

Міністерство освіти України
Вінницький державний технічний університет

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА**

**Для самостійної та курсової
роботи студентів**

Вінниця - 1999

Навчальний посібник для самостійної та курсової роботи студентів з дисципліни «Метрологія та вимірювальна техніка» / Уклад. О.Г.Ігнатенко, П.І. Кулаков, В.В.Кухарчук, В.О.Поджаренко, - Вінниця, 1998. - 68 с. Укр. мовою /

У навчальному посібнику подається методологія самостійного вивчення теоретичного матеріалу, розв'язку практичних завдань, виконання курсової роботи. Наведено приклади розв'язку типових задач. Розглянуто методику проектування засобу вимірювання, що складається з огляду первинних вимірювальних перетворювачів, вибору структурної схеми аналого-цифрового перетворювача і розробки функціональної схеми. Наведено варіанти завдань на самостійне опрацювання та перелік необхідної літератури.

Призначені для студентів напрямку підготовки спеціалістів 7.0910, 7.0914, 7.0915 під час самостійного опрацювання дисциплін з метрології, стандартизації та вимірювальної техніки.

Укладачі:	Олександр Григорович	Ігнатенко
	Павло Ігорович	Кулаков
	Василь Васильович	Кухарчук
	Володимир Олександрович	Поджаренко

Редактор	Т.А.Ягельська
Коректор	З.В.Поліщук

Відповідальний за випуск В.О.Поджаренко

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	5
1 МЕТОДИКА САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ.....	6
1.1 Класифікація вимірювань.....	7
1.2 Умови вимірювання.....	7
1.3 Систематичні похибки та методи їх вилучення.....	7
1.4 Вимірювання струму і напруги електромеханічними вимірювальними перетворювачами (ВП).....	8
1.5 Вимірювання частоти та різниці фаз електромеханічнимиВП.....	8
1.6 Вимірювання потужності в трифазному колі змінної напруги.....	8
1.7 Вимірювальні мости постійного струму (одинарний та подвійний міст).....	9
1.8 Компенсатор змінного струму в прямокутній системі координат....	10
1.9 Узагальнена структурна схема та класифікація цифрових вимірювальних приладів.....	10
1.10 Загальна характеристика паралельного інтерфейса і програмованого таймера.....	11
1.11 Генераторні вимірювальні перетворювачі.....	12
2 МЕТОДИКА САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ.....	13
2.1 Похибки вимірювання та обробка результатів прямих і опосередкованих вимірювань.....	13
2.2 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі.....	18
2.3 Мостові методи вимірювання.....	19
2.4 Цифрові вимірювальні прилади.....	20
2.5 Аналогові та цифрові засоби вимірювання.....	21

3 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	23
3.1 Загальні методичні рекомендації.....	23
3.2 Вступ.....	25
3.3 Огляд перетворювачів температури.....	27
3.3.1 Термометри опору.....	27
3.3.2 Термоелектричні перетворювачі.....	28
3.3.3 Кварцеві термоперетворювачі.....	30
3.4 Структурна схема цифрового частотоміра миттєвих значень.....	33
3.5 Розробка функціональної схеми цифрового термометра.....	36
3.6 Висновки.....	40
4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....	42
4.1 Похибки вимірювання та обробка результатів прямих і опосередкованих вимірювань. Практичні завдання.....	42
4.1.1 Обробка результатів опосередкованих вимірювань.....	42
4.1.2 Повірка електромеханічних ВП.....	44
4.1.3 Абсолютна та відносна похибки ЦВП.....	47
4.2 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі. Практичні завдання.....	48
4.2.1 Шунти.....	48
4.2.2 Додаткові резистори.....	49
4.2.3 Магнітоелектричний ВП.....	50
4.3 Мостові схеми вимірювання. Практичні завдання.....	51
4.4 Цифрові вимірювальні прилади. Практичні завдання.....	53
4.5 Аналогові та цифрові засоби вимірювання. Практичні завдання.....	57
5 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.....	61
ЛІТЕРАТУРА.....	62
Додаток А Титульний лист курсової роботи.....	63
Додаток Б Завдання на курсову роботу.....	64
Додаток В Варіанти завдань до курсової роботи.....	65

ВСТУП

Навчальний посібник розроблено відповідно до програми дисципліни, що затверджена Ученою радою університету.

Мета навчального посібника – надати можливість студентам самостійно опрацювати теоретичний та практичний матеріал з дисципліни “Метрологія та вимірювальна техніка”.

Він містить чотири основних розділи: методику самостійного опанування теоретичного матеріалу, підходи до розв’язку практичних завдань, методику виконання курсової роботи та завдання для самостійного опрацювання.

В першому розділі наводиться перелік теоретичних питань, що виносяться на самостійне опрацювання. Виділено найбільш суттєві поняття, які необхідно знати студенту.

В другому розділі викладено методику розв’язку типових практичних завдань, направлених на закріплення та систематизацію теоретичного матеріалу.

В третьому розділі наведено загальні методичні вказівки щодо виконання курсової роботи та на прикладі конкретного засобу вимірювання розглянуто методику його проектування. В додатку наведено варіанти завдань.

В четвертому розділі наводяться завдання, які необхідно розв’язати кожному студенту на протязі триместру і захистити їх.

1 МЕТОДИКА САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Перелік теоретичних питань, що виносяться на самостійне опрацювання студентами, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Перелік питань, що виносяться на самостійне
опрацювання лекційного матеріалу

№ п/п	Найменування розділу	Обсяг (год.)
1	Класифікація вимірювань	1
2	Умови вимірювання	1
3	Систематичні похибки та методи їх вилучення	1
4	Вимірювання струму і напруги електромеханічними вимірювальними перетворювачами (ВП)	1
5	Вимірювання частоти та різниці фаз електромеханічними ВП	1
6	Вимірювання потужності в трифазному колі змінної напруги	1
7	Вимірювальні мости постійного струму (одинарний та подвійний міст)	1
8	Компенсатор змінного струму в прямокутній системі координат	1
9	Узагальнена структурна схема та класифікація цифрових вимірювальних приладів	2
10	Загальна характеристика паралельного інтерфейса і програмованого таймера	1
11	Генераторні вимірювальні перетворювачі	3

1.1 Класифікація вимірювань

Під час самостійного вивчення даного розділу необхідно знати класифікацію вимірювань за такими найбільш характерними ознаками: за розмірністю фізичної величини (абсолютні та відносні); за наявністю попереднього вимірювального перетворення (безпосередні і з попереднім вимірювальним перетворенням); за характером рівняння перетворення (прямі, опосередковані, сукупні, сумісні); за зміною фізичної величини в часі (статичні і динамічні).

Необхідно розуміти суть виділених раніше вимірювань та наводити приклади їх реалізації.

1.2 Умови вимірювання

Умови вимірювання можуть суттєво вплинути на результати під час виконання вимірювального експерименту. Тому важливо знати, що таке умови вимірювання, які вони бувають та яким чином визначати функції впливу.

1.3 Систематичні похибки та методи їх вилучення

Систематичною називають складову похибки (Δ^o), що в процесі вимірювань є величиною постійною, або закон її зміни можливо встановити експериментально.

Із даного визначення можливо дійти такого висновку - систематичну похибку можливо усунути, якщо відоме місце її виникнення та методи усунення. Тому вивчення даного питання доцільно розділити на дві частини: класифікація систематичних похибок та методи їх усунення.

Систематичні похибки класифікують за двома найбільш характерними ознаками: за місцем виникнення (методичні, інструментальні,

суб'єктивні, встановлення); за характером зміни в часі (постійні, прогресивні, періодичні).

В практиці вимірювань найбільш поширеними є такі методи вилучення систематичних похибок: дворазових спостережень; поправок та рандомізації.

1.4 Вимірювання струму і напруги електромеханічними вимірювальними перетворювачами (ВП)

Для вимірювання струму і напруги використовують такі електромеханічні вимірювальні перетворювачі: магнітоелектричні; електродинамічні; електростатичні; феродинамічні; електромагнітні; індукційні.

З метою вибору необхідного засобу вимірювання необхідно знати їх порівняльну характеристику за такими властивостями: верхня межа вимірювання; нижня межа вимірювання; похибка вимірювання. Крім того, необхідно знати схеми включення амперметра і вольтметра у вимірювальне коло.

Для розширення верхньої межі вимірювання струму застосовують шунт, а для розширення верхньої межі вимірювання напруги - додатковий резистор. Тому досить важливими є знання схем включення шунта та додаткового резистора у вимірювальне коло і аналітичні формули для їх визначення.

1.5 Вимірювання частоти та різниці фаз електромеханічними ВП

Основним елементом електромеханічних частотомірів та фазометрів є електродинамічний логометр. Під час вивчення цього питання необхідно знати фізичний принцип, що покладено в основу роботи даних засобів вимірювання, його структурну схему і рівняння перетворення.

Суттєвим недоліком електромеханічних частотомірів є досить вузький діапазон вимірювання. Тому основна їх галузь застосування є вимірювання промислових частот 50 Гц, 400 Гц.

Суттєвим недоліком електромеханічних фазометрів є залежність показань від частоти. Оскільки частота в промисловій мережі суттєво не змінюється, то такі фазометри доцільно застосовувати під час вимірювання кута зсуву фаз φ між струмом та напругою в промисловій мережі та $\cos\varphi$.

1.6 Вимірювання потужності в трифазному колі змінної напруги

Основним елементом, що застосовується під час вимірювання потужності в трифазному колі змінної напруги є електродинамічний ватметр.

В залежності від провідності трифазної лінії та симетричності навантаження застосовують метод одного, двох і трьох ватметрів.

Метод одного ватметра застосовують у випадку коли лінія 4-х провідна, а навантаження симетричне. У випадку 3-х провідної лінії з несиметричним навантаженням в практиці вимірювань застосовують метод двох ватметрів. Коли лінія 4-х провідна, а навантаження несиметричне доцільним є використання метода трьох ватметрів.

Необхідно також знати схеми включення ватметрів для кожного з виділених методів та як визначати сумарну потужність у вимірювальному трифазному колі.

1.7 Вимірювальні мости постійного струму (одинарний та подвійний міст)

Мости постійного струму призначені для вимірювання активних опорів та неелектричних величин з необхідними первинними резистивними вимірювальними перетворювачами.

Одинарні мости застосовують для вимірювання великих опорів, тому що під час вимірювання малих опорів виникають похибки зумовлені впливом опорів під'єднувальних провідників та перехідних контактів. Даний недолік відсутній в подвійному мості.

Крім того, необхідно знати структурні схеми одинарного та подвійного мостів, вміти виводити їх рівняння рівноваги.

1.8 Компенсатор змінного струму в прямокутній системі координат

Для того, щоб компенсувати дві змінних напруги необхідно виконати такі чотири умови: рівність амплітуд; рівність частот; протилежність фаз; ідентичність форми.

Оскільки змінну напругу аналітично можливо представити, як в прямокутній так і в полярній системі координат, то мають місце і відповідні компенсатори змінної напруги. На практиці більш широке застосування знайшли компенсатори в прямокутній системі координат.

Під час вивчення даного засобу вимірювання необхідно перш за все засвоїти умови компенсації на змінному струмі, структурну схему компенсатора в прямокутній системі координат, принцип дії компенсатора під час вимірювання змінної напруги.

1.9 Узагальнена структурна схема та класифікація цифрових вимірювальних приладів

Основними елементами узагальненої структурної схеми цифрових вимірювальних приладів (ЦВП) є: передвключений вимірювальний перетворювач; аналого-цифровий перетворювач (АЦП); перетворювач двійкового кода в двійково-десятковий; перетворювач паралельного двійкового кода в послідовний; цифровий відліковий пристрій.

Найбільш важливим елементом структурної схеми ЦВП є аналого-цифровий перетворювач. За видом структурної схеми АЦП розподіляють на два типи: прямої дії та зрівноваження. Характерною особливістю структурної схеми АЦП прямої дії є відсутність зворотнього зв'язку з виходу на вхід. Тому ЦВП, реалізовані за такою схемою мають досить високу швидкодію і низьку точність.

Відмінною особливістю структурних схем АЦП зрівноваження є наявність зворотнього зв'язку з виходу на вхід і наявність в колі зворотнього зв'язку цифро-аналогового перетворювача. ЦВП, реалізовані за такою схемою характеризуються високою точністю і низькою швидкодією.

Алгоритм зрівноваження можливо реалізувати у вигляді розгортуючого або слідкуючого зрівноваження. В свою чергу розгортуюче зрівноваження може бути здійснено за алгоритмом послідовного наближення або порозрядного зваження.

За видом вхідної величини ЦВП розподіляють на чотири групи: частотоміри; фазометри; вольтметри; вимірювачі параметрів електричного кола.

1.10 Загальна характеристика паралельного інтерфейса і програмованого таймера

Паралельний інтерфейс і програмований таймер є досить важливими елементами вимірювальних каналів напруги і частоти з мікропроцесорним керуванням.

Самостійне вивчення архітектури побудови, режимів роботи та методики програмування доцільно вивчити на прикладі інтерфейса KP580BB55 і таймера KP580BI53. Характерною особливістю таких програмованих мікросхем є наявність чотирьох портів (реєстри або

лічильники). Один з таких портів виконує роль регістра керуючого слова (РКС). В залежності від двійкового коду, що записується в РКС, інтерфейс (таймер) програмують на необхідний режим роботи, тобто ініціалізують його.

1.11 Генераторні вимірювальні перетворювачі

Генераторними називають вимірювальні перетворювачі в яких вхідна величина перетворюється у вихідну, що має енергетичні властивості.

В даному підрозділі необхідно засвоїти фізичні основи побудови, структурні схеми, принцип дії, рівняння перетворення, галузі застосування широко вживаних в практиці вимірювань генераторних перетворювачів (індукційних, п'єзоелектричних, електретних, термоелектричних, фотоелектричних).

2. МЕТОДИКА САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

Теми практичних завдань, що виносяться на самостійне опрацювання, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Теми практичних завдань, що виносяться на самостійне опрацювання

Найменування завдання	Обсяг (год.)
1. Похибки вимірювання та обробка результатів прямих і опосередкованих вимірювань	4
2. Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі	3
3. Мостові методи вимірювання	3
4. Цифрові вимірювальні прилади	3
5. Аналогові та цифрові засоби вимірювання	5

2.1 Похибки вимірювання та обробка результатів прямих і опосередкованих вимірювань

Приклад 2.1.1 (Клас точності)

На відліковому пристрої цифрового амперметра з верхньою межею вимірювання 9.999 А наведено клас точності у вигляді дроби 0.02 / 0.01. Визначити абсолютну та відносну похибки вимірювання струму 1 А. Записати результат відповідно до стандарту ДСТУ 1317-86.

Клас точності приладу представлено у вигляді c/d . Тоді відносна похибка визначиться за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \pm \left[c + d \cdot \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right],$$

де x_k - верхня межа вимірювання.

Для даного завдання

$$\delta = \pm \left[0.02 + 0.01 \cdot \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right].$$

Користуючись даною формулою визначимо відносну похибку під час вимірювання струму 1А

$$\delta = \pm \left[0.02 + 0.01 \cdot \left(\left| \frac{9.999}{1} \right| - 1 \right) \right] = 0.1\%.$$

Тоді, абсолютна похибка вимірювання буде дорівнювати

$$\Delta = \frac{\delta \cdot I}{100} = \frac{0.1 \cdot 1}{100} = 0.001[\text{A}].$$

Результат вимірювання згідно ДСТУ 1317-86 наводимо у вигляді

$$I = (1.000 \pm 0.001)[\text{A}].$$

Приклад 2.1.2. (Обробка результатів прямих вимірювань)

Проведено вимірювання напруги вольтметром магнітоелектричної системи і отримано такі результати: 122; 118; 120; 121; 119; 120 В. Визначити середнє значення виміряної напруги, його середнє квадратичне відхилення і записати результат, вказавши межі довірчого інтервалу, в який попадає похибка вимірювання з довірчою ймовірністю $P=0.95$ (коефіцієнт Стьюдента $k_t = 2.571$).

Знаходимо математичне очікування отриманого ряду вимірювань напруги

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i = 120[\text{В}].$$

Визначимо випадкові відхилення

$$v_i = x_i - X_{cp},$$

перевіримо результати обчислень

$$\sum_{i=1}^n v_i \approx 0$$

і зведемо їх в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати обчислень

n	x_i, B	$v_i = x_i - X_{cp}, B$	v_i^2, B^2
1	122	+2	4
2	118	-2	4
3	120	0	0
4	121	+1	1
5	119	-1	1
6	120	0	0
	$X_{cp} = 120 B$	$\sum_{i=1}^6 v_i = 0$	$\sum_{i=1}^6 10$

Визначимо оцінку середньоквадратичного відхилення результату спостережень

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n v_i^2} = 1.41421 B.$$

Визначимо оцінку середньоквадратичного відхилення (СКВ) результату вимірювань

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.57735 B.$$

Знайдемо межі довірчого інтервалу похибки результату вимірювання

$$\Delta_d = \pm k_t \cdot S = \pm (2.571 \cdot 0.57735) = \pm 1.48379 B.$$

Представимо результат у вигляді: $X_{cp}, \pm \Delta_d, P$

$$U = 120.00 B \pm 1.48 B, P = 0.95.$$

Приклад 2.1.3. (Обробка результатів опосередкованих вимірювань)

Визначити результат та СКВ випадкової складової похибки опосередкованого вимірювання потужності $P = U^2/R$ за даними прямих вимірювань напруги та опору із незалежними випадковими похибками, що розподілені за нормальним законом:

$$U = (1.00 \pm 0.01) \text{В}; P = 0.99,$$

$$R = (10.0 \pm 0.10) \text{Ом}; P = 0.997.$$

Записати результат згідно стандартній формі, вказавши довірчий інтервал, в який попаде похибка результату опосередкованого вимірювання із заданою ймовірністю $P=0.99$.

Знайдемо математичне очікування потужності

$$\bar{P} = \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}} = 1^2 / 10 = 0.1 (\text{Вт}).$$

Визначимо СКВ результату опосередкованого вимірювання потужності

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{dP}{dU}\right)^2 \cdot \left(\sigma_U\right)^2 + \left(\frac{dP}{dR}\right)^2 \cdot \left(\sigma_R\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 \cdot \left(\sigma_U\right)^2 + \left(\frac{U^2}{R^2}\right)^2 \cdot \left(\sigma_R\right)^2}.$$

За значеннями нормованої функції Лапласа $\Phi(z) = \frac{P}{2}$ (таблиця 2.3)

знайдемо величину z , та визначимо СКВ результатів прямих вимірювань напруги і опору.

$$\Phi(z_U) = \frac{P}{2} = \frac{0.99}{2} = 0.485, z_U = 2.6;$$

Для $\sigma_U = \frac{\Delta U}{z_U} = \frac{0.01}{2.6} = 0.0038 (\text{В}).$

$$\Phi(z_R) = \frac{P}{2} = \frac{0.997}{2} = 0.4985, z_R = 3;$$

Для $\sigma_R = \frac{\Delta R}{z_R} = \frac{0.1}{3} = 0.0333 (\text{Ом}).$

Значення СКВ опосередкованого вимірювання потужності дорівнює

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{1}{10} \cdot 0.0038\right)^2 + \left(\frac{1}{100} \cdot 0.0333\right)^2} = 5.05 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}.$$

Визначимо межі довірчого інтервалу для заданої ймовірності $P=0.99$.

З таблиці 4 знаходимо величину $z_p=2.6$ для значення нормованої функції

$$\Phi(z_p) = \frac{P}{2} = \frac{0.99}{2} = 0.485, z_p=2.6.$$

$$\Delta_p = \pm z_p \cdot \sigma_p = 2.6 \cdot 5.05 \cdot 10^{-4} = 0.002 \text{ Вт.}$$

Результат опосередкованого вимірювання потужності представимо у вигляді

$$P = (0.100 \pm 0.002) \text{ Вт}; P = 0.99.$$

Таблиця 2.3 – Значення нормованої функції Лапласа

Z	Φ(z)	Z	Φ(z)
0.0	0.00000	2.1	0.48214
0.1	0.03983	2.2	0.48610
0.2	0.07926	2.3	0.48928
0.3	0.11791	2.4	0.49180
0.4	0.15542	2.5	0.49379
0.5	0.19146	2.6	0.49534
0.6	0.22575	2.7	0.49653
0.7	0.25804	2.8	0.49744
0.8	0.28814	2.9	0.49813
0.9	0.31594	3.0	0.49865
1.0	0.34134	3.1	0.49903
1.1	0.36433	3.2	0.49931
1.2	0.38493	3.3	0.49952
1.3	0.40320	3.4	0.49966
1.4	0.41924	3.5	0.49977
1.5	0.43319	3.6	0.49984
1.6	0.44520	3.7	0.49989
1.7	0.45543	3.8	0.49993
1.8	0.46407	3.9	0.49995
1.9	0.47128	4.0	0.499968
2.0	0.47725	4.5	0.499999

2.2 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі

Приклад 2.2.1.

Визначити питомий протидіючий момент пружини магніто-електричного ВП, якщо відомо, що для струму $I=5$ мА рамка з кількістю витків $w=16$ відхилилася на кут 45° , індукція в полі постійного магніту дорівнює $B=0.09$ Тл, а середня активна площа рамки складає $S=4.0$ см². Результат отримати в одиницях вимірювання – (Н·м/рад).

Рівняння перетворення магнітоелектричного ВП має вигляд

$$\alpha = S_{\text{ВП}} \cdot I = \frac{BSw}{W} \cdot I.$$

З рівняння перетворення знайдемо величину питомого протидіючого моменту пружини (значення у формулу необхідно підставляти у системі СІ).

$$W = \frac{BSw}{\alpha} \cdot I = \frac{0.09 \text{Тл} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{м}^2 \cdot 16 \cdot 4}{\pi \text{рад}} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{А} = 36.67 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{рад}}.$$

$$\text{Примітка. Рад} = \frac{\pi\alpha}{180}; \alpha = 45^{\circ} = \frac{\pi}{4} \text{рад}; 1 \text{см}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{м}^2; \text{Н} = \text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$\text{Тл} = \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}.$$

Приклад 2.2.2.

Необхідно розрахувати опір шунта для міліамперметра з внутрішнім опором $R_0 = 1,9$ Ом та струмом повного відхилення $I_0 = 500$ мА, щоб одержати амперметр з верхньою межею вимірювання $I = 10$ А.

Розрахунок слід вести в одній системі мір.

Для розрахунку скористаємося формулою для визначення опору шунта

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_0}{n - 1},$$

де $n = I / I_0$.

Тоді, за умовою задачі

$$R_{ш} = \frac{R_o}{I/I_o - 1} = \frac{1,9}{10/0,5 - 1} = 0,1 \text{ (Ом)}.$$

Приклад 2.2.3.

Для вольтметра, який має струм повного відхилення 2 мА і внутрішній опір 30 кОм необхідно визначити опір додаткового резистора для розширення верхньої межі вимірювання до 600 В.

Визначимо попередню межу вимірювання вольтметра

$$U_o = I_o \cdot R_o = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^3 = 60 \text{ (В)}.$$

Опір додаткового резистора визначимо за формулою

$$R_d = R_v(q - 1),$$

де $q = U / U_o$.

Тоді,

$$R_d = R_v(U/U_o - 1) = 30 \cdot 10^3(600/60 - 1) = 270 \text{ кОм}.$$

2.3 Мостові методи вимірювання

Приклад 2.3.1.

У зрівноваженій мостовій схемі для вимірювання індуктивності компенсуюче плече містить паралельно з'єднані ємність та резистор. Визначити величину R_x і L_x , якщо відомі параметри інших плечей моста: $R_2=100\text{Ом}$; $R_3=1000 \text{ Ом}$; $C_3=1 \text{ мкФ}$; $R_4=100 \text{ Ом}$.

З умови рівноваги мостів змінного струму знаходимо комплексний опір вимірювального плеча

$$Z_x = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_3},$$

$$\text{де } Z_x = R_x + j\omega L_x; Z_2 = R_2; \frac{1}{Z_3} = \frac{1 + j\omega R_3 C_3}{R_3}; Z_4 = R_4.$$

Тоді умову рівноваги для даної мостової схеми представимо у вигляді

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_2 R_4}{R_3} \cdot (1 + j\omega R_3 C_3),$$

або

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_2 R_4}{R_3} + j\omega R_2 R_4 C_3.$$

Ліва і права частина останнього рівняння є комплексні числа. Два комплексні числа рівні у тому випадку, коли рівні їх дійсні і уявні частини.

Із рівності дійсних частин

$$R_x = \frac{R_2 R_4}{R_3}$$

знаходимо величину активного опору індуктивності

$$R_x = 10 \text{ Ом},$$

а з рівності уявних частин

$$j\omega L_x = j\omega R_2 R_4 C_3.$$

величину невідомої індуктивності

$$L_x = 0.01 \text{ Гн}.$$

2.4 Цифрові вимірювальні прилади

Приклад 2.4.1.

Визначити кількість декад двійково-десятькового лічильника цифрового вольтметра послідовного наближення під час вимірювання напруги $U=10.24 \text{ В}$ з відносною похибкою квантування 0.1% .

Загальне рівняння перетворення вольтметра послідовного наближення має вигляд

$$N = \frac{U_x}{h}.$$

Величина кроку квантування визначається за формулою

$$h = \frac{U_o}{2^n},$$

де n - розрядність двійкового лічильника; $U_o = 10.24$ В - опорна напруга цифро-аналогового перетворювача.

Тоді, остаточне рівняння перетворення матиме вигляд

$$N = \frac{U_x}{U_o} \cdot 2^n.$$

Рівняння похибки квантування для даного засобу вимірювання подається у вигляді

$$\delta_k = \frac{1}{N} \cdot 100\% = \frac{U_o}{U_x \cdot 2^n} \cdot 100\%.$$

Із останнього рівняння знайдемо кількість декад двійко-десятькового лічильника, що забезпечує необхідну похибку квантування

$$n = \log\left(\frac{U_o \cdot 100\%}{U_x \cdot \delta_k}\right) = \ln\left(\frac{10.24 \cdot 100\%}{10.24 \cdot 0.1}\right) = \log 10^3 = 3.$$

2.5 Аналогові та цифрові засоби вимірювання

Приклад 2.5.1.

Запропонуйте структурну схему цифрового тахометра миттєвих значень, використавши для цього фотоелектричний сенсор. Отримайте рівняння перетворення та похибки квантування для даного засобу вимірювання.

Фотоелектричний сенсор перетворює кутову швидкість ω_x в частоту f_x імпульсів струму. Рівняння перетворення даного сенсора має вигляд

$$f_x = \frac{\omega_x \cdot z}{2\pi},$$

де z - кількість отворів в диску сенсора.

Оскільки вихідною величиною такого сенсора є частота, вибираємо в якості засобу вимірювання частоти цифровий частотомір миттєвих значень. Рівняння перетворення цього частотоміра подається у вигляді

$$N = \frac{T_x}{T_o} = T_x \cdot f_o = \frac{f_o}{f_x}.$$

Підставимо в останнє рівняння значення f_x і отримаємо рівняння перетворення цифрового тахометра миттєвих значень

$$N = \frac{2\pi \cdot f_o}{z \cdot \omega_x}.$$

Відносна похибка квантування визначиться за формулою

$$\delta_k = \frac{1}{N} \cdot 100\% = \frac{z \cdot \omega_x}{2\pi \cdot f_o} \cdot 100\%.$$

3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1 Загальні методичні рекомендації

Курсова робота повинна складатися із пояснювальної записки та графічної частини.

Графічна частина являє собою функціональну схему розробленого засобу вимірювання, яку необхідно представити на форматі А4 в додатку пояснювальної записки.

Обсяг пояснювальної записки має складати 25-30 машинописних аркушів формату А4.

Пояснювальна записка має такі складові частини:

- титульний лист;
- завдання на курсову роботу;
- зміст;
- вступ;
- огляд первинних перетворювачів вимірюваної фізичної величини;
- розробка структурної схеми аналого-цифрового перетворювача;
- розробка функціональної схеми засобу вимірювання;
- висновки;
- література.

Титульний лист є обкладинкою до пояснювальної записки і в загальну кількість аркушів не входить (див. Додаток А).

Завдання на курсову роботу видається керівником та є складовою частиною пояснювальної записки (див.Додаток Б), яку розміщують за титульним листом.

Зміст включає всі заголовки, які є в пояснювальній записці, і є першим аркушем документа, на якому виконують основний надпис за формою 2 (40 x 185).

Вступ. В даному розділі необхідно обґрунтувати важливість вимірювання фізичної величини розробленого засобу вимірювання (обсяг 1.5-2 стор.)

Огляд первинних перетворювачів вимірюваної фізичної величини. Спочатку дається коротка характеристика фізичної величини, що вимірюється (фізична суть величини, одиниця вимірювання, еталон цієї величини).

Потім подається огляд первинних вимірювальних перетворювачів (ВП) інформативного параметра. Тут наводиться декілька (мінімум три схеми) існуючих ВП, приводяться їх структурні схеми, описується фізичний ефект, що покладено в основу його роботи, рівняння перетворення та якісні статичні характеристики.

Крім того, аналізуються переваги та недоліки кожного із розглянутих перетворювачів. (Обсяг 7-8 стор.).

Розробка структурної схеми аналого-цифрового перетворювача. Наводиться фізичний принцип, що покладено в основу роботи аналого-цифрового перетворювача (АЦП), представляється структурна схема та часові діаграми роботи, описується принцип дії, виводиться рівняння перетворення та рівняння похибки квантування, графічно представляється статична характеристика та залежність похибки квантування від інформативного параметру. (Обсяг 5-6 стор.).

Розробка функціональної схеми засобу вимірювання. Пропонується функціональна схема засобу вимірювання (часові діаграми роботи наводяться по необхідності) та описується принцип дії, виводиться рівняння перетворення та похибки квантування, аналізуються шляхи зменшення цієї складової похибки, наводиться рівняння для нижньої та верхньої межі вимірювання, проводиться розрахунок найбільш важливих блоків АЦП. (Обсяг 4-5 стор.). Функціональна схема наводиться в додатку.

Висновки. Подається коротка характеристика результатів, що отримано в курсовій роботі. (Обсяг 0.5-1 стор.).

Література. На окремій пронумерованій сторінці наводиться список літератури в порядку посилання на неї в тексті пояснювальної записки.

Варіанти завдань до курсової роботи наведено в Додатку В (Таблиці В.1, В.2).

3.2 Вступ

Температура є фізичною величиною, яка характеризується внутрішньою енергією кіл і безпосередньому вимірюванню не піддається. Тому всі методи вимірювання температури основані на перетворенні її в другу фізичну величину, яка піддається безпосередньому вимірюванню.

На відміну від інших фізичних величин для вимірювання температури крім її одиниць необхідна температурна шкала. При цьому одиниця температури визначає масштаб вибраної шкали.

Існує ряд температурних шкал, побудованих з використанням двох реперних (постійних) точок, які відповідають температурам визначеного стану величини. Їм даються конкретні числові значення. Наприклад, в широко розповсюдженій шкалі Цельсія реперними точками є температури плавлення льоду і кипіння води, відповідаючі числові значенням 0 і 100. Одиниця - градус Цельсія (умовне означення - $^{\circ}\text{C}$) являється 1/100 температури кипіння води.

Для реалізації такої температурної шкали використовуються термометри, принцип дії яких засновано на властивостях розширення різних речовин під дією зміни температури. Внаслідок того, що коефіцієнти розширення термометричних речовин змінюються в залежності від температури, показ таких термометрів збігається в реперних точках.

Єдина температурна шкала, що не залежить від виду і термометричної речовини, була розроблена Кельвіним і заснована на законах термодінаміки, зокрема на властивостях ідеальної теплової машини, що працює по циклу Карно. Така шкала називається термодинамічною.

Для практичної реалізації термодинамічної шкали використовують газовий термометр, в основу принципу дії якого покладено рівняння стану ідеального газу

$$P \cdot V = R \cdot T,$$

де P - тиск газу при об'ємі V і температурі T ; R - молекулярна газова стала.

Оскільки в якості термометричної речовини використовуються реальні гази (водень, гелій, азот), то для приведення їх стану до термометричної шкали вводять відповідні показники.

Одиницею температури в термодинамічній шкалі є кельвін (умовне позначення - K), рівний $1/273,16$ інтервала між абсолютним нулем і температурою крайньої точки води, якій присвоєно значення $273,16 K$, що на $0,01K$ перевищує температуру плавлення льоду. Потрійна точка води є реперною точкою, для якої має місце рівновага між трьома фазами води (твердою, рідкою і газовою). Ця точка просто реалізується з високою точністю і на відміну від температури плавлення льоду не залежить від тиску навколишнього середовища.

Вихідним еталоном температури є комплекс виготовлення в різних країнах світу газових термометрів, за показникам яких визначається числові значення реперних точок по відношенню до точки кипіння хімічно чистої води для тиску $101325 Pa$ і температури, що прийнята рівною $100,00 ^\circ C$ ($373,15K$ точно). Для практичного відтворення і зберігання температурної шкали, встановленої міжнародною угодою є числове значення реперних точок, які з розвитком техніки час від часу уточнюються і корегуються.

3.3 Огляд перетворювачів температури

В сучасному промисловому виробництві, наукових досліджах, при дослідженнях матеріалів і зразків найбільш розповсюдженими є виміри температури. Широкий діапазон вимірювальних температур, різноманітність умов використання засобів вимірювання і вимог до них визначають, з одного боку, різноманітність використання засобів вимірювальної температури, а з другої сторони, необхідність розробки нових типів первинних перетворювачів.

Різноманітні засоби вимірювання температури можна поділити за типом первинних вимірюючих перетворювачів.

В діапазоні низьких і середніх температур використовуються в основному контактні методи вимірювання, причому найбільш широко на практиці використовуються первинні перетворювачі в виді термометрів опору і термопар. При цьому необхідно враховувати, що в більшості випадків температуру необхідно вимірювати в багатьох точках об'єкту і дистанційно, тобто первинні перетворювачі можуть бути віддалені від вторинного вимірювального приладу на великі відстані.

3.3.1 Термометри опору

Частіше всього включаються в зрівноважену мостову схему. Зрівноваження моста здійснюється за допомогою потенціометра. При вимірюванні опір резистора R_t , відповідно змінюється положенням потенціометра R і на його шкалі формуються показання мостового термометру

$$R_t = \frac{R \cdot R_1}{R_2}, \quad (1)$$

де R_1, R_2 - опори одинарного мосту.

Недоліком такої (двохпроводної) схеми включення термометра опору є суттєва похибка, що вноситься опорами $R_{л1}$, $R_{л2}$ провідників, якими він підключений до мостової схеми.

При вимірюванні температури навколишнього середовища проходить зміна опорів проводів, що робить неможливим компенсацію вказаної похибки. Для зниження цієї похибки використовують трипроводну схему підключення термометрів опору. В цьому випадку опори проводів $R_{л1}$, $R_{л2}$ виявляються не в одній, а в різних (сусідніх) плечах моста і тому їх вплив суттєво зменшується. При симетрії моста їх опори віднімаються. Опір $R_{л3}$, третього провідника виявляється ввімкненим в коло джерела живлення і на результат вимірювання не впливає.

При збільшенні довжини лінії зв'язку, описані методи часто не дозволяють забезпечити високу точність вимірювання температури і виникає необхідність в попередньому перетворенні опору терморезистора в який-небудь параметр електричного сигналу, що забезпечує точну і завадостійку передачу вимірювальної інформації.

3.3.2 Термоелектричні перетворювачі

При використанні термоелектричних перетворювачів (термопар) виникає необхідність вимірів значення термо-ЕРС на виході термопари.

Під час вимірювання температури вільні кінці термопари повинні бути при постійній температурі. Вільні кінці термопари конструктивно виведено на зажими для розміщення їх поблизу до об'єктів, тобто в зоні вимірюваної температури. Щоб віднести ці кінці в зону постійної температури, використовуються подовжувальні провідники, що складаються з двох жил, які виготовлено з металів чи сплавів і які мають однакові термоелектричні властивості з термоелектродами термопари.

В лабораторних умовах температура вільних кінців термопари підтримується рівною $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ шляхом розміщення їх в ємності Дьюара, наповненій потовченим льодом з водою. В промислових умовах температура вільних кінців термопари звичайно відрізняється від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оскільки градування термопар виконується при температурі вільних кінців $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, то ця різниця може бути джерелом суттєвої похибки. Для зменшення цієї похибки необхідно ввести поправку в покази термометра. Проте необхідно мати на увазі, що функція перетворення термопари нелінійна, а відповідно, значення поправки повинно залежити не тільки від температури вільних кінців термопари, але і від значення вимірюваної температури. Ця обстава ускладнює точну корекцію вказаної похибки шляхом введення поправки.

Широке застосування на практиці має автоматичне введення поправки на температуру вільних кінців термопари, що наведено на рис. 1

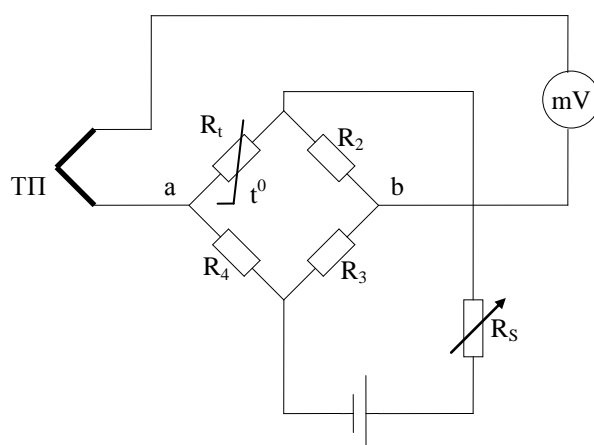


Рис. 1. Схема вимірювання температури з автоматичним введенням поправки

В коло термопари ТП і мілівольтметра включено міст, одним з плечей якого є терморезистор R_t (мідний), який розміщено біля вільних кінців термопари. Інші плечі моста створено низькоомними резисторами R_2 , R_3 , R_4 . При температурі вільних кінців термопари, рівній $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, міст зрівноважений ($U_{ab} = 0$). При відхиленні температури вільних кінців термопари від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ напруга U_{ab} не дорівнює нулю і сумується з ЕРС-термопари, що вносить поправку δ в показання приладу. Значення

поправки регулюється резистором R_S . В наслідок нелінійності функцій перетворення термопари повної компенсації похибки не виконується, але вказана похибка значно зменшується.

В даному випадку автоматична корекція похибки здійснюється методом допоміжних вимірювань, причому термометр опору є допоміжним вимірювальним перетворювачем, а поправка вводиться шляхом сумування напруг.

3.3.3 Кварцеві термоперетворювачі

Останім часом для виміру температур все більшого розповсюдження набувають кварцеві термоперетворювачі, які мають високу розрізняльну здатність і широкий частотний діапазон, добре захищені від завад і легко перетворюються в цифровий двійковий код.

Такі перетворювачі засновані на використанні прямого п'єзоелектричного ефекту, що полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні деяких кристалів (кварцу, сегнетової солі і ін.) під дією механічних напруг.

З кристалу кварца вирізається пластина, грані якої повинні бути перпендикулярні оптичній осі Z , механічній Y і електричній X (рис.2.)

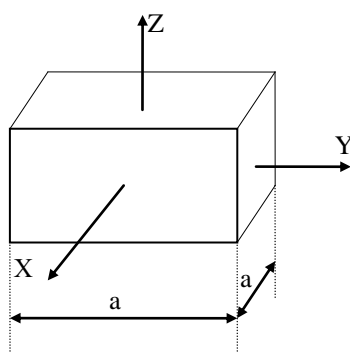


Рис.2. Пластина, вирізана з кварца

Під дією на пластину зусилля F_X на гранях X з'являються заряди

$$Q_X = k \cdot F_X, \quad (2)$$

де k - п'єзоелектричний коефіцієнт.

Під час дії на пластину зусилля F_Y вздовж механічної осі, на тих же гранях виникають заряди

$$Q_Y = (a/b) k F_Y, \quad (3)$$

де a, b - розміри граней пластини.

Механічна дія на пластину вздовж оптичної осі не викликає появи зарядів.

При вимірюванні температури, знаходять застосування п'єзорезонатори, в яких використовується одночасно прямий і зворотній п'єзо ефекти. Останній полягає в тому, що якщо на електроди перетворювача подати змінну напругу, то в п'єзочутливому елементі (пластині) виникнуть механічні коливання, частота яких f_p (резонансна частота) залежить від товщини h пластини, модуля упругості E , густини ρ її матеріалу. При включенні такого перетворювача в резонансний контур генератора частоти, частота генерованих електричних коливань визначається як f_p . Рівняння перетворення кварцевого перетворення має вигляд

$$f_t = f_p + S t_x^0, \quad (4)$$

де f_p, f_t – відповідно частоти генерованих коливань при температурах $t^0 = 0$ °C і вимірюваній температурі t_x^0 ;

S - чутливість термперетворювача.

Якісна статична характеристика кварцевого термперетворювача наведена на рис.3.

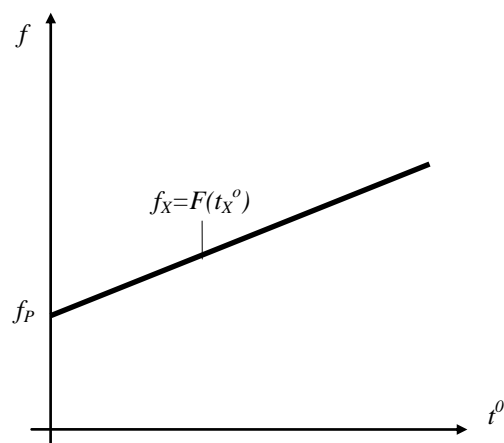


Рис. 3. Якісна статична характеристика

Чутливість кварцевих термоперетворювачів досягає 200-1000 Гц/К, що дозволяє з їх допомогою визначати зміни температури порядку 0,001 - 0,01 $^{\circ}\text{C}$. Кварцеві термометри можуть функціонувати в діапазоні температур від -200 $^{\circ}\text{C}$ до +600 $^{\circ}\text{C}$.

Висока точність кварцевих термометрів пояснюється високою стабільністю параметрів перетворювача і високими метрологічними характеристиками вимірювачів частоти. Недоліком таких перетворювачів є обмежена взаємозамінюваність, що пояснюється розкидом параметрів f_0 і S .

У зв'язку з тим, що термометри опору і термопари мають велику інерційність (показник інерційності складає десятки секунд), то в якості вимірювального перетворювача температури вибираємо кварцевий термоперетворювач для досягнення необхідної швидкодії, вказаної в технічному завданні (1 вим/с).

Таким чином вибір перетворювача визначає схему вторинного вимірювального приладу. Таким повинен бути частотомір. Оскільки в завданні на роботу задано неперервний режим, то вибираємо в якості вторинного приладу цифровий частотомір миттєвих значень.

3.4 Структурна схема цифрового частотоміра миттєвих значень

Принцип дії засновано на квантуванні невідомого періоду T_x імпульсами квантуючої (зразкової) частоти f_0 .

Структурна схема частотоміра наведена на рис.4, а часові діаграми його роботи на рис.5.

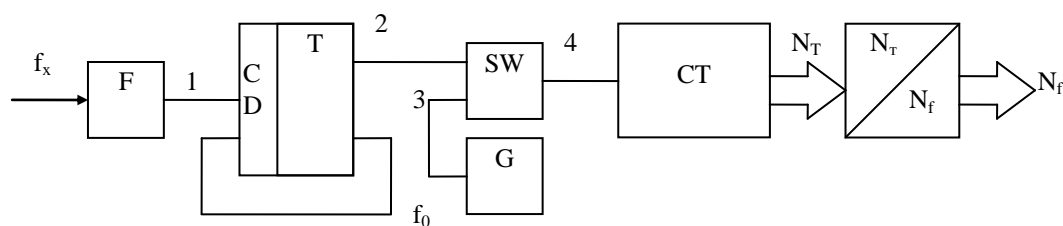


Рис.4. Структурна схема цифрового частотоміра миттєвих значень

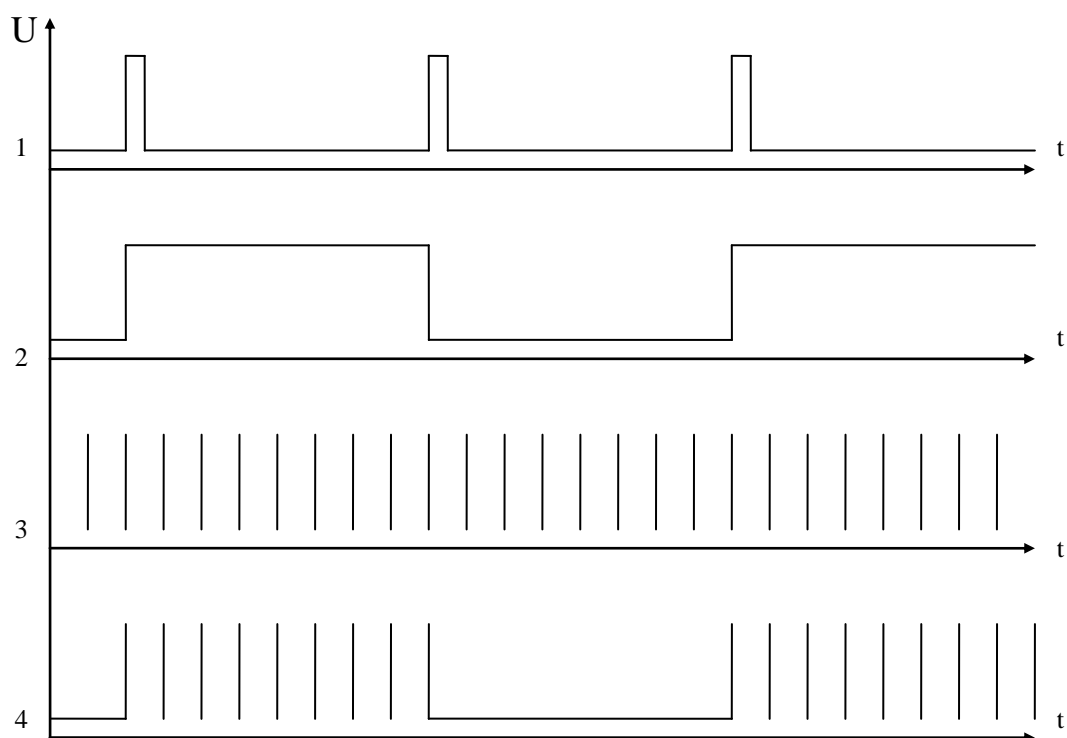


Рис.5. Часові діаграми роботи частотоміра миттєвих значень

Основними елементами представленої схеми є такі елементи:

F- формувач;

T- лічильний тригер (пристрій виділення періоду);

SW- схема співпадання;

G- генератор зразкової частоти;

СТ- двійковий лічильник;

N_T/N_f - перетворення коду періоду в код частоти.

Формувач F призначений для формування на своєму виході коротких прямокутних імпульсів з вхідних синусоїдальних.

Тригер T із імпульсів частоти f_x формує невідомий період T_x . В якості такого тригера використовується D-тригер зі зворотнім зв'язком з інверсного виходу \bar{Q} на D-вхід.

В початковому стані тригер T знаходиться в нульовому стані, схема SW закрита і імпульси зразкової частоти f_0 не надходять з виходу генератора G на вхід сумуючого лічильника СТ.

З приходом імпульсу на С-вхід тригера він встановлюється в одиничний стан і відкриває раніше закриту схему співпадання SW. Імпульси зразкової частоти f_0 через відкриту SW поступають на вхід лічильника СТ який підраховує їх кількість. Цей процес продовжується до тих пір, поки не поступить наступний імпульс на С-вхід тригера T. Цим імпульсом тригер обнулюється, схема SW закривається і імпульси f_0 перестають поступати на вхід лічильника.

Тому, за період T_x двійковий лічильник СТ підраховує кількість імпульсів f_0 , величина яких визначається за формулою

$$N_f = \frac{T_x}{T_0} = T_x f_0 = \frac{f_0}{f_x}. \quad (5)$$

Це рівняння називається рівнянням перетворення, оскільки воно пов'язує вхідну f_x і вихідну N_f величини. Статична характеристика цього частотоміра нелінійна (рис.6).

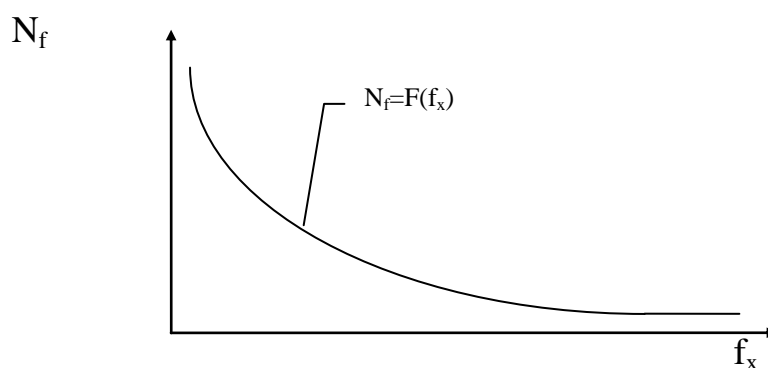


Рис.6. Статична характеристика частотоміра миттєвих значень.

Рівняння похибки квантування має вигляд

$$\delta_k = \frac{1}{N_f} \cdot 100\% = \frac{f_x}{f_0} \cdot 100\%, \quad (6)$$

а залежність похибки квантування від вимірюваної величини, лінійна (рис.7).

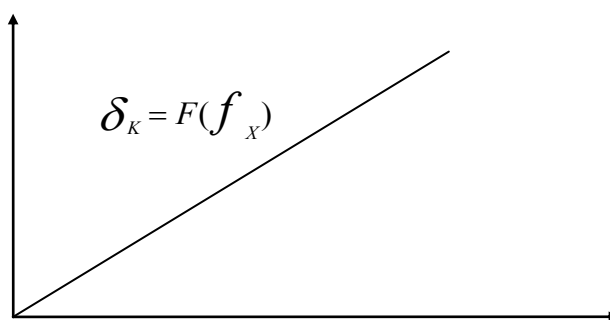


Рис.7. Залежність похибки квантування від вхідної величини

Аналіз рівняння похибки показує :

а) єдиним шляхом зменшення похибки квантування є збільшення частоти f_0 на виході генератора зразкової частоти G . Але цей шлях має

певні обмеження. Він обмежений швидкодією елементної бази, на якій реалізована принципова схема частотоміра;

б) галузь застосування таких частотомірів - вимірювання низьких і інфранизьких частот, оскільки f_x в рівнянні похибки знаходиться в чисельнику;

в) можливо вимірювати і більш високі частоти. Але в цьому випадку замість тригера Т (подільник $f_x/2$) необхідно використовувати подільник з більшим ніж 2 коефіцієнтом переліку. В цьому випадку здійснюють вимірювання (квантування) не одного, а декількох періодів невідомої частоти f_x .

3.5 Розробка функціональної схеми цифрового термометра

Пристрої, призначені для вимірювання температури, називаються термометрами. Даний термометр представляє собою сукупність кварцового термоперетворювача з цифровим частотоміром миттєвих значень.

Для отримання рівняння перетворення цифрового термометра в рівняння (5) замість f_x підставимо значення f_t з (4)

$$N_t = \frac{f_0}{f_t} = \frac{f_0}{f_P + S t_X^0} \quad (7)$$

З урахуванням рівняння (7) похибка квантування термометра буде мати вигляд

$$\delta_{Kt} = \frac{1}{N_t} \cdot 100\% = \frac{f_P + S t_X^0}{f_0} \cdot 100\% \quad (8)$$

Визначимо максимальну вихідну частоту кварцового термоперетворювача

$$f_{t \max} = f_p + S t_{\max}^0 \cong 600 \text{кГц} \quad \left| \begin{array}{l} t_{\max}^0 = 600^0 \text{С} \\ f_p = 10^3 \text{Гц} \\ S = 10^3 \text{Гц / град} \end{array} \right. \quad (9)$$

Знайдемо значення похибки квантування δ_{kt} під час вимірювання цього параметру частотоміром миттєвих значень

$$\delta_{kt} = \frac{(10^3 + 10^3 \cdot 600)}{6 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 10\% , \quad f_0 = 6 \cdot 10^6 \text{Гц} \quad (10)$$

Отримані значення не задовільняють вимогам завдання, тому що вони перевищують δ_{KH} в 1000 раз. В зв'язку з цим вихідну частоту f_t необхідно поділити в $k=1000$ раз.

$$f_x = \frac{f_{t \max}}{K} = \frac{f_p + S t_{x \max}^0}{K} \quad (11)$$

Враховуючи дане рівняння рівняння перетворення (7) прийме остаточний вигляд

$$N_t = \frac{f_0 \cdot K}{f_p + S t^0} \quad (12)$$

а рівняння похибки

$$\delta_{kt} = \frac{f_p + S t^0}{K f_0} \cdot 100\% , \quad (13)$$

де K - коефіцієнт подільника частоти.

Використавши (12) і (13) найдем нижню і верхню межу вимірювання.

Нижня межа вимірювання $t_{x \min}^0$.

Нижня межа вимірювання обмежена максимальною ємністю двійкового лічильника N_{\max} . Тоді (12) прийме вигляд

$$N_{\max} = \frac{f_0 \cdot K}{f_P + S t_{x \min}^0} \quad (14)$$

З врахуванням того що $N_{\max} = 2^n$, нижня межа вимірювання визначиться так

$$t_{x \min}^0 = \frac{K f_0 - f_P 2^n}{2^n S}, \quad (15)$$

де n - розрядність двійкового лічильника.

З (15) знайдемо розрядність n необхідну для реалізації двійкового лічильника

$$n = \log_2 \left(\frac{K f_0}{S t_{x \min}^0 + f_P} \right) = \log_2 \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^3 \cdot 10^3} \approx 14. \quad (16)$$

Верхня межа вимірювання $t_{x \max}^0$.

Верхня межа вимірювання визначається значенням похибки квантування, яка задана в завданні на курсову роботу. Це значення похибки використовується в якості нормованого δ_{KH} . Тому (13) прийме вигляд

$$\delta_{KH} = \frac{f_P + S t_{\max}^0}{K f_0} \cdot 100\%. \quad (17)$$

З (17) отримаємо залежність для визначення верхньої межі вимірювання

$$t_{x \max}^0 = \frac{\delta_{KH} K f_0}{100\%} - \frac{f_P}{S}. \quad (18)$$

З (18) визначимо зразкову частоту f_0 на виході G генератора

$$f_0 = \frac{f_P + S t_{\max}^0}{\delta_{KH} K} \cdot 100\% = 600 \text{кГц}. \quad (19)$$

По (13) знайдемо числове значення похибки квантування

$$\delta_{Kt} = \frac{10^3(600+1) \cdot 10^2}{10^3 \cdot 600 \cdot 10^3} = 0,1\% . \quad (20)$$

Знайдене значення $\delta_{Kt} = \delta_{KH}$, що задовільняє умови завдання на курсову роботу.

Оскільки по умові завдання необхідно реалізувати неперервний режим роботи, то після вимірювання періоду необхідно вихідну інформацію двійкового лічильника зберегти в регістрі RG, а потім обнулити лічильник СТ2.

Таким чином, після виконання цих дій (рис.8), СТ2 буде готовий до вимірювання наступного періоду.

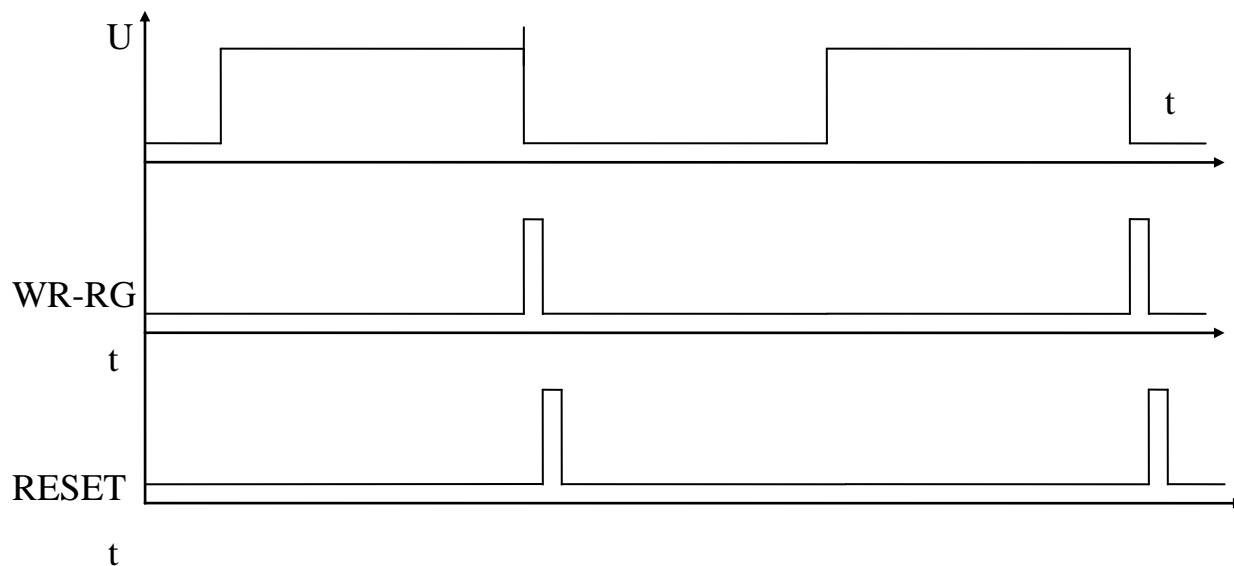


Рис.8. Часові діаграми формування сигналів WR-RG (запис)
і RESET (сброс).

Функціональна схема цифрового термометра з кварцевим термоперетворювачем наведена на рис. 9 .

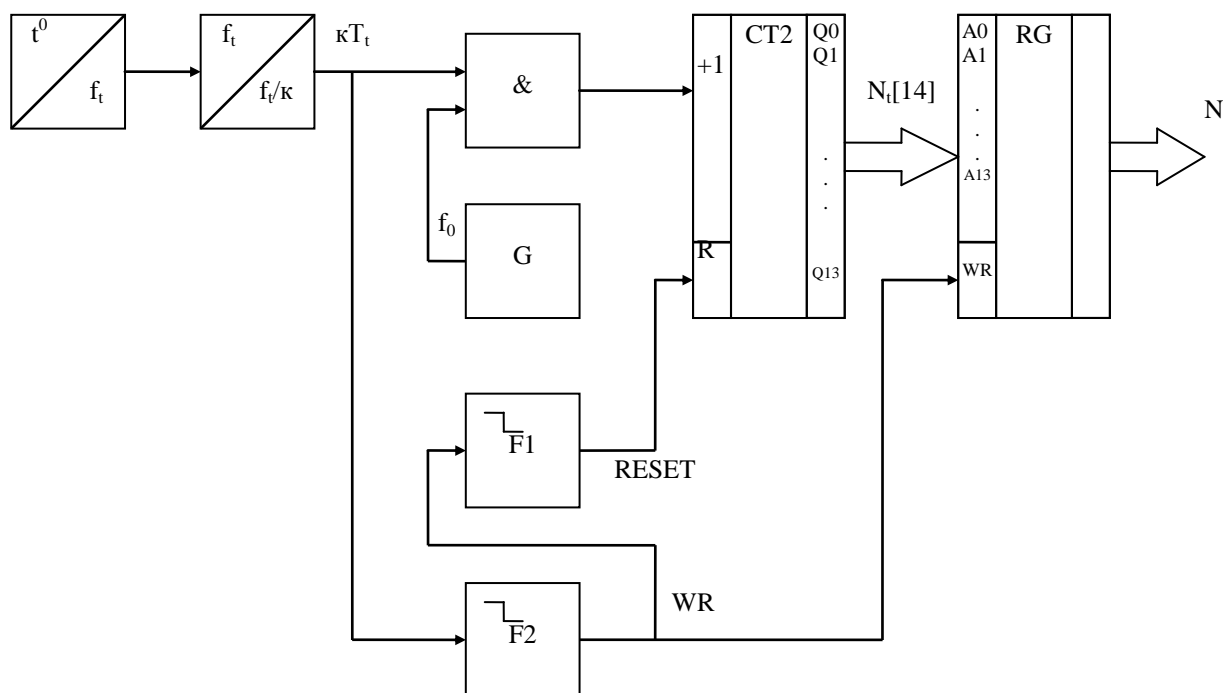


Рис.9 . Функціональна схема цифрового термометра

3.6 Висновки

В ході виконання даної курсової роботи було проведено аналіз первинних вимірювальних перетворювачів (термометри опору, термопари) і в якості термоперетворювача вибрано кварцевий, тому що він задовільняє за швидкодією (≤ 1 вим/сек) умовам технічного завдання. Оскільки температура перетворюється в частоту даним перетворювачем, то в якості вторинного вимірювального пристрою запропоновано цифровий частотомір миттєвих значень з попередньо включеним подільником частоти.

Отримане рівняння перетворення та похибки квантування цифрового термометра і на їх основі визначена залежність для знаходження верхньої і нижньої межі вимірювання. Skorиставшись цими залежностями отримано такі параметри для реалізації цифрового термометра:

- розрядність двійкового лічильника n ;

- величину частоти f_0 генератора зразкової частоти;
- значення коефіцієнта ділення до попереднього подільника.

На основі цих параметрів синтезовано функціональну схему цифрового термометра з кварцевим термоперетворювачем, що повністю задовольняє вимогам технічного завдання.

4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

4.1 Похибки вимірювання та обробка результатів прямих і опосередкованих вимірювань. Практичні завдання

4.1.1 Обробка результатів опосередкованих вимірювань

Визначити результат та СКВ випадкової складової похибки опосередкованого вимірювання однієї фізичної величини за даними прямих вимірювань інших фізичних величин із незалежними випадковими похибками, що розподілені по нормальному закону. Записати результат за стандартною формою, вказавши довірчий інтервал, в який попаде похибка результату опосередкованого вимірювання із заданою ймовірністю $P=0,99$.

Варіанти завдань наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати прямих вимірювань. Варіанти завдань

№-варіанта	Формула	Результати прямих вимірювань
1	$P = UI$	$U = (5,0 \pm 0,1) \text{ В}, \quad P = 0,95;$ $I = (1,0 \pm 0,01) \text{ А}, \quad P = 0,99$
2	$P = I^2 R$	$I = (10,0 \pm 0,1) \text{ А}, \quad P = 0,99;$ $R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}, \quad P = 0,95$
3	$P = \frac{U^2}{R}$	$U = (10,0 \pm 0,2) \text{ В}, \quad P = 0,95;$ $R = (100,0 \pm 0,1) \text{ Ом}, \quad P = 0,99$
4	$U = IR$	$I = (1,0 \pm 0,1) \text{ А}, \quad P = 0,95;$ $R = (10,0 \pm 0,01) \text{ Ом}, \quad P = 0,99$
5	$U = \sqrt{RP}$	$R = (10,0 \pm 0,01) \text{ Ом}, \quad P = 0,99;$ $P = (10,0 \pm 0,1) \text{ Вт}, \quad P = 0,95$
6	$U = \frac{P}{I}$	$P = (100,0 \pm 1,0) \text{ Вт}, \quad P = 0,99;$ $I = (10,0 \pm 0,1) \text{ А}, \quad P = 0,95$

Продовження таблиці 4.1

№-варіанта	Формула	Результати прямих вимірювань
7	$I = \frac{U}{R}$	$U = (1,0 \pm 0,01) \text{ В}$, $P = 0,99$; $R = (10,0 \pm 0,1) \text{ Ом}$, $P = 0,95$
8	$I = \frac{P}{U}$	$P = (10,0 \pm 0,1) \text{ Вт}$, $P = 0,99$; $U = (1,0 \pm 0,01) \text{ В}$, $P = 0,95$
9	$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	$P = (100,0 \pm 1,0) \text{ Вт}$, $P = 0,95$; $R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,99$
10	$R = \frac{U}{I}$	$U = (50,0 \pm 0,1) \text{ В}$, $P = 0,99$; $I = (5,0 \pm 0,01) \text{ А}$, $P = 0,95$
11	$R = \frac{U^2}{P}$	$U = (10,0 \pm 0,2) \text{ В}$, $P = 0,99$; $P = (10,0 \pm 0,1) \text{ Вт}$, $P = 0,95$
12	$R = \frac{P}{I^2}$	$P = (10,0 \pm 0,1) \text{ Вт}$, $P = 0,95$; $I = (1,0 \pm 0,01) \text{ А}$, $P = 0,99$
13	$P = UI$	$U = (10,0 \pm 0,02) \text{ В}$, $P = 0,99$; $I = (1,0 \pm 0,01) \text{ А}$, $P = 0,95$
14	$P = I^2 R$	$I = (1,0 \pm 0,02) \text{ А}$, $P = 0,99$; $R = (10,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,95$
15	$P = \frac{U^2}{R}$	$U = (10,0 \pm 0,1) \text{ В}$, $P = 0,99$; $R = (10,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,95$
16	$U = IR$	$I = (10,0 \pm 0,01) \text{ А}$, $P = 0,99$; $R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,95$
17	$U = \sqrt{RP}$	$R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,95$; $P = (1,0 \pm 0,05) \text{ Вт}$, $P = 0,99$
18	$U = \frac{P}{I}$	$P = (50,0 \pm 0,1) \text{ Вт}$, $P = 0,95$; $I = (5,0 \pm 0,05) \text{ А}$, $P = 0,99$
19	$I = \frac{U}{R}$	$U = (10,0 \pm 0,1) \text{ В}$, $P = 0,95$; $R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}$, $P = 0,99$

Закінчення таблиці 4.1

№-варіанта	Формула	Результати прямих вимірювань
20	$I = \frac{P}{U}$	$P = (100,0 \pm 0,1) \text{ Вт}, \quad P = 0,95;$ $U = (10,0 \pm 0,01) \text{ В}, \quad P = 0,99$
21	$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	$P = (1,0 \pm 0,01) \text{ Вт}, \quad P = 0,99;$ $R = (1,0 \pm 0,01) \text{ Ом}, \quad P = 0,95$
22	$R = \frac{U}{I}$	$U = (100,0 \pm 1,0) \text{ В}, \quad P = 0,95;$ $I = (1,0 \pm 0,05) \text{ А}, \quad P = 0,99$
23	$R = \frac{U^2}{P}$	$U = (1,0 \pm 0,01) \text{ В}, \quad P = 0,99;$ $P = (10,0 \pm 0,05) \text{ Вт}, \quad P = 0,95$
24	$R = \frac{P}{I^2}$	$P = (100,0 \pm 1,0) \text{ Вт}, \quad P = 0,99;$ $I = (10,0 \pm 0,01) \text{ А}, \quad P = 0,95$

4.1.2 Повірка електромеханічних ВП

Проведено повірку електромеханічного ВП по оцифрованих поділках шкали. Відомі відповідні показання зразкового приладу.

Визначити:

- абсолютну і відносну похибки у кожній точці, що повіряється;
- побудувати криву поправок для оцифрованих поділок шкали;
- до якого класу точності можна віднести прилад за підсумками

повірки, якщо для нормування класу точності використано зведену похибку.

Дані взяті з таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати повірки. Варіанти завдань

№-	Прилад	Показання приладів				
		1	2	3	4	5
1	Прилад, що повіряється, А	1	2	3	4	5
	Зразковий прилад, А	0,95	2,07	3,045	4,075	4,96

Продовження таблиці 4.2

№-	Прилад	Показання приладів				
2	Прилад, що повіряється, А	5	10	15	20	25
	Зразковий прилад, А	4,95	9,75	15,25	20,0	24,9
3	Прилад, що повіряється, А	10	20	30	40	50
	Зразковий прилад, А	9,8	20,4	30,1	40,25	49,75
4	Прилад, що повіряється, А	15	30	45	60	75
	Зразковий прилад, А	15,05	30,1	44,8	59,15	74,9
5	Прилад, що повіряється, А	20	40	60	80	100
	Зразковий прилад, А	18,8	40,5	59,4	78,5	99,0
6	Прилад, що повіряється, мА	25	50	75	100	125
	Зразковий прилад, мА	24,0	46,5	76,5	102,0	122,5
7	Прилад, що повіряється, мА	30	60	90	120	150
	Зразковий прилад, мА	33,7	62,5	90,0	123,5	153,0
8	Прилад, що повіряється, мА	35	70	105	140	175
	Зразковий прилад, мА	33,0	66,0	106,0	142,6	174,4
9	Прилад, що повіряється, мА	40	80	120	160	200
	Зразковий прилад, мА	44,2	83,2	121,2	158,8	198,0
10	Прилад, що повіряється, мА	45	90	135	180	225
	Зразковий прилад, мА	44,2	88,5	134,8	182,6	224,0
11	Прилад, що повіряється, мА	50	100	150	200	250
	Зразковий прилад, мА	52,0	104,4	154,6	192,4	244,0
12	Прилад, що повіряється, мА	100	200	300	400	500
	Зразковий прилад, мА	99,0	198,0	301,0	404,0	494,0
13	Прилад, що повіряється, В	1	2	3	4	5
	Зразковий прилад, В	1,04	1,94	3,02	4,03	4,96
14	Прилад, що повіряється, В	5	10	15	20	25
	Зразковий прилад, В	5,01	10,02	14,96	19,80	24,75

Закінчення таблиці 4.2

N-	Прилад	Показання приладів				
		15	Прилад, що повіряється, В	10	20	30
	Зразковий прилад, В	9,9	19,6	29,8	40,3	49,95
16	Прилад, що повіряється, В	15	30	45	60	75
	Зразковий прилад, В	14,95	30,15	44,80	58,15	74,50
17	Прилад, що повіряється, В	20	40	60	80	100
	Зразковий прилад, В	19,8	39,6	59,5	81,0	97,5
18	Прилад, що повіряється, В	25	50	75	100	125
	Зразковий прилад, В	24,5	51,2	77,2	102,0	124,2
19	Прилад, що повіряється, В	30	60	90	120	150
	Зразковий прилад, В	27,7	58,5	90,0	116,3	146,2
20	Прилад, що повіряється, В	35	70	105	140	175
	Зразковий прилад, В	36,6	72,4	101,2	142,6	176,0
21	Прилад, що повіряється, В	40	80	120	160	200
	Зразковий прилад, В	40,2	80,2	120,5	157,5	196,2
22	Прилад, що повіряється, В	45	90	135	180	225
	Зразковий прилад, В	46,6	91,4	134,8	178,0	227,2
23	Прилад, що повіряється, В	50	100	150	200	250
	Зразковий прилад, В	50,2	100,0	151,8	198,5	248,5
24	Прилад, що повіряється, мВ	100	200	300	400	500
	Зразковий прилад, мВ	98,5	201,0	296,0	392,0	497,5

4.1.3 Абсолютна та відносна похибки ЦВП

На відліковому пристрої цифрового вольтметра з верхньою межею 9,999 В позначено клас точності у вигляді дробу. Визначити абсолютну та відносну похибки вимірювання напруги. Варіанти завдань наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Варіанти завдань

Клас точності, с/d	Вимірювана напруга, В	Клас точності, с/d	Вимірювана напруга, В
1. 0,05/0,02	1	13. 0,2/0,01	1
2. 0,05/0,01	0,1	14. 1,0/0,005	0,1
3. 0,05/0,005	0,01	15. 0,5/0,002	0,01
4. 0,2/0,02	5	16. 2,5/0,5	5
5. 0,1/0,05	0,5	17. 0,2/0,02	0,5
6. 0,1/0,01	0,05	18. 0,05/0,005	0,05
7. 0,1/0,01	1	19. 1,5/0,2	1
8. 0,02/0,005	0,1	20. 0,2/0,02	0,1
9. 0,01/0,002	0,01	21. 0,01/0,001	0,01
10. 1,0/0,1	5	22. 0,1/0,01	5
11. 1,5/0,05	0,5	23. 0,02/0,005	0,5
12. 0,5/0,02	0,05	24. 0,01/0,002	0,05

4.2 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі. Практичні завдання

4.2.1 Шунти

Навести схему включення шунта у вимірювальне коло, вивести формулу для його визначення та знайти значення невідомої фізичної величини відповідно до свого варіанту (Таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Шунти. Варіанти завдань

N-	$R_{ш}$	R_0	I_0	I	n
1	?	4,90 Ом	200 мкА	10 мА	-
2	0,01 Ом	0,19 Ом	?	20 А	-
3	?	2,78 Ом	25 мА	25 А	-
4	0,12 Ом	2,40 Ом	0,1 А	?	-
5	0,10 Ом	?	200 мкА	10 мА	-
6	?	0,20 Ом	5 мА	1 А	-
7	?	0,50 Ом	100 мА	-	3
8	0,50 Ом	9,50 Ом	?	150 мА	-
9	0,01 Ом	?	25 мА	5 А	-
10	?	0,40 Ом	250 мА	-	5
11	0,10 Ом	2,78 Ом	2,5 А	?	-
12	0,10 Ом	2,70 Ом	?	1000 мА	-
13	?	0,05 Ом	100 мА	-	4
14	0,10 Ом	4,90 Ом	?	250 мА	-
15	0,10 Ом	2,78 Ом	0,1 А	?	-
16	?	1,90 Ом	150 мкА	-	20
17	0,01 Ом	4,90 Ом	?	2,5 А	-
18	0,05 Ом	0,50 Ом	50 мА	?	-
19	?	0,45 Ом	50 мА	-	10
20	0,005 Ом	0,40 Ом	?	8,1 А	-
21	0,01 Ом	5,00 Ом	25 мА	?	-
22	?	1,90 Ом	250 мкА	-	20
23	0,05 Ом	4,00 Ом	?	81 мА	-
24	?	0,12 Ом	10 мА	1 А	-

4.2.2 Додаткові резистори

Навести схему включення додаткового резистора у вимірювальне коло, вивести формулу для його визначення та знайти значення невідомої фізичної величини відповідно до свого варіанту (Таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Додаткові резистори. Варіанти завдань

N-	R_d	R_v	U_0	U	q	P
1	60 кОм	12 кОм	?	600 В	-	-
2	?	1,5 кОм	150 мВ	-	2	-
3	?	-	100 В	500 В	-	5 Вт
4	120 кОм	24 кОм	?	600 В	-	-
5	?	1,5 кОм	250 мВ	-	10	-
6	?	-	250 В	1000 В	-	10 Вт
7	90 кОм	10 кОм	?	1000 мВ	-	-
8	12 кОм	?	250 мВ	750 мВ	-	-
9	100 кОм	25 кОм	?	250 В	-	-
10	?	-	50 В	250 В	-	1 Вт
11	10 кОм	25 кОм	?	250 мВ	-	-
12	?	2,7 кОм	150 мВ	-	4	-
13	?	-	50 мВ	250 мВ	-	1 Вт
14	200 кОм	15 кОм	?	250 В	-	-
15	?	1,5 кОм	250 мкВ	-	4	-
16	200 кОм	15 кОм	?	250 В	-	-
17	?	-	100 В	1000 В	-	15 Вт
18	?	4,0 кОм	100 В	-	3	-
19	?	-	50 В	250 В	-	5 Вт
20	100 кОм	10 кОм	?	1000 В	-	-
21	?	1,5 кОм	100 мВ	-	10	-
22	60 кОм	12 кОм	?	600 В	-	-
23	1,5 кОм	?	150 мВ	300 мВ	-	-
24	?	4,0 кОм	100 В	-	3	-

Примітка. P – потужність, що споживається при U_0 .

4.2.3 Магнітоелектричний ВП

Вивести рівняння перетворення магнітоелектричного ВП та знайти значення невідомої фізичної величини відповідно до свого варіанту (Таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Магнітоелектричний ВП. Варіанти завдань

N-	W	B	I	w	S, см ²	α
1	?	0,09 Тл	$5 \cdot 10^{-3}$ А	17,5	4,4	45
2	$35 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	3 мА	50,5	3,0	20
3	?	0,01 Тл	1 мА	20,5	5,4	30
4	$15 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$	0,01 Тл	?	15	6,0	30
5	?	0,05 Тл	$2,5 \cdot 10^{-3}$ А	25	2,4	75
6	$45 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	10 мА	100	8,0	10
7	?	0,06 Тл	25 мА	15,5	6,4	65
8	$25 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	8 мА	35	8,0	40
9	?	0,02 Тл	$5 \cdot 10^{-3}$ А	18,5	1,4	15
10	$65 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	3 мА	30	4,0	45
11	?	0,04 Тл	$2 \cdot 10^{-3}$ А	17	4,5	65
12	$55 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	6 мА	10,5	5,0	50
13	?	0,09 Тл	$4 \cdot 10^{-3}$ А	7,5	3,4	45
14	$15 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	3 мА	30,5	3,0	40
15	?	0,02 Тл	$2 \cdot 10^{-3}$ А	8,5	4,4	30
16	$35 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$	0,05 Тл	?	50	3,5	30
17	?	0,1 Тл	$1 \cdot 10^{-3}$ А	17,5	2,4	25
18	$5 \cdot 10^{-8} \frac{Нм}{град}$?	2 мА	25	2,5	20
19	?	0,05 Тл	$5 \cdot 10^{-3}$ А	6,5	4,4	35

Закінчення таблиці 4.6

20	$2 \cdot 10^{-8} \frac{Hm}{град}$?	1 мА	60	4,0	45
21	?	0,02 Тл	$6 \cdot 10^{-3} A$	20	2,0	20
22	$2 \cdot 10^{-8} \frac{Hm}{град}$?	4 мА	45	4,5	45
23	?	0,09 Тл	$3,5 \cdot 10^{-3} A$	35	3,5	35
24	$8 \cdot 10^{-8} \frac{Hm}{град}$?	8 мА	18	8,0	80

4.3 Мостові схеми вимірювання. Практичні завдання

Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри відповідно до свого варіанту.

Відомі такі мостові схеми:

- схема 1. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і L_0 , що з'єднані послідовно і включені в сусіднє плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані послідовно;

- схема 2. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані паралельно і включені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що з'єднані послідовно;

- схема 3. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані послідовно і включені в сусіднє плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані послідовно;

- схема 4. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані паралельно і включені в сусіднє плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані паралельно.

Варіанти завдань наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Параметри мостових схем. Варіанти завдань

№-варіанта	Схема	R ₀	C ₀	L ₀	R1	R2
1	1	12 Ом	-	0,1 Гн	150 Ом	10 Ом
	3	1,0 кОм	10 нФ	-	150 Ом	1,5 кОм
2	1	12 Ом	-	0,2 Гн	12 Ом	24 Ом
	4	100 Ом	10 нФ	-	8,2 кОм	820 Ом
3	2	3 кОм	0,05 мкФ	-	10 кОм	27 кОм
	3	27 Ом	1 нФ	-	100 Ом	10 Ом
4	2	12 Ом	0,01 мкФ	-	10 Ом	24 Ом
	4	91 Ом	3,3 нФ	-	1,0 кОм	10 кОм
5	1	10 Ом	-	0,1 Гн	12 Ом	24 Ом
	3	3,0 кОм	0,5 мкФ	-	54 кОм	27 кОм
6	1	15 Ом	-	0,2 мГн	12 Ом	24 Ом
	4	12 кОм	0,1 мкФ	-	1,0 кОм	10 кОм
7	2	200 Ом	1 нФ	-	24 Ом	100 Ом
	3	24 Ом	1 мкФ	-	1,2 кОм	240 Ом
8	2	10 Ом	1 нФ	-	100 Ом	10 кОм
	4	91 Ом	0,03 мкФ	-	10 кОм	100 кОм
9	1	15 Ом	-	0,1 мГн	10 Ом	20 Ом
	3	91 Ом	0,01 мкФ	-	1,0 кОм	100 Ом
10	1	270 Ом	-	0,22 мГн	820 Ом	82 Ом
	4	15 Ом	0,01 мкФ	-	8,2 кОм	820 Ом
11	2	12 Ом	6,8 нФ	-	10 Ом	240 Ом
	3	1,0 кОм	0,22 мкФ	-	2,7 кОм	5,4 кОм
12	2	100 Ом	0,1 мкФ	-	1,0 кОм	10,0 кОм
	4	100 Ом	0,33 мкФ	-	1,5 кОм	150 Ом
13	1	1,0 кОм	-	0,01 Гн	240 Ом	24 Ом
	3	12 кОм	0,1 мкФ	-	1,2 кОм	240 Ом
14	1	2,7 кОм	-	6,8 мГн	540 Ом	27 Ом
	4	91 Ом	2,2 нФ	-	9,1 кОм	910 Ом
15	2	10 Ом	0,1 мкФ	-	100 Ом	1,0 кОм
	3	270 Ом	1 мкФ	-	9,1 кОм	910 Ом
16	2	240 Ом	0,03 мкФ	-	2,4 кОм	12 кОм
	4	100 Ом	2,2 нФ	-	2,7 кОм	270 Ом
17	1	1,5 кОм	-	2,5 мГн	910 Ом	91 Ом
	3	2,4 кОм	0,1 мкФ	-	1,5 кОм	150 Ом
18	1	6,8 кОм	-	0,01 Гн	100 Ом	10 Ом
	4	1,0 кОм	0,02 мкФ	-	2,7 кОм	5,4 кОм
19	2	540 Ом	3,3 нФ	-	2,7 кОм	1,0 кОм
	3	240 Ом	0,01 мкФ	-	8,2 кОм	820 Ом
20	2	91 Ом	22 нФ	-	9,1 кОм	100 Ом
	4	12 кОм	0,1 мкФ	-	2,4 кОм	240 Ом

Закінчення таблиці 4.7

N-варіанта	Схема	R ₀	C ₀	L ₀	R1	R2
20	2	91 Ом	22 нФ	-	9,1 кОм	100 Ом
	4	12 кОм	0,1 мкФ	-	2,4 кОм	240 Ом
21	1	2,7 кОм	-	10 мГн	270 Ом	27 Ом
	3	680 Ом	10 нФ	-	10 кОм	100 Ом
22	1	2,4 кОм	-	2,4 мГн	240 Ом	12 Ом
	4	1,5 кОм	3,3 нФ	-	2,4 кОм	1,2 кОм
23	2	150 Ом	100 пФ	-	1,5 кОм	1,0 кОм
	3	1,0 кОм	0,33 мкФ	-	2,4 кОм	1,2 кОм
24	2	820 Ом	1000 пФ	-	8,2 кОм	2,7 кОм
	4	2,7 кОм	10 нФ	-	2,7 кОм	540 Ом

4.4 Цифрові вимірювальні прилади. Практичні завдання

Виконати нижче наведені практичні завдання відповідно до свого варіанту.

1. За допомогою частотоміра середніх значень проведено вимірювання частоти $f_x=10$ кГц. Частота зразкового генератора $f_0=10$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=100\ 000$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра і визначити відносну похибку квантування.

2. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання ємності конденсатора C_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,1\%$. При цьому опір резистора $R_0=100$ Ом, а частота квантування $f_0=1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача. Визначити значення ємності C_x .

3. Цифровим фазометром миттєвих значень проведено вимірювання різниці фаз двох синусоїдних напруг з частотою $f_x=10$ Гц. Частота квантування $f_0=1$ МГц, а часовий інтервал t_x , пропорційний вимірюваному параметру дорівнює 10 мс. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

4. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_0=1$ МГц. Визначити нижню межу вимірювання $f_{x \max}$, якщо в структурній схемі частотоміра застосовано бінарний лічильник розрядністю $n=16$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

5. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання ємності конденсатора C_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,25\%$. При цьому опір резистора $R_0=250$ Ом, а частота квантування $f_0=5$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача. Визначити значення ємності C_x .

6. Цифровим фазометром миттєвих значень проведено вимірювання різниці фаз двох синусоїдних напруг з частотою $f_x=50$ Гц. Частота квантування $f_0=10$ МГц, а часовий інтервал t_x , пропорційний вимірюваному параметру дорівнює 20 мс. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

7. Напругу $U_x=2$ В виміряно цифровим вольтметром час-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0=5$ МГц, а коефіцієнт крутизни лінійно-змінної напруги $k=0.2$ с/В. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вольтметра. Визначити тривалість часового інтервалу, пропорційного вимірюваній напрузі та відносну похибку квантування.

8. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_0=10$ МГц. Визначити нижню межу вимірювання $f_{x \max}$, якщо в структурній схемі частотоміра застосовано двійковий лічильник розрядністю $n=20$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

9. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_0=10$ МГц. Визначити верхню межу вимірювання $f_{x \max}$, для якої відносна похибка квантування не

перевищує $\delta_k \leq 0,1\%$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

10. Цифровим фазометром середніх значень проведено вимірювання зсуву фаз двох синусоїдних напруг $\varphi_x = 24^\circ$. Час вимірювання $t_b = 0,5\text{с}$, а частота квантування $f_o=1$ МГц. Навести структурну схему і часові діаграми роботи фазометра. Визначити відносну похибку квантування.

11. Цифровим частотоміром миттєвих значень проведено вимірювання частоти $f_x=10$ Гц. При цьому частота квантування $f_o=100$ кГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра і визначити відносну похибку квантування.

12. За допомогою частотоміра середніх значень проведено вимірювання частоти $f_x=1$ кГц. Частота зразкового генератора $f_o=1$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=1\ 000\ 000$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра і визначити відносну похибку квантування.

13. Напругу $U_x=10$ В виміряно цифровим вольтметром час-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_o=1$ МГц, а коефіцієнт крутизни лінійно-змінної напруги $k=0.1$ с/В. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вольтметра. Визначити тривалість часового інтервалу, пропорційного вимірюванній напрузі та відносну похибку квантування.

14. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_o=1$ МГц. Визначити верхню межу вимірювання $f_{x\ \text{max}}$, для якої відносна похибка квантування не перевищує $\delta_k \leq 0,5\%$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

15. Цифровим фазометром середніх значень проведено вимірювання зсуву фаз двох синусоїдних напруг напруг $\varphi_x = 18^\circ$. Час вимірювання $t_b =$

0,1с, а частота квантування $f_0=1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

16. Напругу $U_x=5$ В виміряно цифровим вольтметром час-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0 = 2.5$ МГц, а коефіцієнт крутизни лінійно-змінної напруги $k=0.25$ с/В. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вольтметра. Визначити тривалість часового інтервалу, пропорційного вимірюваній напрузі та відносну похибку квантування.

17. Цифровим вольтметром послідовного наближення проведено вимірювання $U_x=5$ В. Навести структурну схему і часові діаграми роботи вольтметра. Визначити величину кроку квантування h , при якому відносна похибка квантування не перевищує 0.25%.

18. Цифровим фазометром середніх значень проведено вимірювання зсуву фаз двох синусоїдних напруг $\varphi_x = 18^\circ$. Час вимірювання $t_b = 0,25$ с, а частота квантування $f_0=10$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

19. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання ємності конденсатора C_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,1\%$. При цьому опір резистора $R_0=10$ Ом, а частота квантування $f_0=100$ кГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача. Визначити значення ємності C_x .

20. Цифровим вольтметром послідовного наближення проведено вимірювання $U_x=10$ В. Навести структурну схему і часові діаграми роботи вольтметра. Визначити величину кроку квантування h , при якому відносна похибка квантування не перевищує 0.1%.

21. Напругу $U_x=10$ В виміряно цифровим вольтметром час-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0=5$ МГц, а коефіцієнт крутизни лінійно-змінної напруги $k=0.05$ с/В. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вольтметра. Визначити тривалість часового

інтервалу, пропорційного вимірюваній напрузі та відносну похибку квантування.

22. За допомогою частотоміра середніх значень проведено вимірювання частоти $f_x=1$ кГц. Частота зразкового генератора $f_o=1$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=1\ 000\ 000$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра і визначити відносну похибку квантування.

23. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання опору резистора R_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,2\%$. При цьому ємність конденсатора $C_o=10$ нФ, а частота квантування $f_o=1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача і визначити значення опору R_x .

24. Цифровим фазометром миттєвих значень проведено вимірювання різниці фаз двох синусоїдних напруг з частотою $f_x=50$ Гц. Частота квантування $f_o=1$ МГц, а часовий інтервал t_x , пропорційний вимірюваному параметру дорівнює 50 мс. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

4.5 Аналогові та цифрові засоби вимірювання. Практичні завдання

Виконати нижче наведені практичні завдання відповідно до свого варіанту.

1. Розробити структурну схему цифрового тахометра середніх значень, отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

2. Розробити структурну схему електронного тахометра на базі конденсаторного частотоміра та фотоелектричного сенсора, отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

3. Розробити структурну схему приладу для вимірювання тиску на базі тензометричного моста та вольтметра послідовного наближення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

4. Розробити структурну схему вимірювача вологості. В якості сенсора вологості використати ємнісний перетворювач, а вторинним приладом - цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

5. Розробити структурну схему цифрового тахометра на базі цифрового вольтметра час-імпульсного перетворення і тахогенератора постійного струму, отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

6. Розробити структурну схему вимірювача деформації на базі тензометричного моста та вимірювального каналу напруги з мікропроцесорним керуванням.

7. Вивести формулу для визначення критичної частоти обертання n_k для $f_0 = 1$ МГц, $t_0 = 1$ с та $z=100$. Навести структурну схему та описати принцип дії мікропроцесорного тахометра.

8. Розробити мостову схему вимірювача переміщень на базі індуктивного вимірювального перетворювача та отримати рівняння перетворення в момент рівноваги моста.

9. Розробити мостову схему вимірювача температури. Як сенсор використати платиновий термометр опору. Отримати рівняння перетворення в момент рівноваги моста.

10. Розробити структурну схему реостатного поплавкового рівнеміра. В якості вторинного вимірювального приладу використати магнітоелектричний вимірювальний механізм. Отримати рівняння перетворення.

11. Розробити структурну схему цифрового приладу для вимірювання температури на базі термометра опору та цифрового вольтметра час-імпульсного перетворення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

12. Розробити структурну схему цифрового вимірювача зусилля на базі тензорезистивного вимірювального перетворювача та цифрового вольтметра час-імпульсного перетворення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

13. Розробити структурну схему вимірювача товщини. В якості сенсора використати ємнісний перетворювач, а вторинним приладом - цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

14. Розробити структурну схему вимірювача моменту. В якості сенсора використати тензорезистивного вимірювального перетворювача, а вторинним приладом - цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

15. Розробити структурну схему витратоміра. В якості сенсора використати індуктивний вимірювальний перетворювач, а вторинним приладом – вольтметр послідовного наближення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

16. Розробити структурну схему приладу для вимірювання тиску на базі ємнісного вимірювального перетворювача та цифровий вимірювача параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

17. Розробити структурну схему вимірювача деформації на базі тензометричного моста та цифровий вимірювача параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

18. Розробити структурну схему цифрового приладу для вимірювання температури на базі термопати та цифрового вольтметра послідовного наближення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

19. Розробити структурну схему витратоміра. В якості сенсора використати індуктивний вимірювальний перетворювач, а вторинним приладом

– вольтметр час-імпульсного перетворення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

20. Розробити структурну схему цифрового приладу для вимірювання температури на базі термістора та цифрового вимірювача параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

21. Розробити структурну схему приладу для вимірювання тиску на базі п'єзоелектричного вимірювального перетворювача та вольтметра час-імпульсного перетворення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

22. Розробити структурну схему вимірювача товщини. В якості сенсора використати резистивний вимірювальний перетворювач, а вторинним приладом - цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

23. Розробити структурну схему цифрового тахометра на базі фотоелектричного сенсора та цифрового частотоміра середніх значень. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

24. Розробити структурну схему вимірювача концентрації речовини на базі фотоелектричного сенсора та вольтметра послідовного наближення. Отримати рівняння перетворення і похибки квантування.

5. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

Нижче наведені питання, що додатково виносяться на іспит з дисципліни “Метрологія та вимірювальна техніка” за темами самостійної роботи.

1. Класифікація вимірювань.
2. Умови вимірювання.
3. Систематичні похибки та методи їх вилучення.
4. Оцінка випадкових похибок прямих та опосередкованих вимірювань.
5. Вимірювання струму і напруги електромеханічними ВП.
6. Магнітоелектричні ВП: принцип дії; структурна схема; виведення рівняння перетворення.
7. Електричні ВП (шунти, додаткові резистори).
8. Вимірювання частоти та різниці фаз електромеханічними ВП.
9. Вимірювання потужності в трифазному колі змінної напруги.
10. Вимірювальні мости постійного струму.
11. Мостові схеми для вимірювання ємності: структурні схеми; принцип дії; виведення умов рівноваги.
12. Мостові схеми для вимірювання індуктивності: структурні схеми; принцип дії; виведення умов рівноваги.
13. Компенсатор змінного струму в прямокутній системі координат.
14. Узагальнена структурна схема та класифікація цифрових вимірювальних приладів.
15. Загальна характеристика паралельного інтерфейса і програмованого таймера
16. Генераторні вимірювальні перетворювачі.
17. Методика проектування цифрових ЗВ неелектричних величин

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого. -Л.: Энергия, 1975. -576с.
2. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С.Полищука. -К.: Вища школа, 1984. -359с.
3. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Душина Е.М.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 480с.
4. Маликов В.Т., Поджаренко В.А. Современные методы и средства измерительной техники. К.: УМК ВО, 1988. -188с.
5. Поджаренко В. О., Кухарчук В. В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. - К.: УМК ВО, 1991.-240с.
6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. -Л.: Машиностроение, 1975. -776с.
7. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин. - Л.: Энергоатомиздат, 1983.
8. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. Методы измерений - Л. Энергоатомиздат, 1987.
9. Демидова-Панферова Р.М. и др. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -192с.
10. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). -К.: Вища школа, 1986.
11. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Осадчего. -М.: Машиностроение, 1979. -480 с.
12. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. -М.: Мир, 1989. -196с.
13. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах: Пер. с англ. -М.: Энергоиздат, 1981. -200с.
14. Осипович Л.А. Датчики физических величин. -М.: Машиностроение, 1979. -159с.

Додаток А

Титульний лист курсової роботи

Міністерство освіти України

Вінницький державний технічний університет

Кафедра метрології та промислової автоматики

КУРСОВА РОБОТА

На тему : **“ЦИФРОВИЙ ТЕРМОМЕТР”**

з дисципліни: **“Метрологія і вимірювання”**

Виконав: *ст. гр.2-АТ-97*

Мельничук О.О.

Перевірив: *Кухарчук В.В.*

Вінниця - 1999

Додаток Б

Завдання на курсову роботу

Міністерство освіти України
Вінницький державний технічний університет
Кафедра «Метрології та промислової автоматики»

ЗАВДАННЯ
на курсову роботу
з дисципліни «Метрологія та вимірювання»

Група ЗАТ-97 Студент Мельничук О.О.

Дата видання 17.12.1999 Дата виконання 20.07.2000

Назва курсової роботи «Цифровий термометр»

Вихідні дані Тип ВП -кварцевий

Тип АЦП -частотомір митьсвих значень

Нижня межа вимірювання -100°C

Верхня межа вимірювання -180°C

Відносна похибка квантування $\leq 0,1\%$

Зміст графічної частини: Креслення функціональної схеми засобу вимірювання на форматі А4

Зміст розрахунково-
пояснювальної записки: Завдання, вступ, оглядВП, розробка структурної схеми АЦП, розробка функціональної схеми ЗВ, висновки, література

Керівник
курсвої роботи:

_____ підпис

Додаток В

Варіанти завдань до курсової роботи

Таблиця В.1 – Вхідна вимірювана величина

№-варіанта	Фізична величина	Діапазон вимірювання	Похибка, δ , %
1	Рівень рідини	$1 - 10^3$ мм	0,1
2	Вологість	$1 - 100$ %	0,5
3	Товщина	$10^{-3} - 10^3$ мк	0,2
4	Тиск	$0,25 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^5$ Н/м ²	0,5
5	Деформація	$10 - 10^6$ Н/м ²	1,5
6	Тиск	$1 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^7$ Па	2,0
7	Момент сили	$0,15 - 5$ Н•м	0,5
8	Температура	$600 - 1000$ °С	5,0
9	Температура	$-100 - 100$ °С	1,0
10	Температура	$0 - 200$ °С	0,5
11	Температура	$500 - 1000$ °С	1,5
12	Температура	$200 - 600$ °К	1,5
13	Швидкість обертання	$10^3 - 10^6$ об/хв	0,1
14	Швидкість обертання	$0,1 - 10^3$ об/хв	1,0
15	Швидкість обертання	$10^{-3} - 10$ об/хв	1,5
16	Температура	$300 - 2100$ °К	0,5
17	Температура	$-100 - 100$ °С	0,5
18	Температура	$90 - 300$ °К	0,2
19	Тиск	$1 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^5$ Па	1,0
20	Тиск	$10^3 - 10^8$ Па	5,0
21	Деформація	$10^{-1} - 10^4$ Н/м ²	1,0
22	Деформація	$10^4 - 10^{10}$ Н/м ²	5,0
23	Момент сили	$1 - 10$ Н•м	1,0
24	Момент сили	$0,5 - 5,0$ Н•м	0,2
25	Витрата газу	$0,01 - 1$ кг/с	0,5
26	Витрата газу	$1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ м ³ /с	1,0
27	Кут повороту	$0 - 90^\circ$	0,5

Продовження додатку В

Таблиця В.2 – Засіб вимірювання

№	Тип засобу вимірювання	Тип вимірювального перетворювача	Тип аналого-цифрового перетворювача
1	Цифровий рівнемір	Ємнісний	Вимірювач параметрів електр. кола
2	Цифровий вологомір	Ємнісний	Вимірювач параметрів електр. кола
3	Цифровий вимірювач товщини	Ємнісний	Вимірювач параметрів електр. кола
4	Цифровий вимірювач тиску	Ємнісний	Вимірювач параметрів електр. кола
5	Цифровий вимірювач деформації	Тензорезистивний	Вимірювач параметрів електр. кола
6	Цифровий вимірювач тиску	Тензорезистивний	Вимірювач параметрів електр. кола
7	Цифровий вимірювач моменту	Тензорезистивний	Вимірювач параметрів електр. кола
8	Цифровий термометр	Термопара	Вольтметр час-імпульсного перетв.
9	Цифровий термометр	Термопара	Вольтметр послідовного наблиз.
10	Цифровий термометр	Термометр опору (мідний)	Вимірювач параметрів електр. кола
11	Цифровий термометр	Термометр опору (платина)	Вимірювач параметрів електр. кола
12	Цифровий термометр	Термістор	Вимірювач параметрів електр. кола
13	Цифровий тахометр середніх значень	Фотоелектричний	Цифровий частото-мір серед. значень
14	Цифровий тахометр миттєвих значень	Фотоелектричний	Цифровий частото-мір митт. значень
15	Цифровий тахометр миттєвих значень	Фотоелектричний	Цифровий частото-мір в примик. інтер
16	Цифровий термометр	П'єзо	Цифровий частото-мір серед. значень
17	Цифровий термометр	П'єзо	Цифровий частото-мір митт. значень

Закінчення додатку В

Закінчення таблиці В.2

№	Тип засобу вимірювання	Тип вимірювального перетворювача	Тип аналого-цифрового перетворювача
18	Цифровий термометр	П'єзо	Цифровий частото- мір в примик.інтер.
19	Цифровий вимірювач тиску	П'єзо	Вольтметр час-ім- пульсного перетв.
20	Цифровий вимірювач тиску	П'єзо	Вольтметр послі- довного наблизж.
21	Цифровий вимірювач деформацій	П'єзо	Вольтметр послі- довного наблизж.
22	Цифровий вимірювач деформацій	П'єзо	Вольтметр час-ім- пульсного перетв.
23	Цифровий вимірювач моменту	П'єзо	Вольтметр послі- довного наблизж.
24	Цифровий вимірювач моменту	П'єзо	Вольтметр час-ім- пульсного перетв.
25	Цифровий витратомір	Індуктивний	Вольтметр послі- довного наблизж.
26	Цифровий витратомір	Індуктивний	Вольтметр час-ім- пульсного перетв.
27	Цифровий вимірювач кута повороту	Фотоелектричний	Цифровий частото- мір мит. значень