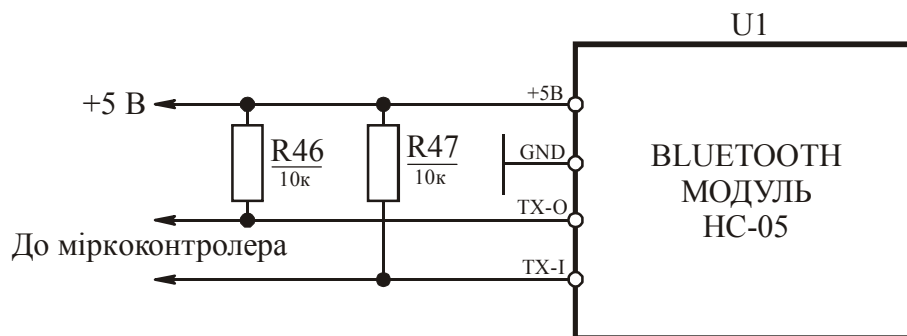


Рисунок 3.27 – Схема електрична принципова модуля Bluetooth HC-05

### 3.10. Схема живлення.

Особливістю нашого пристрою є робота від акумулятора, можливість роботи від USB порта і потреба у двополярній напрузі живлення  $\pm 5\text{В}$ .

Вхідна напруга  $+5\text{В}$  поступає або із внутрішніх акумуляторів або через USB порт. А ось напругу  $-5\text{В}$  необхідно сформувати. Для цього використаємо DC-DC перетворювач LM2776 ф. Texas Instruments (рис. 3.28). Це ємнісний DC-DC перетворювачем, в якому використовується всього три зовнішні недорогі конденсатори. Мікросхема LM2776 перетворює постійну вхідну напругу на від'ємну вихідну напругу.

Характеристики DC-DC перетворювача LM2776:

- тип перетворювача: Inverting SwCap;
- вхідна напруга:  $2,7\dots 5,5\text{В}$ ;
- вихідна напруга:  $-2,7\dots -5,5\text{В}$ ;
- максимальний вихідний струм:  $200\text{мА}$ .
- кількість виходів: 1;
- частота перетворення:  $1,8\dots 2,2\text{МГц}$ ;
- максимальна скважність перетворення:  $90\%$
- струм власного споживання:  $100\text{мкА}$ .

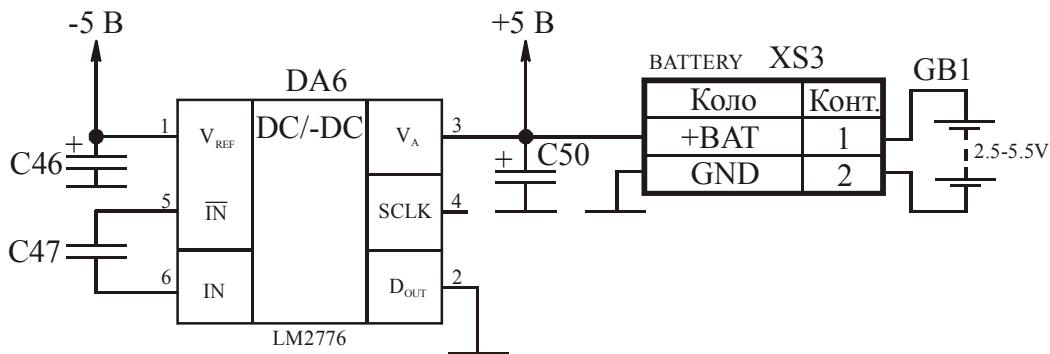


Рисунок 3.28 – Схема електрична принципова блоку живлення

### 3.11. Вхідні щупи приладу.

Для зменшення впливу з'єднувальних проводів у вимірювачах RLC використовується чотирьохклемна схема підключення дослідного елемента (рис. 3.29).

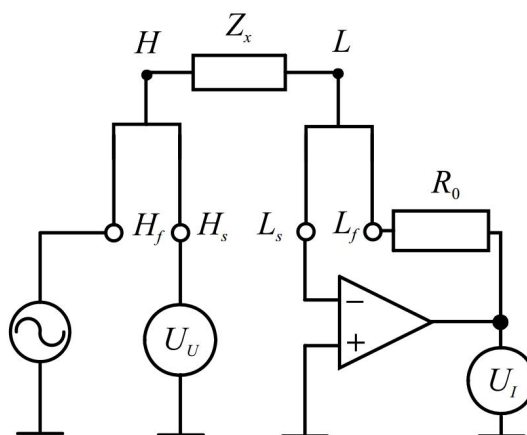


Рисунок 3.29 – Схема чотирьохклемного затискача RLC елемента

Вхідні клеми розділяються на дві пари – входи високого потенціалу (вони зазвичай позначаються  $H_f$  та  $H_s$  ("forse" – "підсилений" та "sense" – "чутливий") та входи низького потенціалу ( $L_f$  та  $L_s$ ), які з'єднуються окремими провідниками в одній точці з'єднувачами типу "крокодил". Досліджуваний елемент під'єднаний до цих роз'ємів так, що з'єднання клем  $H_f$ - $H_s$  і  $L_f$ - $L_s$  відбувається безпосередньо на

його виводах. Оскільки вхідний опір операційного підсилювача великий, струм в провіднику  $L-L_s$  малий і точка входу оперативного підсилювача, і точка з'єднання елемента  $L$  фактично екіпотенціальні. Аналогічно при такому з'єднанні мінімізується падіння напруги на провіднику  $H-H_s$ , що з'єднує високоомний вольтметр і точку під'єднання  $H$ . Таким чином, у чотирьохпровідному колі виключається вплив опору з'єднувальних провідників на результат вимірювання.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		73

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. У процесі проектування було створено портативний вимірювач RLC, принцип дії якого оснований на симбіозі двох методів – методу вольтметра-амперметра та методу перетворення опору в напругу. Вимірювач вийшов достатньо компактним, таким що може поміститися у вимірювальному пінцеті. Прилад має наступні параметри та дозволяє вимірювати:

- паралельну та послідовну індуктивність  $L_p, L_s$ ;
- паралельну та послідовну ємність  $C_p, C_s$ ;
- паралельний та послідовний опір  $R_p, R_s$ ;
- тангенс кута діелектричних втрат  $D(tg)$ ;
- добротність  $Q$ ;
- імпеданс  $Z$ .
- тип вимірювальних клем – затискач Кельвіна;
- робота з USB портами;
- підтримка протоколу Bluetooth;
- компактність, ергономічність та мінімальні масо-габаритні параметри;
- живлення: USB та власні акумулятори.

Таки чином, було розширено перелік функціональних можливостей, які передбачалися технічним завданням.

2. Особливістю пристрою є використання повноцінного швидкодіючого та високостабільного DDS генератора, на відміну від аналогічних пристроїв, що випускаються промисловістю. У всіх розглянутих аналогів внутрішній вимірювальний генератор сигналів реалізовувався на мікроконтролері і ЦАП. Використання окремого інтегрального DDS генератора піднімає даний пристрій на новий технічний щабель портативних приладів, адже із такими параметрами ми одержуємо надточний та прецизійний інструмент проведення радіотехнічних вимірювань і досліджень.

3. В проекті здійснено розробку схеми електричної принципової. Проведено глибокий аналіз, розрахунок і вибір елементної бази. Всі складові мають SMD

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		74

форм-фактор. Складений перелік елементів. Одержані складові конструкторської документації можуть бути передані заводу-виробнику для випуску пробної або дрібносерійної партії виробів.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		75

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуті теоретичні положення та методи, закладені в побудову метрологічного обладнання. Наведено приклади аналогових та цифрових структурних схем загального призначення. Вказується на актуальність розробки портативного метрологічного обладнання, наділеного сучасними телекомунікаційними характеристиками.

2. Створена структурна схема портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом. Детально розглянуті та проаналізовані всі структурні та функціональні складові. Обґрунтовано саме такий їх вибір та поєднання.

3. Особливістю спроектованого приладу є відсутність пристрою індикації, функції якого виконує дисплей ноутбука або смартфона. Це дозволяє суттєво зменшити масо-габаритні показники та собівартість приладу.

4. У процесі проектування було створено портативний вимірювач RLC, принцип дії якого оснований на симбіозі двох методів – методу вольтметра-амперметра та методу перетворення опору в напругу. Вимірювач вийшов достатньо компактним, таким що може поміститися у вимірювальному пінцеті. Прилад має наступні параметри та дозволяє вимірювати:

- паралельну та послідовну індуктивність  $L_p, L_s$ ;
- паралельну та послідовну ємність  $C_p, C_s$ ;
- паралельний та послідовний опір  $R_p, R_s$ ;
- тангенс кута діелектричних втрат  $D(tg)$ ;
- добротність  $Q$ ;
- імпеданс  $Z$ .
- тип вимірювальних клем – затискач Кельвіна;
- робота з USB портами;
- підтримка протоколу Bluetooth;
- компактність, ергономічність та мінімальні масо-габаритні параметри;
- живлення: USB та власні акумулятори.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		76

Таки чином, було розширено перелік функціональних можливостей, які передбачалися технічним завданням.

5. Особливістю пристрою є використання повноцінного швидкодіючого та високостабільного DDS генератора, на відміну від аналогічних пристроїв, що випускаються промисловістю. У всіх розглянутих аналогів внутрішній вимірювальний генератор сигналів реалізовувався на мікроконтролері і ЦАП. Використання окремого інтегрального DDS генератора піднімає даний пристрій на новий технічний щабель портативних приладів, адже із такими параметрами ми одержуємо надточний та прецизійний інструмент проведення радіотехнічних вимірювань і досліджень.

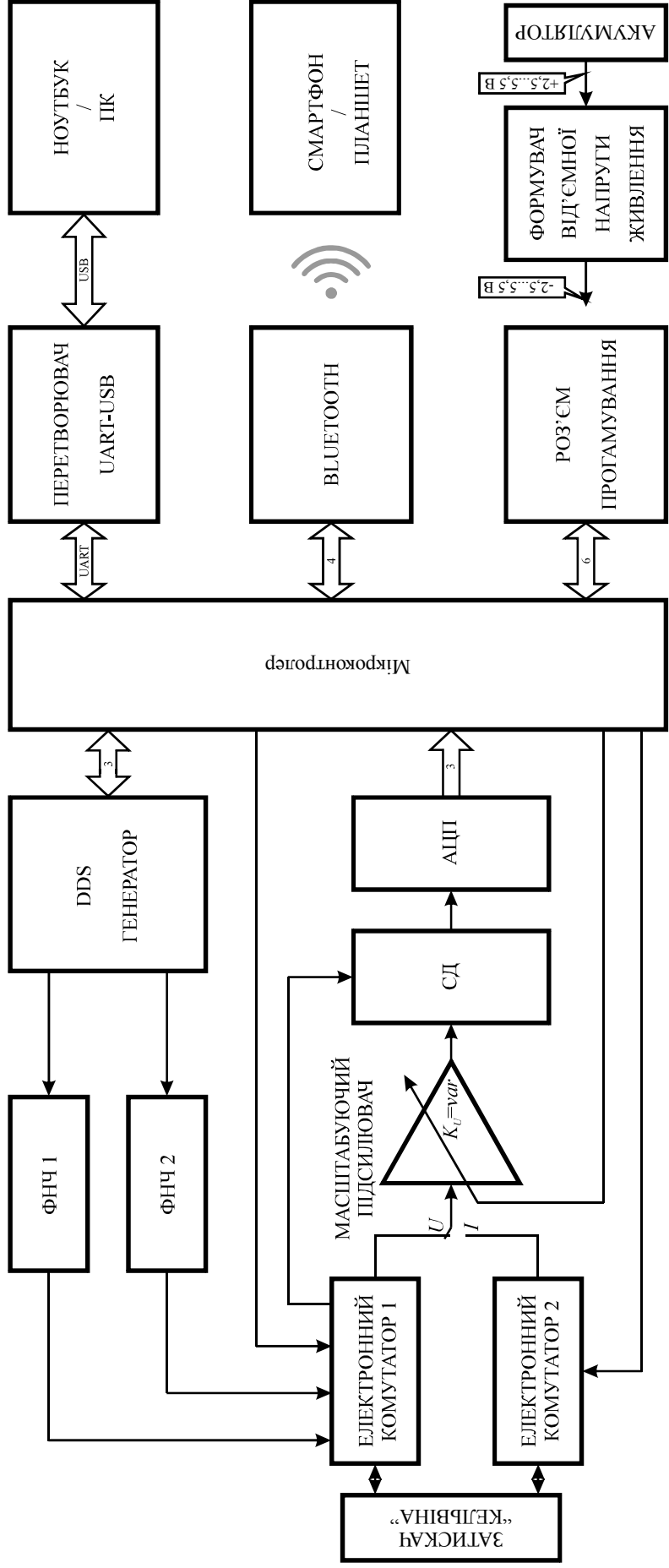
6. В проекті здійснено розробку схеми електричної принципової. Проведено глибокий аналіз, розрахунок і вибір елементної бази. Всі складові мають SMD форм-фактор. Складений перелік елементів. Одержані складові конструкторської документації можуть бути передані заводу-виробнику для випуску пробної або дрібносерійної партії виробів.

					КІТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		77

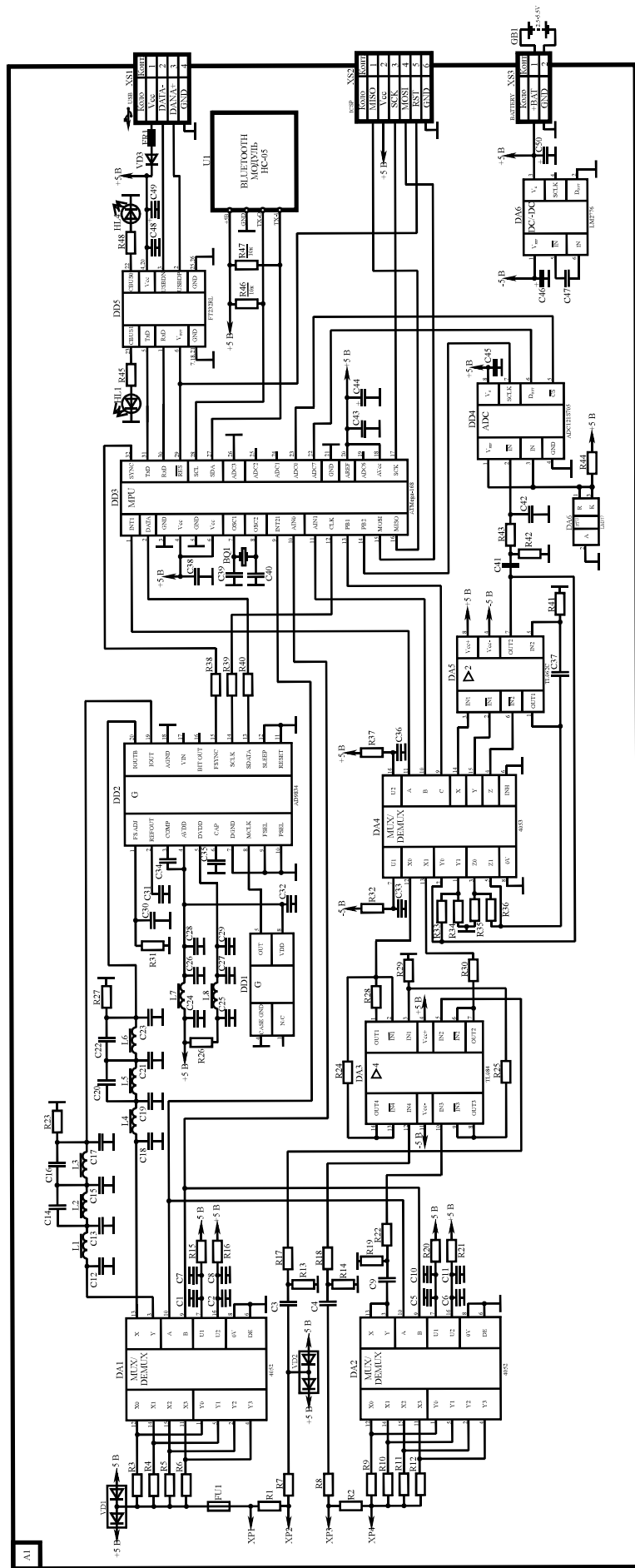
## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, П. Р. Гамула. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2004. – 560 с.
2. Величко О. Метрологічна діяльність в Україні: Інформ. бюлл.з міжнародної стандартизації №4/О. Величко. – К.: Держстандарт України, 1997. – 270 с.
3. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Є.Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
4. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт, 1994.
5. ДСТУ 2682-94. Метрологія. Метрологічне забезпечення. Основні положення. – К.: Держстандарт, 1994.
6. ДСТУ 2708-1999. Повірка засобів вимірювальної техніки, організація та порядок проведення. – К.: Держстандарт, 1999.
7. ДСТУ 3400-2000. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляду результатів. – К.: Держстандарт, 2000.
8. ДСТУ 2843-94 Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.
9. Володарський Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк // Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
10. IES 50 : 1983 Міжнародний електротехнічний словник. Глава 301. Загальні вимоги до електричних вимірювань. Глава 303. Електронні вимірювальні прилади.
11. Павленко Ю. Ф. Забезпечення єдності радіовимірювань / Ю. Ф. Павленко, І. П. Захаров, С. І. Кондратов, В. К. Гусельніков; за ред. Ю. Ф. Павленка. – Харків. – 232 с.

					КПТР.019037.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		78



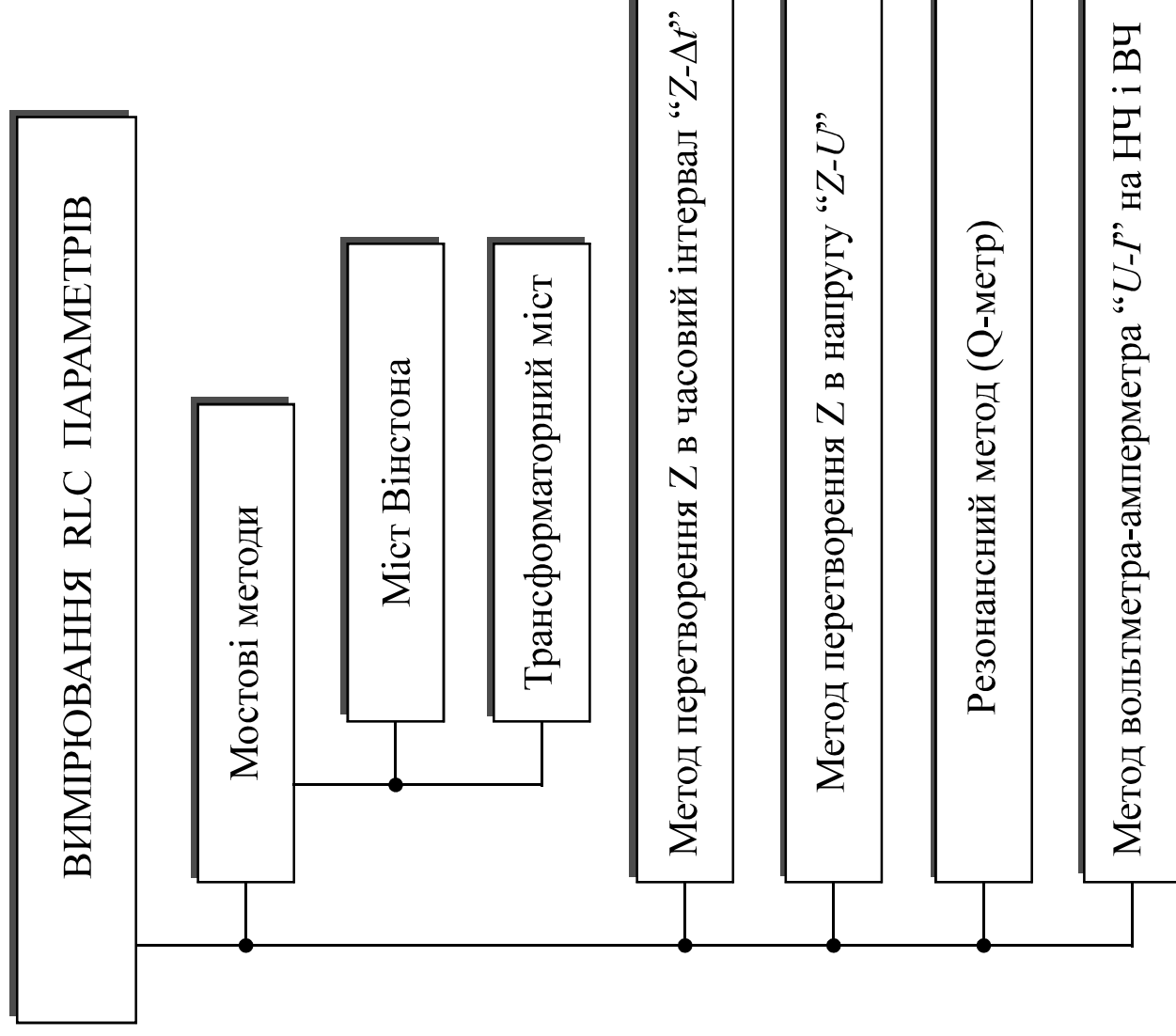
КІТТР019037.01.02.Е1		ХНУ, р. ГРЗ-19-1	
Програмний інструмент РІС з радіофронтон		Схема електрична функціональна	
№	Вид	Власник	Дата
1	Схематична	М.М.М.М.	2023.10.01
2	Технічна	М.М.М.М.	2023.10.01
3	Проєктна	М.М.М.М.	2023.10.01
4	Тестова	М.М.М.М.	2023.10.01
5	Відомості	М.М.М.М.	2023.10.01
6	Додаток	М.М.М.М.	2023.10.01
7	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
8	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
9	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
10	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
11	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
12	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
13	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
14	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
15	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
16	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
17	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
18	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
19	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
20	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
21	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
22	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
23	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
24	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
25	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
26	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
27	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
28	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
29	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01
30	Інше	М.М.М.М.	2023.10.01



KITP019037.01.02.E3	
Программный интерфейс РЛС с радиотехническим	Программный интерфейс РЛС с радиотехническим
Систем энергетика автоматизации	Систем энергетика автоматизации
МДП, р. ТРЭС-19-1	МДП, р. ТРЭС-19-1

ПЛАКАТ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОПОЛЮСНИКІВ



## ПЛАКАТ 2

### СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

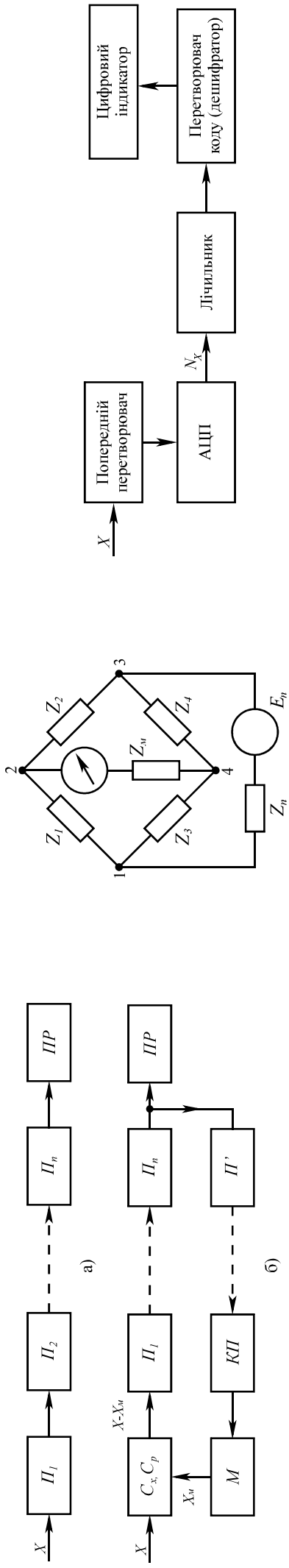


Рисунок 1.1 – Структурні схеми вимірювальних засобів.

Рисунок 1.2 – Схеми мостового вимірювального кола

Рисунок 1.3 – Узагальнена структурна схема цифрового

$\Pi$  – перетворювачі;  $\Pi\Pi$  – пристрій реєстрації;

$K\Pi$  – керуючий пристрій;  $M$  – міра

вимірювального пристрою

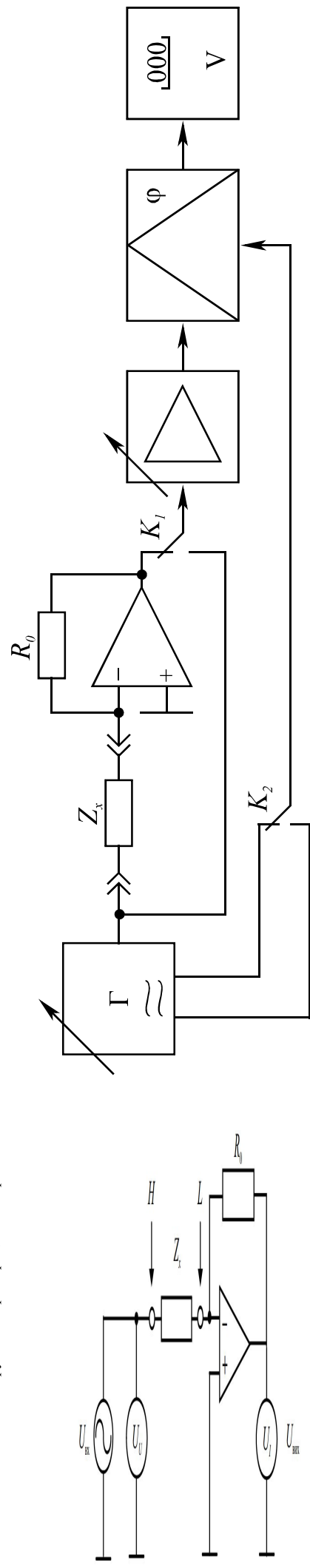


Рисунок 1.4 – Схеми перетворювача "Z-U"

Рисунок 1.5 – Мікропроцесорний вимірювач параметрів RLC компонентів

Ім'я користувача:  
Kafedra TMIT KhNU

ID перевірки:  
1011505578

Дата перевірки:  
08.06.2022 13:28:11 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet

Дата звіту:  
08.06.2022 13:31:33 EEST

ID користувача:  
100005657

Назва документа: Козловський\_ТРС19-1

Кількість сторінок: 78 Кількість слів: 12551 Кількість символів: 93685 Розмір файлу: 2.53 MB ID файлу: 1011380742

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 2.85% Схожість

Найбільша схожість: 0.28% з Інтернет-джерелом ([https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/51963/mod\\_resource/co](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/51963/mod_resource/co)).

2.85% Джерела з Інтернету

286

Сторінка 80

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

## 0.09% Цитат

Цитати

2

Сторінка 81

Посилання

1

Сторінка 81

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

36

Підозріле форматування

13  
сторінок

РІШЕННЯ КАФЕДРИ  
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом

Автор: **Козловський Роман Олександрович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **д.т.н., доц. Підченко Сергій Костянтинович**

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<b><u>Відповідає</u></b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 2,8 %, виявлені в роботі відповідають частині тексту стандартних бланків та стандартних назв, що використовується в кваліфікаційних проектах, решта запозичень є випадковими і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.

8.06.2022 р.

Науковий керівник роботи:



С. К. Підченко

Зав. каф. ТМІТ



С. К. Підченко

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента Козловський Роман Олександрович  
“ПОРТАТИВНИЙ ВИМІРЮВАЧ RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ”

Пояснювальна записка складається з чотирьох основних розділів. В цілому проект містить 78 сторінок, 45 рисунків, 11 джерел посилань. Графічна частина складається із 2 плакатів, 2 креслень, 10 слайдів презентації.

В проекті розроблено схему електричну структурну пристрою та схему електричну принципову. Оформлення пояснювальної записки та графічних документів здійснено згідно правил оформлення конструкторської документації.

Перевагами даного кваліфікаційного проекту є використання повноцінного швидкодіючого та високостабільного DDS генератора, на відміну від аналогічних пристроїв, що випускаються промисловістю, наявність USB порту та радіоканалу Bluetooth.

Однак в кваліфікаційному проекті міститься ряд незначних неточностей, деякі орфографічні помилки присутня англійська термінологія.

Загалом кваліфікаційний проект повністю відповідає вимогам до дипломних робіт бакалаврів та заслуговує на оцінку "ВІДМІННО".

Рецензент: завідувач каф. АКІТ,

д.т.н., проф.



Валерій Мартинюк

## ВІДГУК

на кваліфікаційний проект

“ПОРТАТИВНИЙ ВИМІРЮВАЧ RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ”

студента Козловського Романа Олександровича

Кваліфікаційний проект “Портативний вимірювач RLC з радіоінтерфейсом” присвячений розробці метрологічного обладнання.

Проект складається з трьох основних розділів.

В проєкті проведено аналітичний огляд існуючих джерел наукових і технічних публікацій. Розроблено структурну схему пристрою та здійснено його техніко-економічне обґрунтування. Розроблено принципову схему та складено перелік елементів.

У процесі проектування було створено портативний вимірювач RLC, принцип дії якого оснований на симбіозі двох методів – методу вольтметра-амперметра та методу перетворення опору в напругу. Особливістю пристрою є використання повноцінного швидкодіючого та високостабільного DDS генератора, на відміну від аналогічних пристроїв, що випускаються промисловістю. Також до особливостей слід віднести наявність USB порту та радіоканалу Bluetooth.

Результати дозволяють зробити висновок, що студент Козловський Р. О. має відмінні знання по загальнотехнічним та спеціальним дисциплінам, вміє використовувати ці знання для рішення конкретних інженерних задач.

В цілому дипломний проект заслуговує оцінки “відмінно“, а студент Козловський Р. О. присвоєння кваліфікації професіонала в галузі електроніки та телекомунікацій за спеціальністю 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”.

Керівник кваліфікаційного проекту



С. К. Підченко

Завідувачу кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій (ТМІТ) Підченко С.К.  
здобувача вищої освіти студента  
4 курсу, гр. ТР2с-19-1  
Козловського Романа Олександровича

## ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіантах. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20.05.2022 р.



Козловський Р. О.

*Хмельницький національний університет*  
*Факультет інформаційних технологій*  
*Кафедра телекомунікацій, недійних та інтелектуальних технологій*

КОЗЛОВСЬКИЙ РОМАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

## **ПОРТАТИВНИЙ ВИМІРЮВАЧ RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ**

Спеціальність: 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітня програма: «Телекомунікації, медійні технології  
та інтелектуальні мережі»

*Науковий керівник – д.т.н., доцент, Підченко С. К.*

*Хмельницький, 2022 р.*

**МЕТА ПРОЕКТУ:** розробка метрологічного пристрою для вимірювання імітансу.

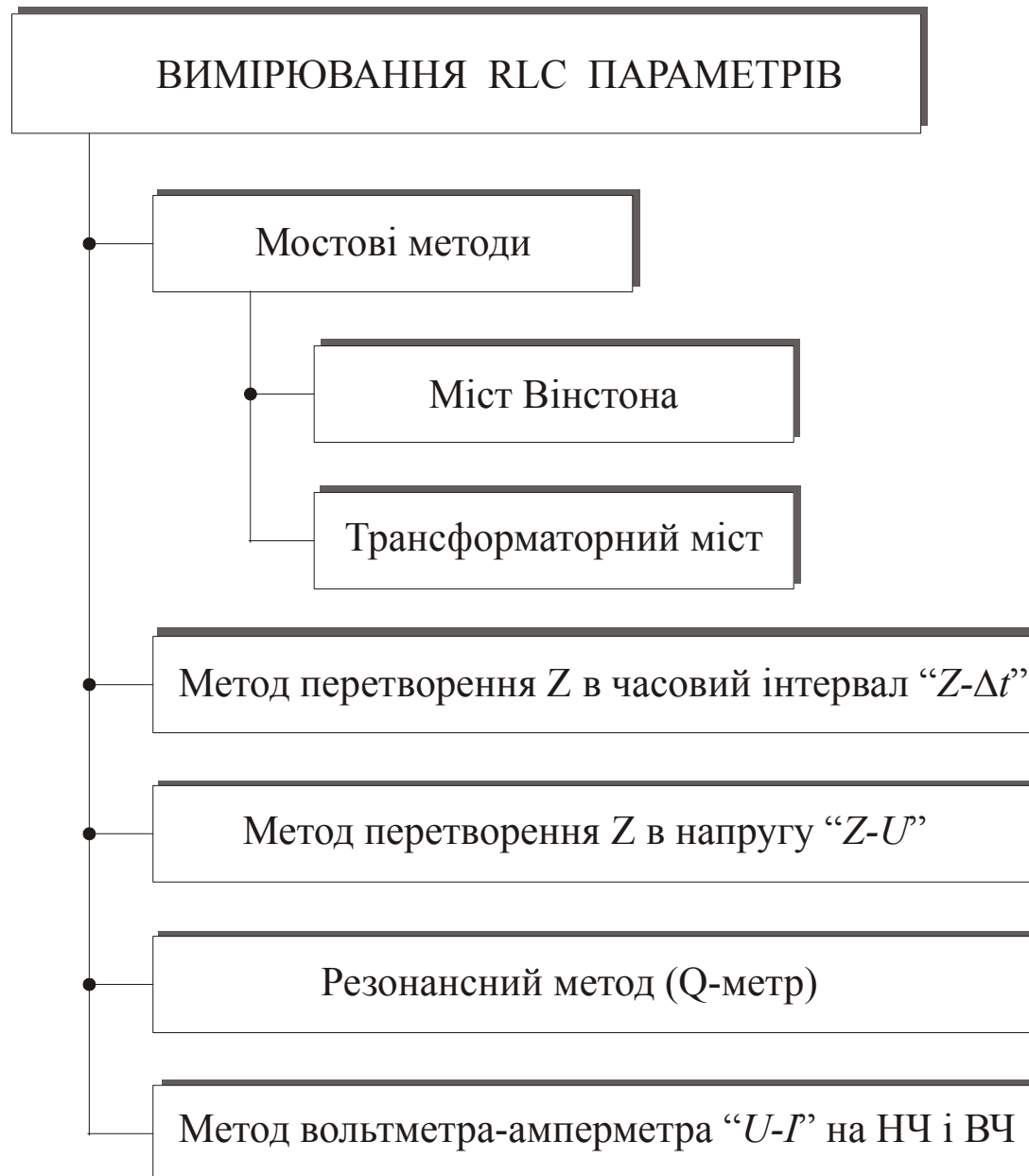
**ОСНОВНІ ЗАВДАННЯМ КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ:**

1. Здійснити детальний огляд і аналіз метрологічного обладнання.
2. Розробити структурну схему портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом.
3. Розробити принципову схему портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом.
4. Зробити детальний аналіз отриманих результатів та привести висновки.

**КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ МІСТИТЬ:**

1. Текстову документацію:
  - пояснювальна записка (3 розділи) - 78 арк.;
  - перелік елементів - 2 арк.;
2. Графічну документацію (креслення, плакати) - 4 арк.

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОПОЛЮСНИКІВ



СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

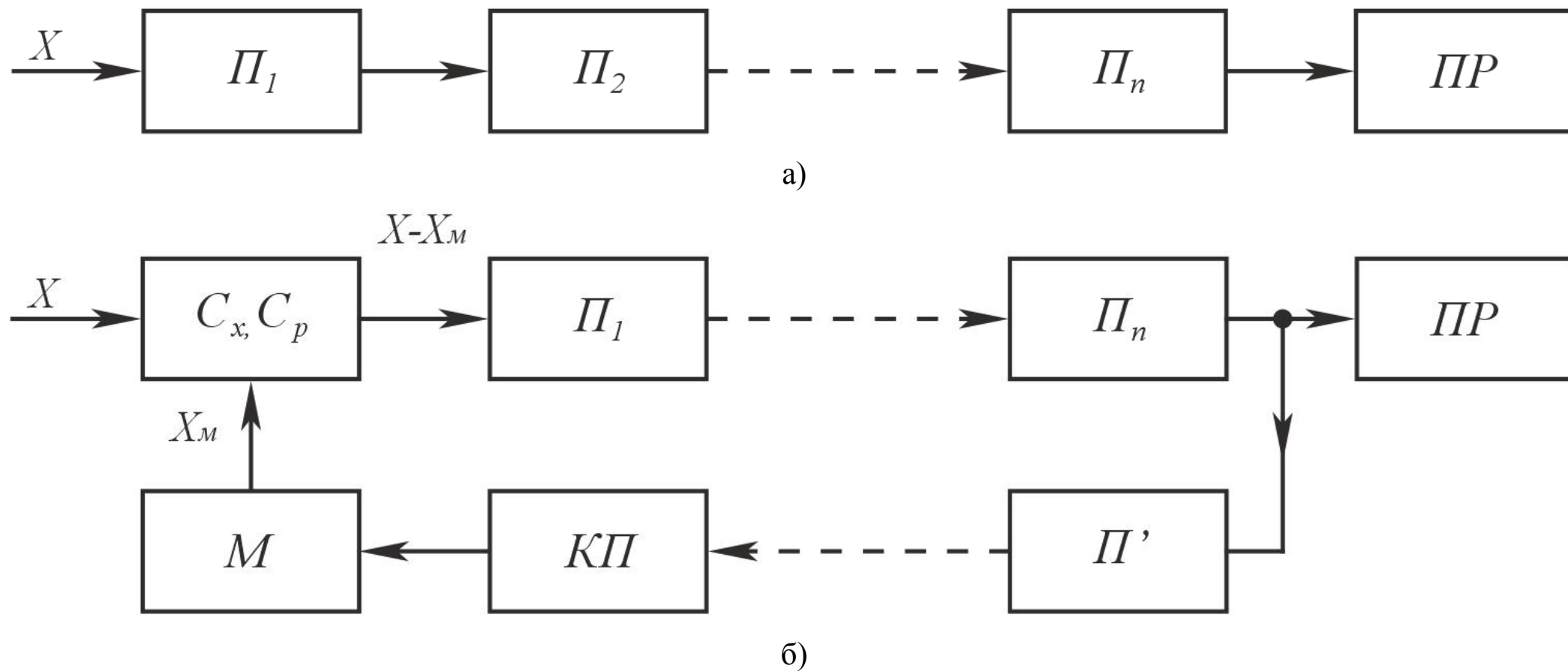


Рисунок 3.1 – Структурні схеми вимірювальних засобів:

а) метод безпосередньої оцінки; б) метод порівняння з мірою

П – перетворювачі; ПР – пристрій реєстрації; КП – керуючий пристрій; М – міра

## СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

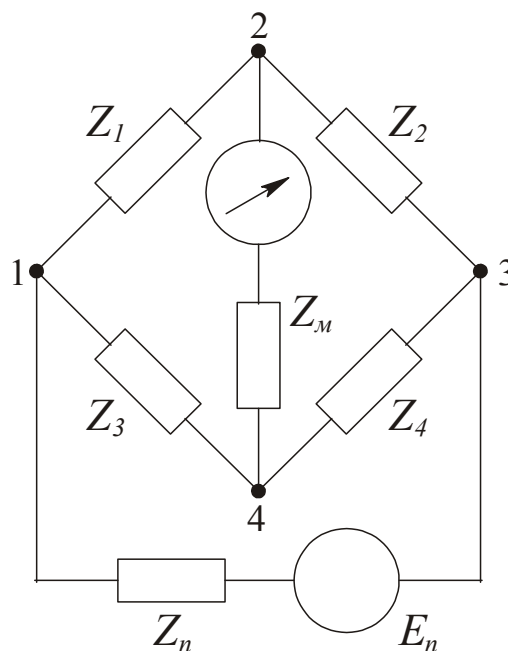


Рисунок 3.2 – Схеми мостового вимірювального кола

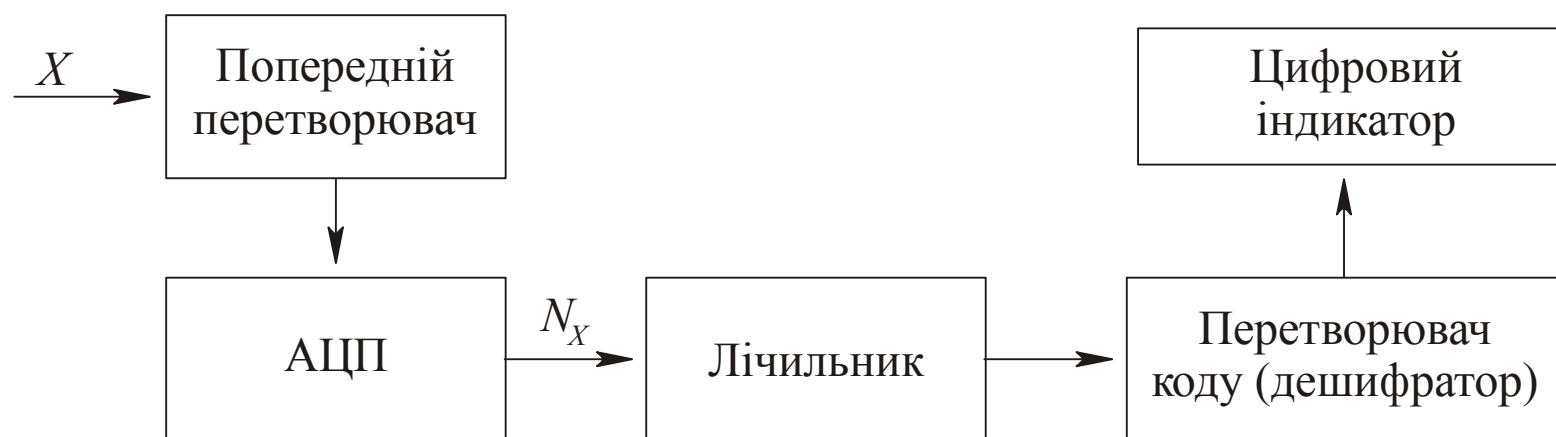


Рисунок 3.3 – Узагальнена структурна схема цифрового вимірювального пристрою

СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

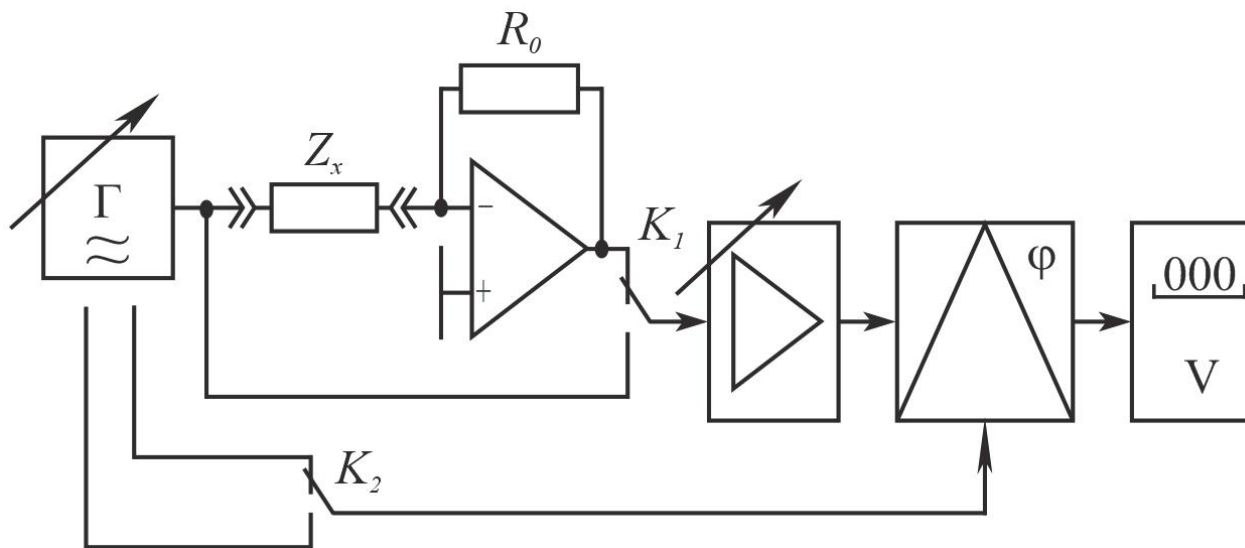


Рисунок 3.4 – Мікропроцесорний вимірювач параметрів RLC компонентів

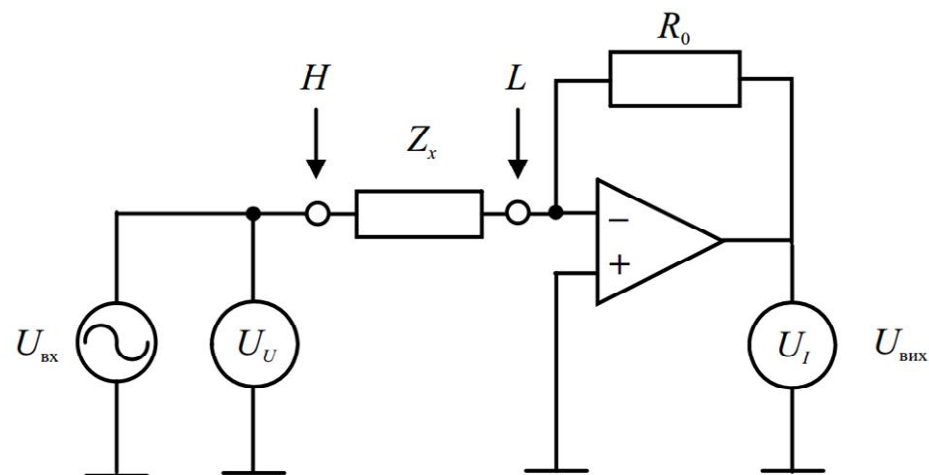
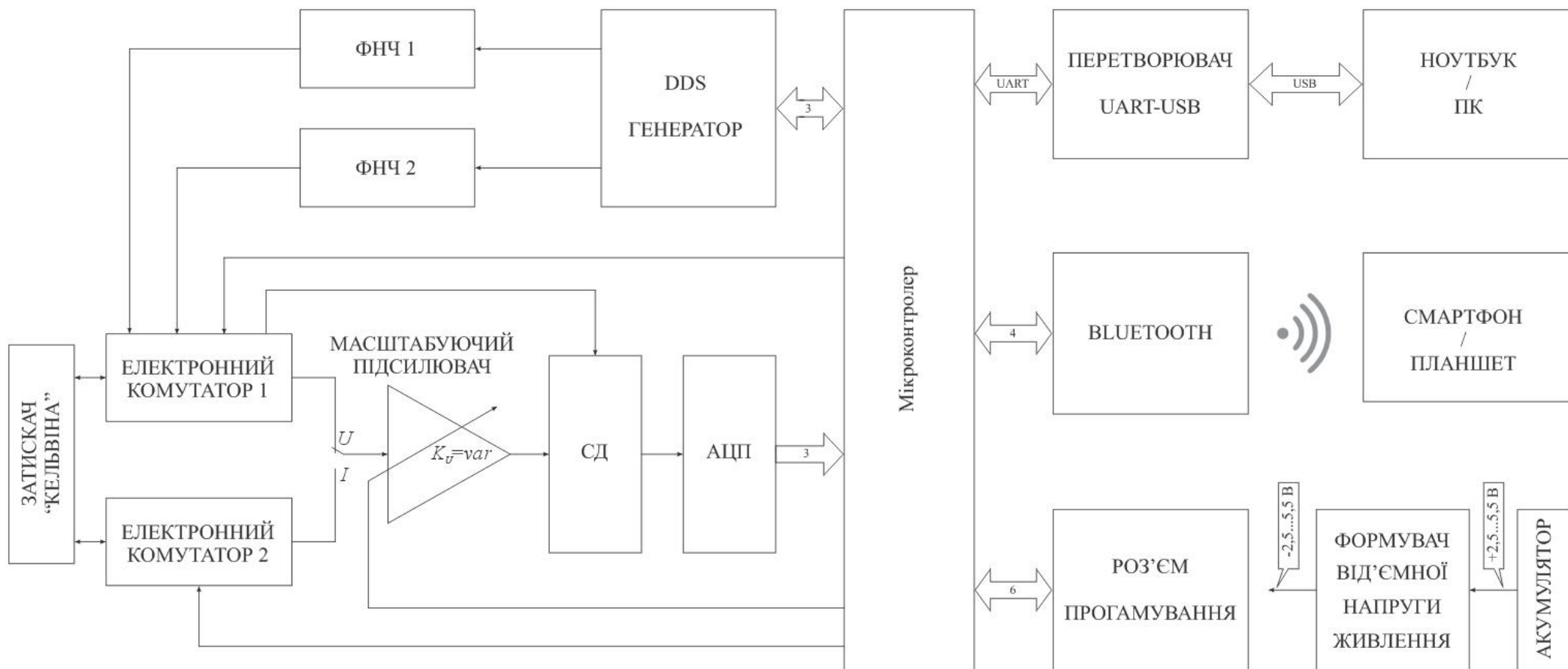
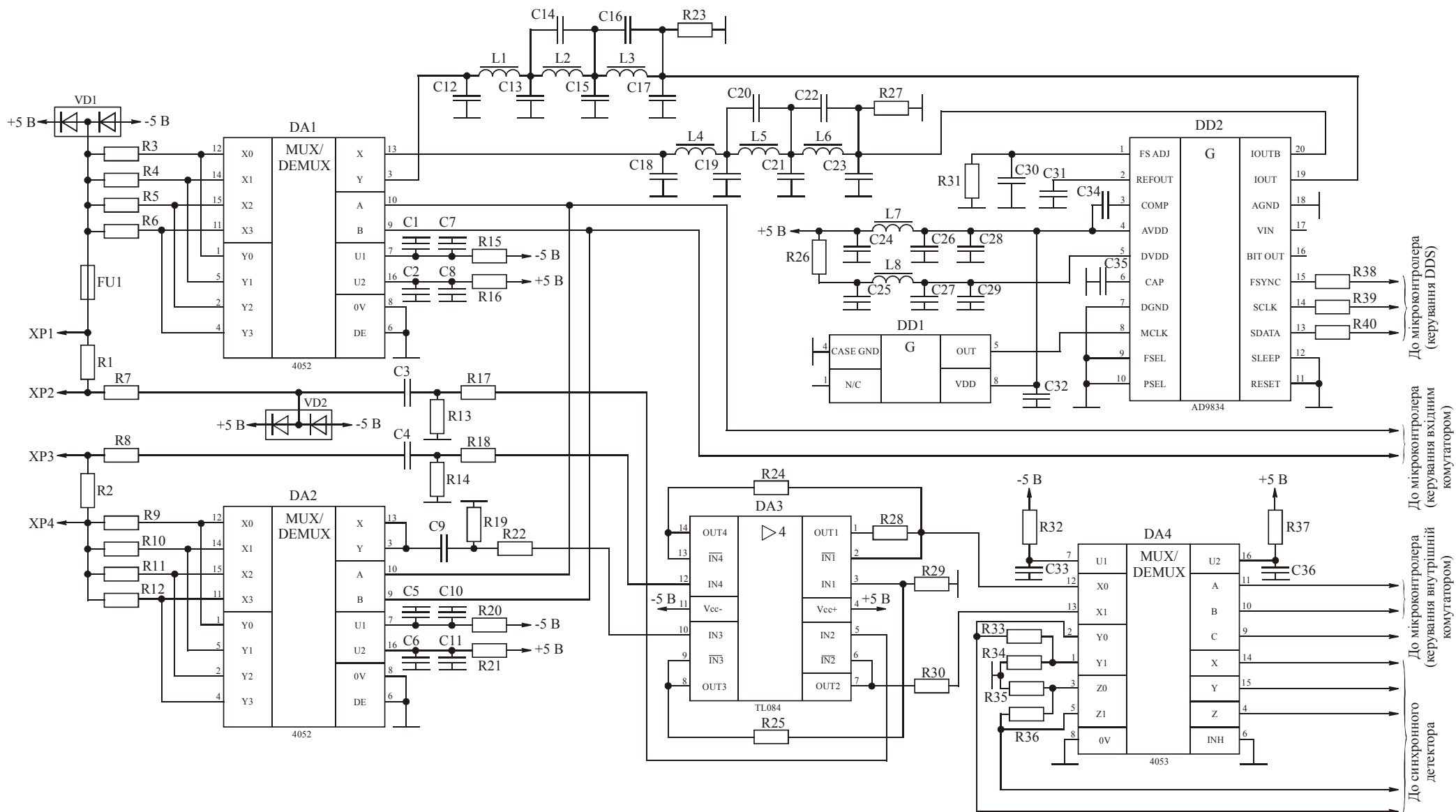


Рисунок 3.5 – Схема перетворювача "Z-U"

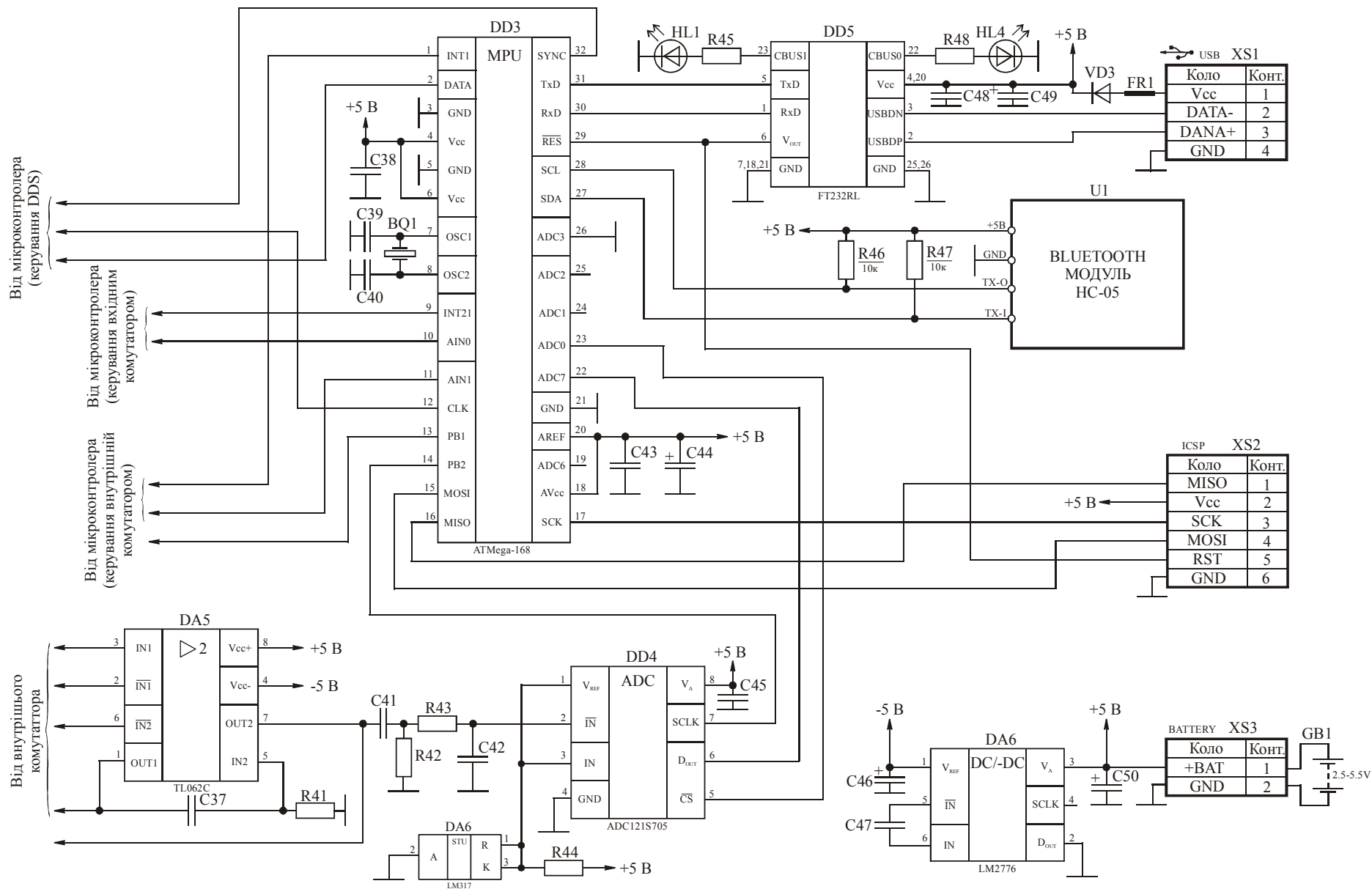
## СТРУКТУРНА СХЕМА ПОРТАТИВНОГО ВИМІРЮВАЧА RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ



## ПРИНЦИПОВА СХЕМА ПОРТАТИВНОГО ВИМІРЮВАЧА RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ



# ПРИНЦИПОВА СХЕМА ПОРТАТИВНОГО ВИМІРЮВАЧА RLC З РАДІОІНТЕРФЕЙСОМ



## ВИСНОВКИ

1. Розглянуті теоретичні положення та методи, закладені в побудову метрологічного обладнання. Наведено приклади аналогових та цифрових структурних схем загального призначення. Вказується на актуальність розробки портативного метрологічного обладнання, наділеного сучасними телекомунікаційними характеристиками.

2. Створена структурна схема портативного вимірювача RLC з радіоінтерфейсом. Детально розглянуті та проаналізовані всі структурні та функціональні складові. Обґрунтовано саме такий їх вибір та поєднання.

3. Особливістю спроектованого приладу є відсутність пристрою індикації, функції якого виконує дисплей ноутбука або смартфона. Це дозволяє суттєво зменшити масо-габаритні показники та собівартість приладу.

4. У процесі проектування було створено портативний вимірювач RLC, принцип дії якого оснований на симбіозі двох методів – методу вольтметра-амперметра та методу перетворення опору в напругу. Вимірювач вийшов достатньо компактним, таким що може поміститися у вимірювальному пінцеті. Прилад має наступні параметри та дозволяє вимірювати:

- паралельну та послідовну індуктивність  $L_p, L_s$ ;
- паралельну та послідовну ємність  $C_p, C_s$ ;
- паралельний та послідовний опір  $R_p, R_s$ ;
- тангенс кута діелектричних втрат  $D(tg)$ ;
- добротність  $Q$ ;
- імпеданс  $Z$ .
- тип вимірювальних клем – затискач Кельвіна;
- робота з USB портами;
- підтримка протоколу Bluetooth;
- компактність, ергономічність та мінімальні масо-габаритні параметри;
- живлення: USB та власні акумулятори.

Таки чином, було розширено перелік функціональних можливостей, які передбачалися технічним завданням.

5. Особливістю пристрою є використання повноцінного швидкодіючого та високостабільного DDS генератора, на відміну від аналогічних пристроїв, що випускаються промисловістю. У всіх розглянутих аналогів внутрішній вимірювальний генератор сигналів реалізовувався на мікроконтролері і ЦАП. Використання окремого інтегрального DDS генератора піднімає даний пристрій на новий технічний щабель портативних приладів, адже із такими параметрами ми одержуємо надточний та прецизійний інструмент проведення радіотехнічних вимірювань і досліджень.

6. В проекті здійснено розробку схеми електричної принципової. Проведено глибокий аналіз, розрахунок і вибір елементної бази. Всі складові мають SMD форм-фактор. Складений перелік елементів. Одержані складові конструкторської документації можуть бути передані заводу-виробнику для випуску пробної або дрібносерійної партії виробів.