

Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Ігнатенко О.Г., Войтович О.П.

Основи метрології та вимірювальної техніки

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Ігнатенко О.Г., Войтович О.П.

Основи метрології та вимірювальної техніки

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів усіх напрямів підготовки технічних спеціальностей заочної форми навчання. Протокол № 3 від 29 вересня 2005 р.

Вінниця ВНТУ 2006

УДК 621.317.08

П 44

Рецензенти:

В.В. Кухарчук, доктор технічних наук професор

Р.Н. Кветний, доктор технічних наук професор

П.Г. Столярчук, доктор технічних наук професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Ігнатенко О.Г., Войтович О.П.

П 44 **Основи метрології та вимірювальної техніки.** Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 151 с.

В посібнику розглянуті основні засади метрології, вимірювальної техніки, стандартизації, сертифікації та акредитації. Наведені завдання та методика розв'язання контрольних робіт з цих дисциплін. Посібник розроблений у відповідності до плану кафедри метрології та промислової автоматики.

УДК 621.317.08

© Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Ігнатенко О.Г., Войтович О.П., 2006

ЗМІСТ

С.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ..... | 5 |
| 1 Вимірювання фізичних величин..... | 6 |
| 1.1 Предмет, методи, засоби і основні напрямки метрології..... | 7 |
| 1.2 Основне поняття метрології - фізична величина..... | 8 |
| 1.3 Систематизація фізичних величин..... | 10 |
| 1.4 Основне рівняння вимірювання..... | 12 |
| 1.5 Класифікація вимірювань..... | 13 |
| 1.6 Алгоритм виконання вимірювальної процедури..... | 17 |
| 1.7 Засоби вимірювання..... | 19 |
| 1.8 Методи вимірювань..... | 20 |
| 2 Похибки вимірювання..... | 24 |
| 2.1 Класифікація похибок вимірювання..... | 23 |
| 2.2 Випадкові похибки вимірювань..... | 29 |
| 2.3 Випадкова похибка при непрямих вимірюваннях..... | 35 |
| 2.4 Обробка результатів вимірювань з використанням розподілу Ст'юдента..... | 37 |
| 2.5 Подання результатів вимірювань..... | 38 |
| 3 Електромеханічні та електричні вимірювальні прилади..... | 40 |
| 3.1 Загальні відомості..... | 40 |
| 3.2 Моменти, що діють на рухому частину вимірювального механізму..... | 41 |
| 3.3 Магнітоелектричні вимірювальні механізми..... | 42 |
| 3.4 Магнітоелектричний логометр..... | 44 |
| 3.5 Електродинамічні вимірювальні механізми..... | 45 |
| 3.6 Електростатичні вимірювальні механізми..... | 47 |
| 3.7 Електричні вимірювальні перетворювачі..... | 49 |
| 4 Мостові та компенсаційні методи вимірювання..... | 54 |
| 4.1 Мости постійного струму..... | 54 |
| 4.2 Мости змінного струму..... | 57 |
| 4.3 Компенсатори постійного струму..... | 61 |
| 5 Цифрові вимірювальні прилади..... | 64 |
| 5.1 Цифровий частотомір середніх значень..... | 64 |
| 5.2 Цифровий періодомір (частотомір миттєвих значень)..... | 67 |
| 5.3 Цифровий фазометр миттєвих значень..... | 70 |
| 5.4 Цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення..... | 73 |
| 5.5 Цифровий вольтметр послідовного наближення..... | 75 |
| 5.6 Цифровий вольтметр слідкуючого зрівноважування..... | 78 |
| 6 Основи стандартизації..... | 80 |
| 6.1 Міжнародні організації зі стандартизації..... | 80 |
| 6.2 Загальні положення..... | 81 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3 Категорії стандартів..... | 83 |
| 6.4 Розроблення і прийняття стандартів..... | 84 |
| 6.5 Основні методи стандартизації..... | 85 |
| 6.6 Системи переважних чисел..... | 89 |
| 7 Основи сертифікації..... | 94 |
| 7.1 Загальні відомості..... | 94 |
| 7.2 Порядок проведення сертифікації продукції в Системі УкрСЕПРО..... | 99 |
| 7.3 Розгляд спірних питань. Апеляції..... | 107 |
| 7.4 Фінансування робіт із сертифікації продукції..... | 107 |
| 7.5 Нормативні посилання..... | 108 |
| 8 Основи акредитації | 109 |
| 8.1 Мета та основні принципи акредитації..... | 109 |
| 8.2 Акредитація органу з сертифікації..... | 112 |
| 8.3 Порядок акредитації органу з сертифікації систем якості..... | 114 |
| 8.4 Порядок акредитації випробувальних лабораторій..... | 115 |
| 9 Методика виконання контрольних робіт..... | 118 |
| 9.1 Методика виконання контрольних робіт з метрології..... | 118 |
| 9.1.1 Теоретичні питання..... | 118 |
| 9.1.2 Оцінювання випадкових похибок прямих вимірювань..... | 121 |
| 9.1.3 Оцінювання випадкових похибок опосередкованих вимірювань..... | 126 |
| 9.1.4 Абсолютна та відносна похибка опосередкованого вимірювання..... | 129 |
| 9.1.5 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі..... | 132 |
| 9.1.6 Вимірювальні мости..... | 135 |
| 9.1.7 Цифрові вимірювальні прилади..... | 138 |
| 9.1.8 Аналогові та цифрові засоби вимірювання..... | 143 |
| 9.2 Методика виконання контрольних робіт з стандартизації..... | 146 |
| 9.3 Методика виконання контрольних робіт з сертифікації..... | 147 |
| Література..... | 150 |

ВСТУП

В сучасному світі все більш помітним стає вплив глобалізації. Вона починає втручатись у всі сфери життя, починаючи від харчової промисловості закінчуючи космічною сферою. Зараз майже не можливо уявити собі будь-яке виробництво, експлуатацію, торгівлю тощо без правил, єдиних для всіх. Саме метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація поставлені на сторожі.

Вимірювальна техніка є одним із головних факторів технічного прогресу і її рівень у значній мірі визначає загальний рівень розвитку науки і техніки. Особлива роль належить електровимірювальній техніці, яка дозволяє використовувати новітні досягнення електротехніки, електроніки, обчислювальної техніки і автоматики для вирішення складних науково-технічних завдань.

Посібник складається з дев'яти розділів. У першому та другому розділах розглядаються основні терміни та визначення метрології, поняття фізичної величини, класифікація вимірювань, методи та засоби вимірювань, наводиться класифікація похибок вимірювання, особлива увага спрямована на випадкові похибки, наведені методи обробки результатів вимірювання.

В третьому – розглядаються електромеханічні та електричні вимірювальні пристрої, зокрема магнітоелектричні, електродинамічні, електростатичні вимірювальні механізми, перетворювачі роду величин, масштабні перетворювачі. Четвертий розділ присвячено мостовим та компенсаційним методам вимірювання. Наведено основні рівняння та структурні схеми мостів і компенсаторів змінного та постійного струму. В п'ятому розділі розглядаються цифрові вимірювальні прилади. Наводяться основні структурні схеми та опис цифрового частотоміра середніх значень, періодоміра, фазометра, вольтметрів часо-імпульсного перетворення, послідовного наближення, слідкуючого зрівноваження.

В шостому розділі розглядаються питання стандартизації. Названі основні міжнародні організації зі стандартизації. Наведені загальні положення та категорії стандартів, методи стандартизації. Сьомий розділ присвячений основам сертифікації. Розглянуті основні положення та порядок проведення сертифікації продукції в Системі УкрСЕПРО. У восьмому розділі наведені: мета та основні принципи акредитації, порядок акредитації органу зі сертифікації систем якості та випробувальних лабораторій.

В дев'ятому розділі наводяться методики виконання контрольних робіт з метрології та вимірювальної техніки, стандартизації та сертифікації для студентів заочної форми навчання.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в даному навчальному посібнику поєднані питання метрології, вимірювальної техніки, стандартизації, сертифікації та акредитації в обсязі, достатньому для студентів заочної форми навчання. Тому доцільно використовувати її у навчальному процесі для студентів-заочників вузів, спеціальності яких мають відношення до метрології, вимірювальної техніки, стандартизації, сертифікації та акредитації.

1 ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Метрологія відрізняється від інших природничих наук тим, що її фундаментальні положення приймаються за угодами, а не диктуються об'єктивними закономірностями. Це підкреслює наявність так званої законодавчої метрології - частини метрології, що містить положення, правила, вимоги та норми, які регламентуються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювань.

Метрологією (від грецьких метрон - міра і логос - учення) називають науку про вимірювання, методи й засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

Метрологія є **теоретичною основою** вимірювальної техніки, одного з основних факторів технічного прогресу у всіх галузях діяльності людини. Розвиток метрології полягає, в першу чергу, в удосконаленні теоретичних основ вимірювань, узагальненні практичного досвіду в галузі вимірювань і формуванні подальшого розвитку вимірювальної техніки.

Методи вимірювання електричних величин застосовуються для вимірювання неелектричних і магнітних величин. Засоби вимірювання електричних величин застосовуються не тільки для отримання вимірювальної інформації, але і для здійснення контролю за станом параметрів різноманітних матеріальних об'єктів.

Для керування процесом вимірювання, оброблення результатів та їх подальшого більш ефективного використання все частіше застосовуються мікропроцесори, мікроконтролери, персональні комп'ютери.

Однією з найважливіших характеристик вимірювань є точність, яка характеризує міру відповідності наукового знання про досліджувані об'єкти теорії, сформульовану з використанням кількісних відношень, що отримані в процесі вимірювального експерименту. Точність на кожному етапі розвитку науки і техніки є кінцевою.

Єдність вимірювань - це стан вимірювань, за яким їх результати подаються в узаконених одиницях і похибки вимірювань відомі із заданою ймовірністю.

Прагнучи до пізнання світу та підвищення продуктивності праці, людина в процесі накопичення знання та досвіду розробляє методи пізнання - найбільш ефективні засоби одержання нових знань.

Вимірювальна інформація - одна із складових частин пізнання людиною матеріального світу за допомогою експериментальних методів пізнання. Експериментальна інформація неперервно вдосконалюється в процесі покращення вимірювального експерименту. При цьому відбуваються постійне уточнення вимірювальної інформації, вивільнення її від супутніх похибок і наближення до абсолютної істини. В результаті аналізу отриманої вимірювальної інформації людина пізнає навколишнє середовище.

1.1 Предмет, методи, засоби і основні напрямки метрології

Предметом метрології є отримання кількісної і якісної інформації про властивості об'єктів і процесів, встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності.

Методи метрології - це сукупність фізичних і математичних методів, що використовуються для отримання вимірювальної інформації. До них належать: методи вимірювання, відтворення величин заданого розміру, порівняння величин, вимірювальне перетворення, обробка результатів спостережень, планування вимірювального експерименту.

Методи метрології дозволяють перевірити істинність інформації метрологічними експериментами. Різноманітність каналів отримання вимірювальної інформації, сукупність методів її обробки сприяють підвищенню точності і достовірності, а отже, і поглибленню пізнання людиною матеріальних об'єктів.

Засоби метрології - різноманітні засоби вимірювань і контролю, які вдосконалюються і розвиваються на основі об'єктивних законів.

Збільшення числа структурних елементів, програмно-апаратна реалізація засобів вимірювання і контролю приводять до їх якісної зміни. Вони неперервно вдосконалюються - від найпростіших мір до приладів, установок, комп'ютерно-вимірювальних систем і метрологічних роботів.

Відбувається перехід кількості структурних елементів в нові якості.

Всі засоби вимірювання і контролю регламентуються державними і міжнародними правилами, законодавчими актами, що мають за мету підтримання єдності вимірювань і підвищення їх достовірності.

Таким чином, засоби метрології включають у себе:

- ⇒ сукупність засобів вимірювання і контролю;
- ⇒ систему державних еталонів одиниць фізичних величин;
- ⇒ систему передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювання за допомогою зразкових засобів повірки;
- ⇒ систему обов'язкової державної і відомчої повірки, або метрологічної атестації засобів вимірювання;
- ⇒ систему стандартних зразків складу і властивостей речовин, матеріалів.

Напрямки метрології. Усі розділи метрології розвиваються на основі об'єктивних законів, коли існуючі раніше засоби вимірювання відкидаються і замінюються новими, коли забезпечується єдність об'єкта дослідження і суб'єкта, їх взаємозв'язок і взаємодія приводить до підвищення точності.

Розвиваючись швидкими темпами, метрологія розподіляється на ряд самостійних розділів:

- теорія вимірювань;
- теорія похибок;
- інформаційна теорія вимірювань;
- теорія інформаційно-вимірювальних систем;
- статистичні вимірювання;
- вимірювання електричних величин;
- вимірювання магнітних величин;
- вимірювання неелектричних величин.

Факт існування в сучасній метрології різноманітних напрямків вивчення вимірювань є відображенням процесу диференціації науки про вимірювання як важливого принципу її розвитку.

Тенденція диференціації привела до створення окремих напрямків вимірювань, а також відповідних навчальних і наукових спеціальностей, що, в свою чергу, забезпечило їх прискорений розвиток. Однак поряд з тенденцією диференціації у зв'язку з розвитком наукових досліджень на межі різнорідних явищ, створенням складних систем з використанням фізичних явищ різного роду, ефективністю взаємного проникнення методів вимірювання і вимірювального перетворення з різних галузей науки і техніки посилюється тенденція інтеграції в розвитку метрології і вимірювальної техніки.

Напрямки розвитку метрології визначають її місце серед інших наук.

Метрологія веде до єднання різних наук. Вона тісно пов'язана з фундаментальними природничими науками, насамперед з технічною фізикою. Виконуючи завдання метрологічного забезпечення, вона поєднується і з суспільними науками, оскільки проблеми метрології мають багато спільного з типовими проблемами масового обслуговування.

1.2 Основне поняття метрології - фізична величина

Вихідним поняттям метрології є поняття про фізичну величину.

Фізична величина (ФВ) - це властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному відношенні для кожного з них.

ФВ - властивість явища чи тіла, яка може бути розрізнена якісно і визначена кількісно. Формалізованим відображенням якісних відмінностей вимірюваних величин є їх розмірність, а кількісною характеристикою - їх розмір. Отримання достовірної кількісної експериментальної інформації про розмір ФВ - це основний зміст вимірювання.

Значення (фізичної) величини - відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці

$$A = \{A\}[A],$$

де $\{A\}$ - числове значення ФВ, тобто число, що дорівнює відношенню розміру вимірюваної величини до розміру одиниці цієї ФВ, чи кратної одиниці;

$[A]$ - позначення одиниці ФВ.

Наприклад: значення електричної напруги $U = 220 \text{ В}$, значення сили електричного струму $I = 10 \text{ А}$.

Існують системи ФВ, тобто сукупності взаємопов'язаних ФВ, в яких декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них. ФВ, що входить у систему величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи, є основною ФВ, а ФВ, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи, є похідною фізичної величини.

Розмірністю ФВ є вираз, що відображає її зв'язок з основними величинами системи величин:

основної ФВ - умовний символ ФВ в даній системі величин;

похідної ФВ - добуток розмірностей основних величин, піднесених до відповідних степенів.

Наприклад: розмірність швидкості V в системі величин L (довжина), M (маса), T (час) - $\dim V = LT^{-1}$.

Одиницею ФВ є величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин:

основна одиниця системи одиниць (сукупності одиниць певної системи величин) - основної величини;

похідна - похідної ФВ в певній системі величин;

позасистемна одиниця ФВ - одиниця величини, що не належить до даної системи одиниць.

Наприклад: електронвольт (eV) - позасистемна одиниця енергії щодо системи SI; доба, година, хвилина - позасистемні одиниці часу щодо системи SI.

У країнах світу загальноприйнята *Міжнародна система одиниць* ФВ (Systeme Internationale d'unites, SI), яка була прийнята XI Генеральною конференцією з мір та ваги (Conference Generale des Poids et Mesures, CGPM, ГКМВ) у жовтні 1960 року, і уточнювалася на XII-XX Генеральних конференціях з мір та ваги.

Система складається з 7 основних і 2 додаткових одиниць, а також 113 похідних одиниць, в тому числі одиниць електричних і магнітних величин - 40.

Основні одиниці системи SI:

довжина - метр (м);

маса - кілограм (кг);

час - секунда (с);

сила електричного струму - ампер (А);

термодинамічна температура - кельвін (К);

сила світла - кандела (кд);

кількість речовини - моль (моль),

додаткові одиниці:

плоский кут - радіан (рад);

тілесний кут - стерадіан (ср).

Основна одиниця електрики і магнетизму - ампер, який дорівнює силі незмінного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках безмежної довжини і мізерно малого кругового перерізу, розташованого на відстані 1 м один від одного у вакуумі, викликає би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Вісімнадцять похідних одиниць SI мають спеціальні назви і шістнадцять одиниць, які мають назви за прізвищами учених, в тому числі: ват (Вт, W), вебер (Вб, Wb), вольт (В, V), генрі (Гн, H), герц (Гц, Hz), кулон (Кл, C), ом (Ом, Ω), сименс (См, S), тесла (Тл, T), фарад (Ф, F) .

На практиці широко застосовуються **кратні** та **частинні** одиниці фізичної величини.

Кратна одиниця ФВ - це одиниця величини, яка в ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється.

Частинна одиниця - одиниця, яка в ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворюється.

В Україні регламентується застосування одиниць величин системи SI. Міжнародні стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO, МОС) ISO 31/0:1992 - ISO 31/13:1992 та ISO 1000:1992 встановлюють одиниці ФВ, які рекомендовані до застосування у країнах світу, в тому числі ISO 1000:1992 - основні одиниці SI, а ISO 31/5:1992 - похідні одиниці SI електричних та магнітних величин.

1.3 Систематизація фізичних величин

Розгляд фізичних величин в їх різних аспектах, обмежимо лише тими ознаками, які викликають найбільший інтерес з точки зору отримання вимірювальної інформації (рис.1.1).

Основною ознакою систематизації є належність величин до однієї з трьох основних сторін явища - речової, енергетичної та інформаційної.

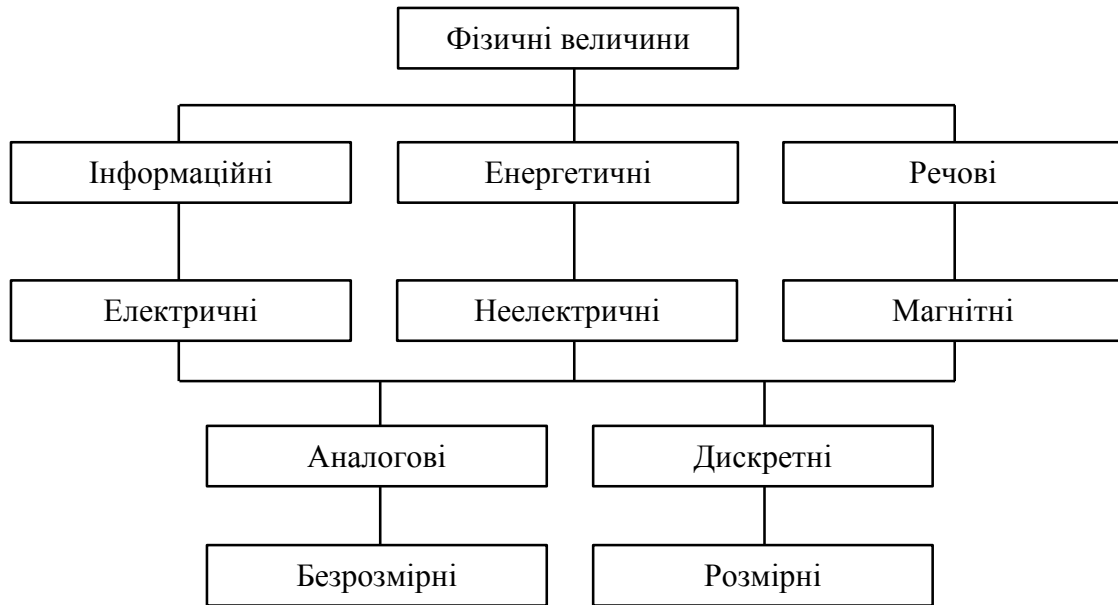


Рисунок 1.1 - Систематизація фізичних величин

Вимірювання величин **речової** групи необхідне для вивчення фізичних і фізико-хімічних властивостей матеріалів, речовин і їх складу для управління технологічними процесами.

Вимірювання величин **енергетичної** групи необхідне для вивчення і управління процесами перетворення, передавання і використання енергії.

Величини **інформаційної** групи відображають динамічні та статичні характеристики процесів. Вимірювання даних величин необхідне для якісного і ефективного управління.

За родом величини всі фізичні величини поділяють на **електричні, неелектричні, магнітні**.

Відзначимо, що число електричних і магнітних ФВ, що підлягають вимірюванню, зараз стабілізувалось і не перевищує 100. У той самий час число неелектричних ФВ, які вимірюються і які необхідно вимірювати, з кожним роком зростає і на початок ХХІ ст. перевищило 4000. Це свідчить про випереджаючий розвиток аналітичного приладобудування, засобів технологічного контролю, засобів вимірювань і контролю навколишнього середовища, а також засобів контролю речовин, матеріалів і виробів.

За числом значень, які може набути вимірювана величина на скінченному проміжку часу чи простору, ФВ поділяються на неперервні (аналогові) й дискретні.

Аналоговою називають фізичну величину, яка на скінченному часовому інтервалі в заданому діапазоні приймає нескінченну кількість значень.

Квантованою називають фізичну величину, що поділена на рівні за розміром частини, кванти.

Найбільш пристосовані до квантування адитивні ФВ.

Адитивні величини - це величини, які підсумовуються експериментально.

Природно квантована ФВ поділена на кванти від природи (електричний заряд, маса).

Штучно квантована ФВ поділена штучно на кванти або інтервали, наприклад: довжина лінійки з нанесеними на ній відмітками; інтервал часу, поділений рівновіддаленими імпульсами.

Розрізняють неперервну за значенням і в часі ФВ, квантовану за значенням і неперервну в часі ФВ, неперервну за значенням і дискретизовану у часі ФВ, квантовану за значенням і дискретизовану у часі ФВ.

За наявністю розмірності розрізняють розмірні (абсолютні) ФВ, безрозмірні (відносні) ФВ.

Розмірна величина – фізична величина, в розмірності якої розмірність хоча б однієї з основних величин піднесена до степеня, що не дорівнює нулю.

Безрозмірна величина – фізична величина, в розмірності якої всі степені розмірностей основних величин дорівнюють нулю.

1.4 Основне рівняння вимірювання

Відмінність ФВ, визначена різними властивостями явищ, відображає лише одну їх сторону – якісну. А поняття ФВ містить й іншу сторону – кількісну, що є індивідуальною для кожного об'єкта і оцінюваною числовим виразом величини. Останнє дає можливість порівнювати фізичні величини і виконувати над ними математичні операції.

Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших експериментальних методів пізнання, що ґрунтується на принципі відображення, в якому чітко розрізняється предмет відображення, в даному випадку ФВ певного розміру, і результат відображення, тобто значення ФВ. Вимірювання починають експериментально, а завершують аналітично їх значеннями, тому методологічно виправдана і відповідна форма рівняння вимірювання.

Основною операцією, що дозволяє отримати результат вимірювання, є операція порівняння вимірюваної величини X , та величини, прийнятої за зразок $[x]$. Відома **аксіома Евдокса-Архімеда**:

«Якщо на прямій дані два відрізки $A > B$, то можна A повторити додатними стільки разів, щоб сума була більшою B »:

$$A + A + \dots + A = A \cdot (N + 1) > B.$$

Якщо $A \cdot N < B$, $B \gg A$, то з цієї аксіоми отримуємо рівняння, що основане на припущенні рівності всіх відрізків A , які підсумовуються всередині відрізка B :

$$N = \frac{B}{A}.$$

Прийнявши $X = B$, а $A = [x]$, отримаємо

$$N = \frac{X}{[x]}.$$

Останнє співвідношення, подане у вигляді

$$X = N \cdot [x],$$

називають **основним рівнянням вимірювання**.

Таким чином, для реалізації вимірювання у найтривіальнішому випадку необхідно виконати дві операції: операцію відтворення зразкової величини $[x]$; операцію порівняння X і $[x]$.

Кількісна оцінка вимірюваної величини має відповідати двом вимогам:

- внаслідок вимірювання потрібно отримати не просто число, а число іменоване, тобто в певних одиницях, загальноприйнятих для даної величини (наприклад, $I = 5 [A]$);
- результат вимірювання має містити оцінку точності отриманого значення вимірюваної величини ($I = 5 [A] \pm \Delta$).

Характерною ознакою вимірювання є також те, що цей процес обов'язково передбачає той чи інший, простий чи складний фізичний експеримент. Кількісну інформацію про величину не можна отримати тільки одними теоретичними розрахунками. Якщо значення величини отримують розрахунком, то використані в цих випадках розрахункові формули обов'язково повинні містити значення інших величин, що визначаються експериментально.

1.5 Класифікація вимірювань

Найпоширенішими характеристиками матеріальних об'єктів та процесів є величини і залежності між ними. Якраз про них створюється інформація за допомогою засобів вимірювання. Вимірювання є дуже різноманітними і кількість їх різновидів зростає. Свідченням цього є динамічні вимірювання та сумісні вимірювання величин.

Для класифікації (рис. 1.2) вимірювань необхідно встановити їх найбільш суттєві ознаки. До найбільш суттєвих ознак, різних вимірювань відносять:

- відсутність чи наявність в процедурі вимірювання перетворення роду вимірюваної величини та обчислення її значення за відомими залежностями;
- за характером рівнянь вимірювання;
- призначення вимірювання для незмінних чи змінних в часі вимірюваних величин;
- особливості визначення похибок вимірювань;
- наявність чи відсутність розмірності у вимірюваної величини;
- співвідношення між кількістю вимірюваних величин та кількістю вимірювань.

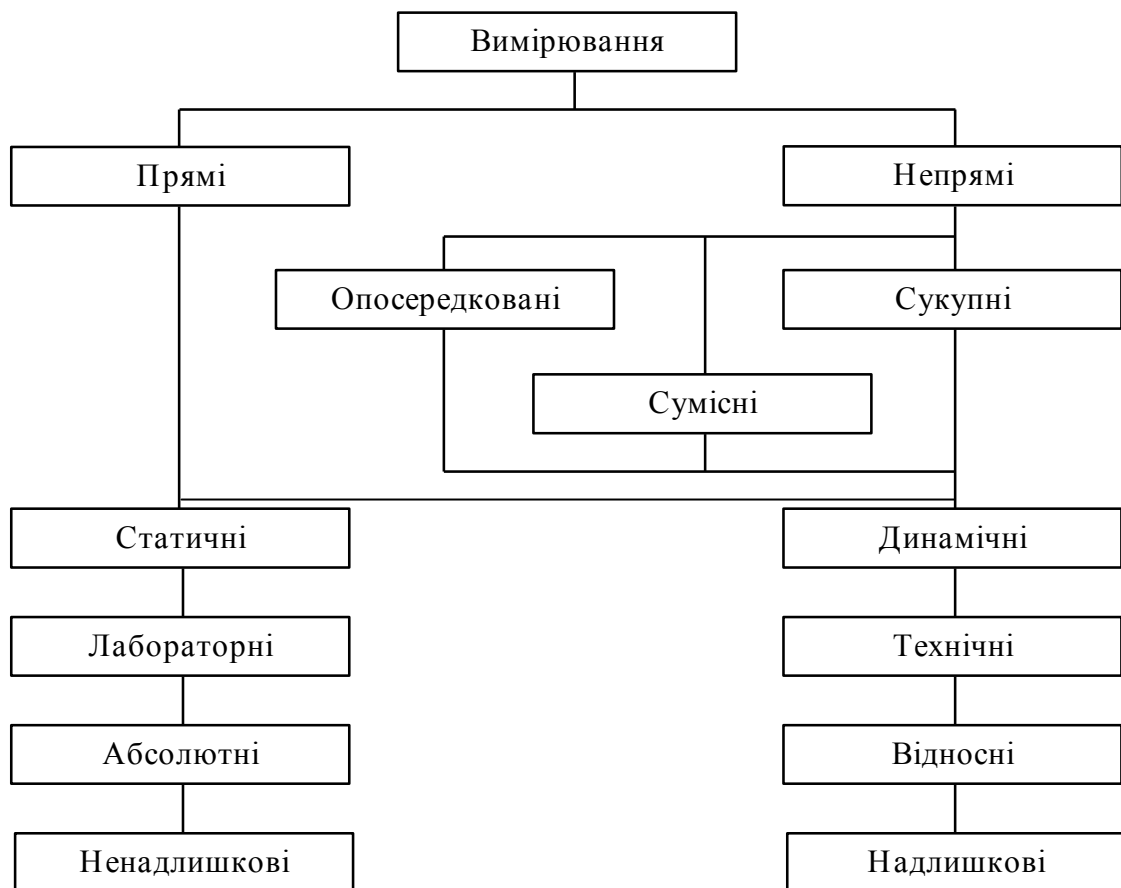


Рисунок 1.2 - Класифікація вимірювань

За відсутністю чи наявністю в процедурі вимірювань перетворення роду вимірюваної ФВ та обчислення її значення за відомими залежностями вимірювання класифікують: **прямі** та **непрямі**.

Пряме вимірювання. Вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей.

Для реалізації прямих вимірювань фізичної величини X необхідно мати компаратор, а також багатозначну міру з відповідним діапазоном зміни значень, чи однозначну міру та масштабний вимірювальний перетворювач. При всіх інших однакових умовах прямим вимірюванням властиві мінімальні похибки.

Непряме вимірювання. Вимірювання, у якого значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо.

Непрямі вимірювання поділяються на **опосередковані, сукупні та сумісні.**

Опосередковане вимірювання. Непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленнями за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функціональною залежністю.

Характерним для опосередкованих вимірювань є функціональне вимірювальне перетворення, яке здійснюється або шляхом фізичного вимірювального перетворення, або шляхом числового вимірювального перетворення. Наприклад, при опосередкованих вимірюваннях потужності постійного струму її визначають чи на основі прямих вимірювань струму та напруги за формулою $P = U \cdot I$, чи на основі фізичного вимірювального перетворення добутку $U \cdot I$ в іншу фізичну величину – аргумент. При автоматичних опосередкованих вимірюваннях прямі вимірювання вхідних величин аргументів та числові вимірювальні перетворення результатів їх вимірювань, з метою знаходження значення опосередковано вимірюваної величини, здійснюється автоматично всередині засобу вимірювання.

Сукупне вимірювання. Непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні поєднання цих величин, які вимірюються прямо чи опосередковано.

Метою сукупних вимірювань є знаходження шляхом числових вимірювальних перетворень значень декількох ФВ за неможливістю їхнього окремого прямого вимірювання. При цьому завдяки усередненню інколи досягається ще й зменшення випадкової похибки вимірювання.

Прикладом сукупних вимірювань може бути вимірювання опору кожного з двох резисторів R_1, R_2 з'єднаних послідовно та паралельно. В

результаті прямого вимірювання омметром послідовно з'єднаних резисторів маємо

$$R_{\text{пос}} = R1 + R2,$$

а сумарна провідність паралельно з'єднаних резисторів становить

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}.$$

З системи з двох рівнянь з двома невідомими, обчислюємо шукані значення сукупно виміряних резисторів $R1, R2$.

Сумісне вимірювання. Непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо чи опосередковано.

Сумісні вимірювання є різновидом вимірювання залежностей.

За призначенням вимірювань для незмінних чи змінних в часі вимірюваних величин їх класифікують на **статичні** та **динамічні** вимірювання.

Статичне вимірювання. Вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання (коли похибкою, що виникає від її зміни, можна знехтувати).

Динамічне вимірювання. Вимірювання величини, що змінюється за час вимірювання.

Вимірювання за ознакою особливостей визначення їх похибок класифікують на **лабораторні** та **технічні**.

Лабораторні вимірювання. Вимірювання, за яких похибки кожного результату вимірювання оцінюють за даними, що одержані при цьому вимірюванні.

Лабораторні вимірювання виконуються висококваліфікованими спеціалістами найчастіше універсальними взірцевими засобами вимірювання в наукових дослідках, в метрологічних дослідженнях еталонів одиниць та при розробці і атестації методик виконання технічних вимірювань.

Технічні вимірювання. Вимірювання, які виконуються в заданих умовах згідно з розробленою та рекомендованою раніше методикою, при цьому похибки вимірювання, які при її проведенні окремо не визначають, повинні бути нижче встановлених нею.

Технічні вимірювання – це вимірювання, які виконуються за атестованими методиками виконання вимірювань за допомогою серійних засобів вимірювань, що повинно забезпечувати заданий рівень похибок.

Технічні вимірювання виконуються фахівцями, в обов'язки яких не входить аналіз похибок результатів вимірювання. Для забезпечення необхідного рівня точності технічних вимірювань при їх проведенні користуються атестованими методиками виконання вимірювань, які розробляють висококваліфіковані спеціалісти – метрологи.

Вимірювання ФВ за наявності або відсутності розмірності у вимірюваних величин поділяють на вимірювання розмірних величин (**абсолютні**) та вимірювання безрозмірних величин (**відносні**).

Вимірювання ФВ за співвідношенням між кількістю вимірюваних величин та кількістю вимірювань поділяють на **ненадлишкові** одноразові та **надлишкові**, які виконуються або одноканально багаторазово, або багатоканально одноразово, зокрема з метою зниження рівня випадкових похибок шляхом усереднення.

1.6 Алгоритм виконання вимірювальної процедури

В умовах науково-технічної революції інформація є одним із національних ресурсів. Суттєву частину інформації складає вимірювальна. Закономірно говорити про індустрію вимірювань, на виконання і обробку яких витрачається чимало коштів. Однак часті випадки, коли великі масиви вимірювальної інформації залишаються необробленими, що призводить до малоефективного використання коштів.

З огляду на сказане особливої важливості набуває проблема правильного вибору оптимальної стратегії виконання вимірювань. При цьому можна виходити з різних критеріїв оптимальності, серед яких відзначимо:

- зменшення сумарних затрат на розв'язання завдання в цілому;
- зменшення часу виконання вимірювань й обробки результатів;
- досягнення максимальної точності і надійності кінцевих результатів.

З цього випливає, що в процесі вимірювання зустрічаються завдання різного характеру і складності. Проте підхід до їх вирішення має багато спільного і може бути зведений до певного алгоритму виконання вимірювань (рис. 1.3).

Для здійснення будь-якого вимірювання необхідно вирішити такі основні проблеми.

Постанова вимірювального завдання. Розв'язуючи цю проблему, перш за все визначають рід вимірюваної величини, діапазон, в якому вона може змінюватись. На цьому ж етапі обґрунтовується точність кінцевого результату. Правильність формулювання поставленого завдання

визначає в кінцевому підсумку якість вимірювань і економічні витрати на їх виконання.

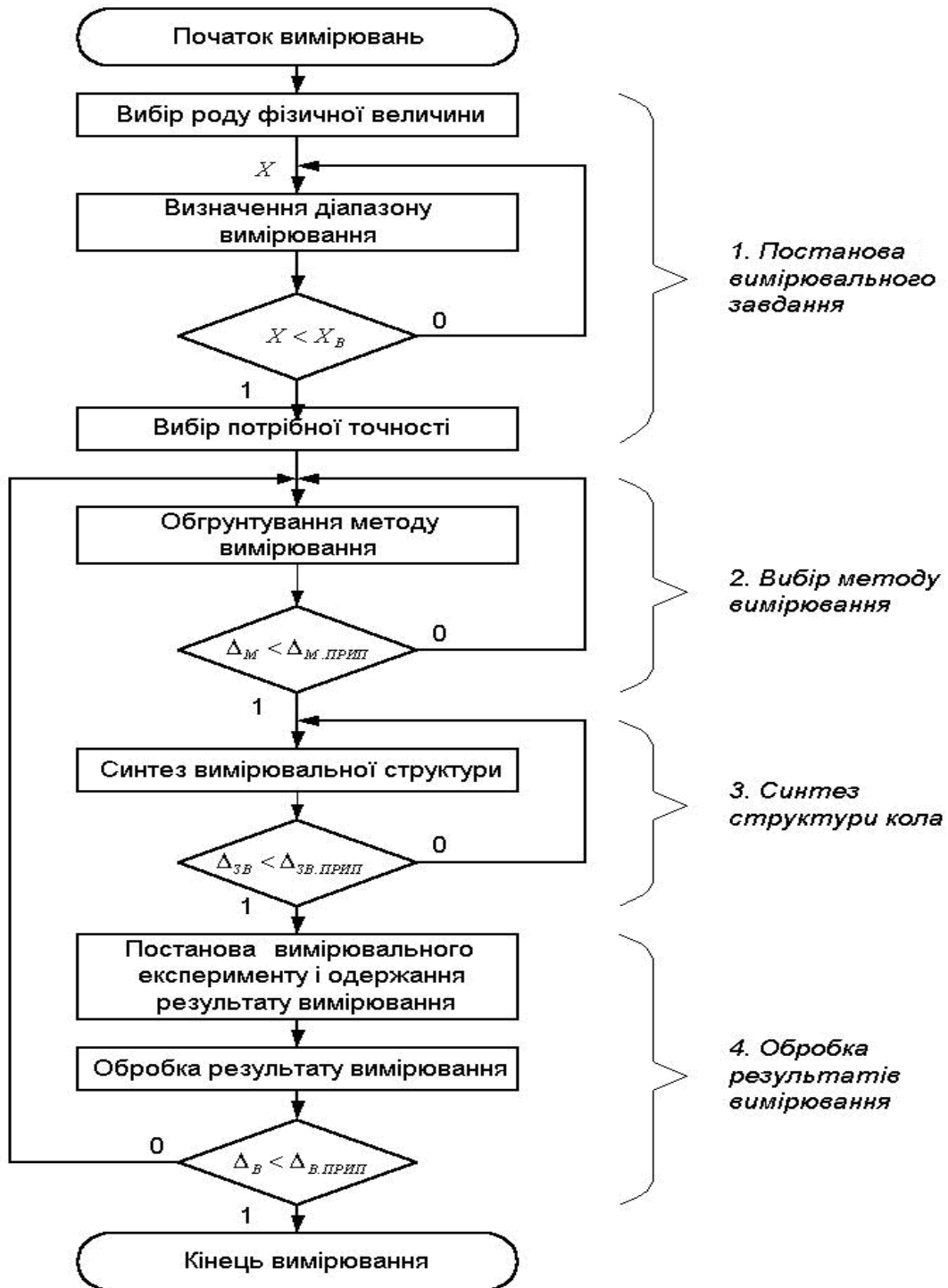


Рисунок 1.3 - Алгоритм виконання вимірювальної процедури

Вибір методу вимірювання. Здійснюється аналізом методичних похибок Δ_M існуючих методів вимірювання. Якщо вибрано метод вимірювання, похибка якого Δ_M буде меншою за деяку припустиму похибку $\Delta_{M.прип}$, то переходять до розв'язання наступної проблеми.

Синтез вимірювальної структури (кола). Один і той самий метод вимірювання може бути реалізований різними способами. Тому дуже важливо правильно вибрати вимірювальну схему і конкретно реалізувати її. В цьому випадку розглядають питання раціональної реалізації засобів вимірювання з точки зору забезпечення необхідних метрологічних характеристик (похибка засобів вимірювання $\Delta_{ЗВ}$; $\Delta_{ЗВ.прип}$), габаритів, маси тощо.

4. Обробка результатів вимірювання. Для широкого класу експериментальних досліджень можна виділити такі етапи обробки результатів вимірювань.

Перший етап. Зчитування (зняття) інформації, перетворення її в цифровий код і запис в запам'ятовувальній пристій мікропроцесора.

Другий етап. Статистична обробка результатів спостереження з оцінюванням ступеня довіри.

Третій етап. Інтерпретація результатів, одержаних на другому етапі обробки. Вона містить, як правило, оцінку шуканих характеристик явища чи об'єкта, що вивчається.

1.7. Засоби вимірювання

Вимірювальний прилад - засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Аналоговий вимірювальний прилад. Вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та покажчика.

Цифровий вимірювальний прилад. Вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається у вигляді цифр чи символів на показувальному пристрої.

Аналого-цифровий перетворювач. Засіб вимірювань, в якому створюється кодовий сигнал вимірювальної інформації.

Реєструвальний засіб вимірювання. Засіб вимірювання, в якому реєструється сигнал вимірювальної інформації.

Вимірювальний канал. Сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначених для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину.

Вимірювальна система. Сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації про декілька фізичних величин.

Вимірювальна інформаційна система. Сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації.

1.8 Методи вимірювань

«Знання основних методів та принципів з лихвою окупає незнання багатьох фактів» - Гельвецій.

Аналіз методів вимірювання - один з основних розділів метрології, тому для одержання досить повної картини методів вимірювання їх необхідно строго визначити, класифікувати за суттєвими класифікаційними ознаками, подати структури для їх реалізації (рис.1.4).

Метод вимірювання - сукупність способів використання засобів виміральної техніки та принципу вимірювань для створення виміральної інформації.

Серед різних видів вимірювань ФВ найточнішими за інших рівних умов є пряме вимірювання, тому насамперед детально розглянемо класифікацію методів прямих вимірювань.

Метод зіставлення. Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри.

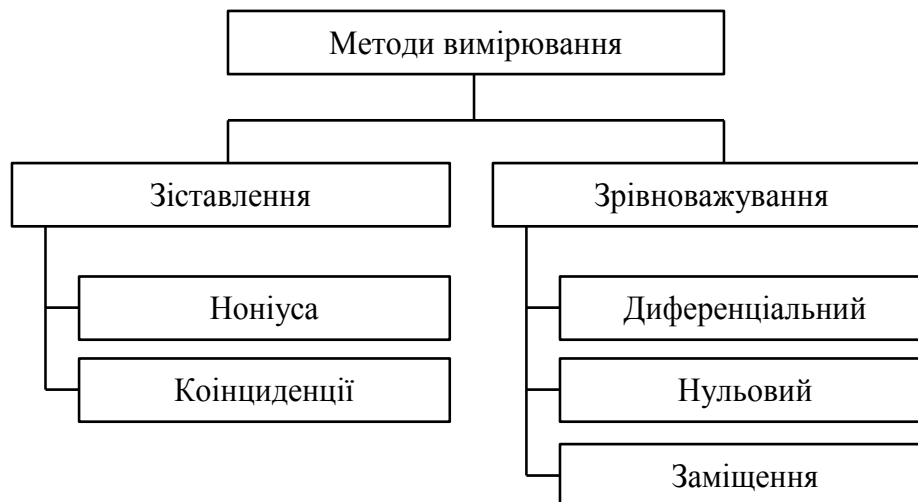


Рисунок 1.4 - Основні методи вимірювання

Прикладами даного методу є вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником.

Цей метод, зокрема, забезпечує максимальну швидкість вимірювання електричної напруги та механічних переміщень. Його покладено в основу побудови цифрових хронометрів, частотомірів, швидкодійних цифрових вольтметрів, цифрових вимірювачів індуктивності.

Метод одного збігу (метод ноніуса). Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір з різними за значенням ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на вимірювану величину.

При вимірюванні нульові відмітки мір зсувають на вимірювану величину X , а потім визначають її числове значення за номером найближчої відмітки, що збігається. Таким чином, завдяки надлишковості методу ноніуса (замість однієї багатозначної нерегульованої міри використовуються дві), ступінь квантування «зменшується» в n разів. Це можна трактувати також як «збільшення» розміру величини X в n разів. Метод ноніуса використовується тоді, коли неможливо створити міру з надто малими ступенями (наприклад лінійку з поділками 0.1 мм).

Метод подвійного збігу (метод коінциденції). Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою.

Метод зрівноваження. Метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюваної величини та величини, що відтворюється мірою, яка регулюється, до їх повного зрівноваження.

Диференціальний метод (різницевий метод). Метод вимірювання, за яким невелика різниця між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри вимірюється відповідним засобом вимірювання.

В загальному випадку значення вимірюваної величини X може відрізнитися від величини X_N , що відтворює міра (М). Тоді різницю $\Delta X = X - X_N$ отримують на виході пристрою порівняння (ПП) і вимірюють за допомогою засобу вимірювання (ЗВ) (рис. 1.5), а значення невідомої величини визначається

$$X = X_N + \Delta X \begin{cases} X_N = \text{cons} \\ \Delta X = \text{var} \end{cases} .$$

В цьому випадку зрівноваження вимірюваної величини X і X_N виконується не повністю. Диференціальний метод забезпечує високу точність вимірювання, якщо зразкова величина X_N відтворюється мірою з високою точністю, а різниця ΔX мала.

Застосування непрямих вимірювань як більш складних, останнім часом значно поширилось. Розглянемо коротко особливості цих методів.

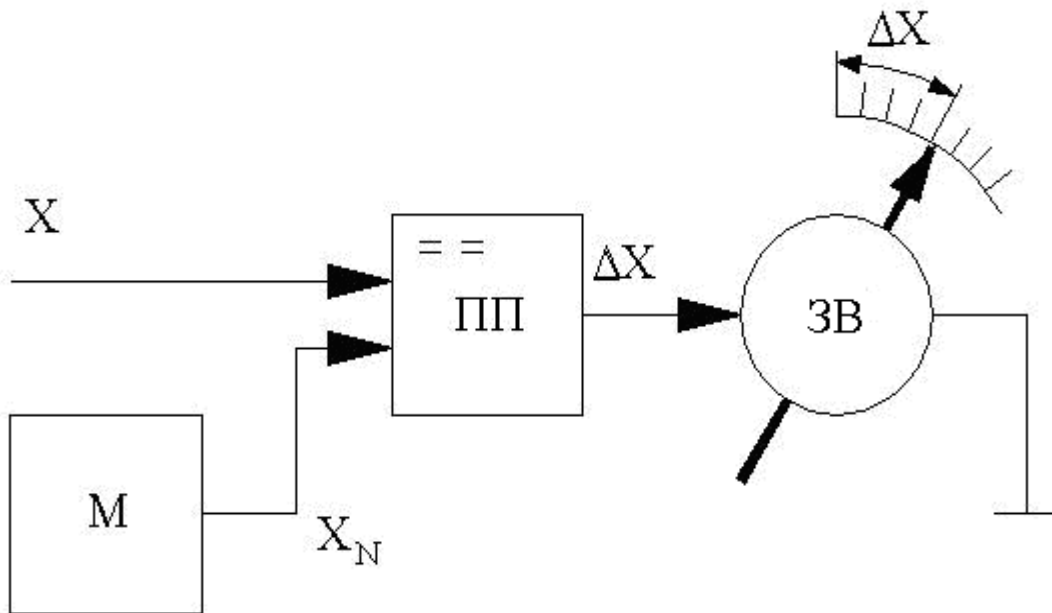


Рисунок 1.5 - Структурна схема диференціального методу

Окремим випадком диференціального методу є *нульовий*. В нульовому методі величину X_N , що відтворює міра, роблять регульованою, а різницю $\Delta X = X - X_N = 0$ доводять до нуля. Високочутливий засіб вимірювання (нуль-індикатор) в цьому методі фіксує момент рівності $X = X_N$ (рис.1.6). Прикладом нульового методу є вимірювальні мости, які будуть розглянуті у розділі 4.

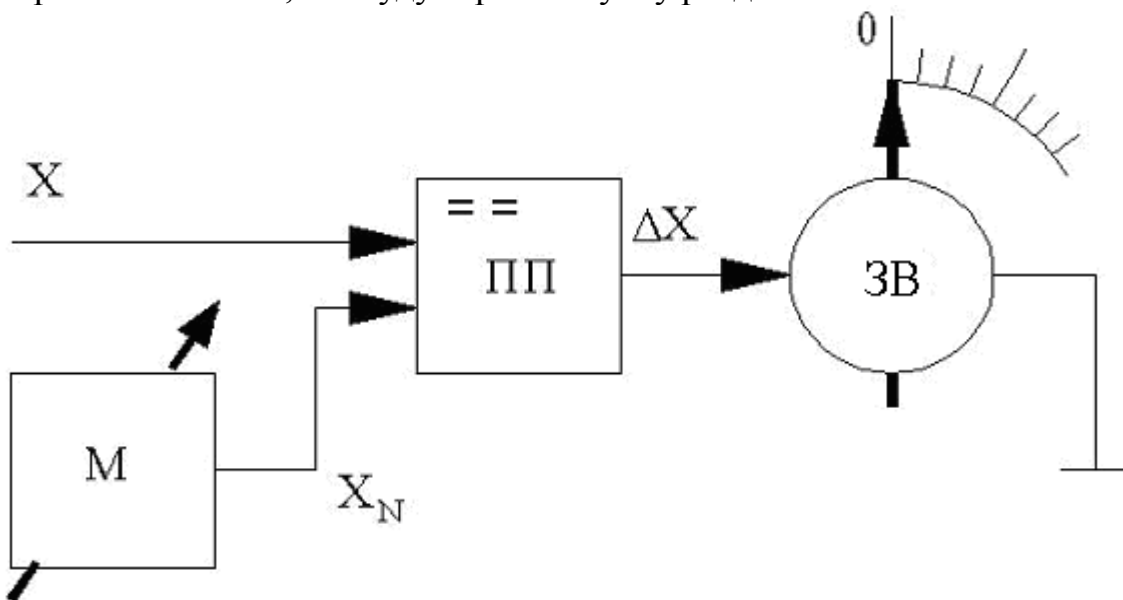


Рисунок 1.6 - Структурна схема нульового методу

Перший метод непрямого опосередкованого вимірювання полягає у використанні перетворення вимірюваної величини X в іншу фізичну величину, для якої створені засоби вимірювання.

Другий метод непрямого опосередкованого вимірювання в якому також використано вимірювальний перетворювач роду вимірюваної величини є метод заміщення.

Метод заміщення. Метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри.

Даний метод доцільно застосовувати у тому випадку, коли для величини X не створені компаратори, але створені регульовані одноканальні міри (M). Метод реалізується за два етапи (рис.1.7). На першому етапі на вхід вимірювального перетворювача ($ВП_1$) подається невідома величина X і запам'ятовується аналоговим запам'ятовуючим пристроєм ($АЗП$). На другому етапі на $ВП_1$ подається зразкова величина від регульованої міри. Тут, як і в нульовому методі, різницю $\Delta X = 0$ доводять до нуля за допомогою регульованої міри, а значення вимірюваної величини визначають за значенням регульованої міри в момент рівності $X = X_N$.

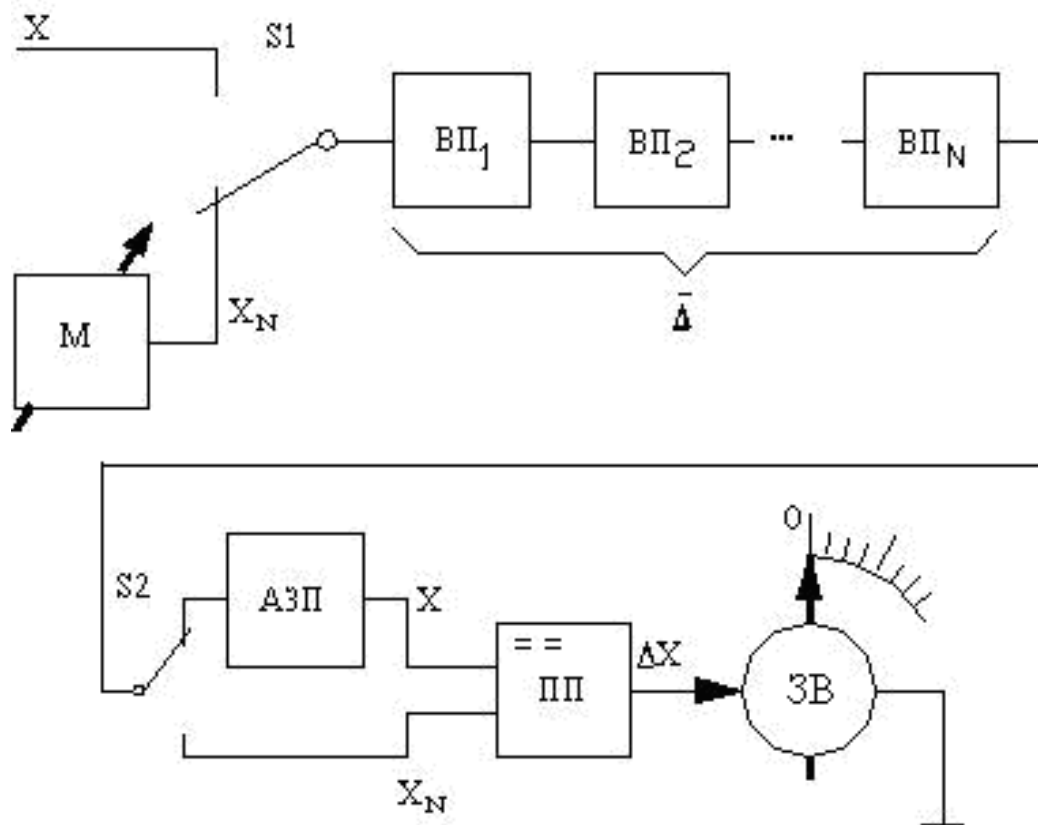


Рисунок 1.7 - Структурна схема методу заміщення

2 ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

2.1 Класифікація похибок вимірювання

Похибки вимірювань класифікують за трьома основними класифікаційними ознаками - за **способом вираження**, за **характером зміни**, за **місцем виникнення**. Класифікація похибок вимірювань наведена на рис.2.1.



Рисунок 2.1 - Класифікація похибок вимірювання

За способом вираження похибки поділяються на **абсолютні** та **відносні**. Класична метрологія виходить з позиції, що результат вимірювання завжди відрізняється від істинного значення вимірюваної величини. Тому під час вимірювань фізичної величини (ФВ) виникає похибка, яка дорівнює різниці між вимірним значенням X фізичної величини та її істинним X_I значенням

$$\Delta X = X - X_I. \quad (2.1)$$

Істинне значення. Значення фізичної величини, яке ідеально відобразило б певну властивість об'єкта.

Визначити істинне значення величини вимірюванням неможливо через обмежені можливості засобів вимірювань. Однак існують величини, істинне значення яких відоме апіорі, наприклад, один повний оберт дорівнює 2π радіанів або 360^0 . Раніше відмічена неможливість визначення

істинного значення є наслідком принципової недосконалості відображення при вимірюванні та причиною неминучості похибки вимірювання. Оскільки істинне значення ФВ нам за умовою невідоме, то похибку вимірювання з останнього рівняння визначити неможливо. Для визначення похибки істинне значення ФВ замінюють дійсним - X_d .

Дійсне значення. Значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети.

Тоді похибка вимірювання буде визначатись через дійсне значення.

Абсолютна похибка вимірювання. Різниця між результатом вимірювання і дійсним значенням вимірюваної величини

$$\Delta X = X - X_d. \quad (2.2)$$

Абсолютною дану похибку назвали тому, що вона виражена в абсолютних одиницях вимірюваної величини.

На практиці дійсне значення ФВ може бути знайдено за допомогою багаторазових вимірювань з наступним усередненням результатів спостережень і поданням цього середнього в якості дійсного або за допомогою зразкового засобу вимірювання. Якщо абсолютну похибку взяти з протилежним знаком і алгебрично додати до результату вимірювання, то можна ввести поправку в результати вимірювання.

$$\Delta q = - \Delta X. \quad (2.3)$$

Поправка - значення величини, що алгебрично додається до результату вимірювання з метою вилучення систематичної похибки.

У багатьох випадках числове значення абсолютної похибки не дає правильного уявлення про точність вимірювання, ступінь достовірності одержаного результату. Тому введено більш універсальну характеристику точності у вигляді відносної похибки.

Відносна похибка вимірювання. Відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_d} = \frac{X - X_d}{X_d}. \quad (2.4)$$

Відносна похибка може виражатися не тільки у відносних величинах, але й у відсотках

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_d} \cdot 100\% = \frac{X - X_d}{X_d} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

Аналіз останніх двох рівнянь дозволяє дійти висновку, що чим менша похибка вимірювання, тим вища його точність, отже, тим менша

різниця між істинним значенням ФВ і результатом її вимірювань. Із збільшенням похибки зменшується точність.

Точність вимірювання. Головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Кількісно точність Θ вимірювання визначається як величина, обернена до відносної похибки

$$\Theta = \frac{1}{\delta} = \frac{X_D}{X - X_D}. \quad (2.6)$$

Крім точності вимірювань на практиці застосовують також такі характеристики якості вимірювань: **правильність, збіжність та відтворюваність** вимірювань.

Правильність вимірювань. Характеристика якості вимірювання, що відображає близькість до нуля систематичної похибки вимірювання.

Збіжність результатів вимірювання. Характеристика якості вимірювань, що відображає близькість повторних результатів вимірювань однієї й тієї ж величини в однакових умовах.

Відтворюваність вимірювань. Характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань однієї й тієї ж величини, виконаних в різний час, в різних умовах, різними методами і засобами.

Розрізняють **надмірну похибку і промах**.

Надмірна похибка. Похибка вимірювання, що суттєво перебільшує очікувану (в даних умовах) похибку.

Промач. Результат вимірювання, що має надмірну похибку.

За характером зміни похибки вимірювання поділяють на **систематичні і випадкові**.

Систематична похибка. Складова похибки $\bar{\Delta}$, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

Випадкова похибка. Складова похибки $\overset{\circ}{\Delta}$, що непрогнозовано змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

У загальному випадку похибка результату вимірювання містить систематичну і випадкову складові, навіть якщо було введено поправки на систематичні похибки, викликані відомими факторами впливу. Пояснюється це, по-перше, тим, що значення факторів не залишаються в процесі вимірювання постійними, а по-друге, тим, що на результат вимірювання впливають фактори, дія яких у даному експерименті не

передбачалася, або ж фактори, дію яких неможливо врахувати. Оскільки у похибку вимірювання входить випадкова складова, то її слід вважати величиною випадковою. Значення повної похибки вимірювання для будь-якого моменту часу визначається

$$\Delta = \bar{\Delta} + \overset{0}{\Delta}. \quad (2.7)$$

Використовуючи апарат підсумовування часткових похибок випадкового характеру і часткових похибок систематичного характеру, можна оцінити похибку вимірювання.

Систематичні похибки в свою чергу поділяються за **причиною виникнення** та за **характером зміни у часі**. За причиною виникнення систематичні похибки поділяються на **інструментальні, методичні, суб'єктивні**, похибки **встановлення**.

Похибки встановлення. До них належать такі, прояви яких зумовлені неправильним застосуванням міри: встановлення приладу з нахилом або відхилення зовнішніх умов від нормальних (наявність зовнішніх полів, відхилення температури від нормальної тощо).

Суб'єктивні похибки проявляються в результаті особливостей самого спостерігача. Наприклад, при підрахунку поділок шкали різні люди по-різному оцінюють одне і те саме положення стрілки. Один схильний завжди занижувати показання, інший - завищувати їх.

Методичні похибки виникають через недоліки самого методу вимірювання або через неточність застосованих спрощених формул. Скажімо, при непрямому вимірюванні площі перерізу круглого стержня прямим вимірюванням діаметра з наступним обчисленням площі $S = \pi d^2/4$ результат буде із систематичною методичною похибкою через обмежене число знаків після коми числа π .

Інструментальні похибки властиві усім вимірювальним приладам і мірам. Ці похибки виникають у результаті допущених при виготовленні і градуванні засобів вимірювання, порушень технології при нанесенні міток на шкали стрілкових приладів, за рахунок різних відхилень при підганянні дійсних значень фізичної величини до номінального.

За характером зміни у часі систематичні похибки поділяються на **постійні, прогресивні, періодичні**.

Постійні похибки. До них належать такі, які тривалий час залишаються незмінними і протягом вимірювального експерименту є постійними.

Прогресивні похибки. Це такі похибки, які в процесі даної серії вимірювань безперервно зростають або зменшуються, тобто є функцією часу.

Періодичні похибки. До їх числа належать систематичні похибки, значення яких є періодичною функцією або часу, або самої вимірюваної величини.

За місцем виникнення похибки вимірювання розподіляються на **інструментальні і методичні.**

Інструментальна похибка. Складова похибки вимірювання, зумовлена властивостями засобів вимірювальної техніки.

Методична похибка. Складова похибки вимірювання, що зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятої при вимірюванні.

Інструментальна похибка складається з **похибки засобів вимірювання** та похибки від їх **взаємодії** з об'єктом вимірювання.

Похибка від взаємодії. Складова інструментальної похибки, що виникає внаслідок впливу засобів вимірювальної техніки на стан об'єкта вимірювання.

Похибка засобів вимірювальної техніки. Складова інструментальної похибки, що виникає внаслідок наявності похибки певного засобу вимірювання.

Похибки засобів вимірювальної техніки в свою чергу поділяються на **абсолютні, відносні та зведені, систематичні та випадкові, адитивні, мультиплікативні і нелінійні, основні і додаткові, статичні і динамічні.**

Абсолютною похибкою засобу вимірювань називають різницю між показом засобу вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювань з об'єктом вимірювання

Відотною похибкою засобу вимірювань називають відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до істинного значення вимірюваної величини

Зведеною похибкою засобу вимірювань називають відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до нормованого значення

Основна похибка - похибка засобу вимірювальної техніки за нормальних умов його використання.

Додаткова похибка - похибка засобу вимірювальної техніки, яка додатково виникає під час використання засобу вимірювань в умовах відхилення хоча б однієї з впливних величин від нормального значення або її виходу за границі нормальної зони значень.

Адитивна - складова абсолютної похибки засобу вимірювальної техніки, яка не залежить від вимірюваної величини.

Мультиплікативна - складова похибки засобу вимірювальної техніки, яка пропорційна вимірюваній величині.

Нелінійна - складова похибки засобу вимірювальної техніки, яка нелінійно залежить від вимірюваної величини.

Систематична похибка засобу вимірювання – складова похибки засобу вимірювання, яка є постійною під час проведення вимірювань або змінюється за певним законом.

Випадкова похибка засобу вимірювання – складова похибки засобу вимірювання, яка під час проведення вимірювань змінюється випадково.

Динамічна похибка - складова похибки, що виникає додатково до статичної під час динамічних вимірювань.

Статична похибка – похибка засобу вимірювання, що виникає при проведенні статичних вимірювань.

2.2 Випадкові похибки вимірювань

При проведенні вимірювань разом з детермінованими процесами виникають стохастичні процеси, для яких не можна передбачити ступінь їхньої дії і характер ФВ, що впливає на результат вимірювань. При оцінюванні значення ФВ, що вимірюється, говорять не про одне її фіксоване значення, а про область, у якій можуть знаходитися значення вимірюваної ФВ. Отже, при повторних вимірюваннях через зміну характеру і інтенсивності впливних ФВ, кожен раз буде з'являтися новий результат вимірювання.

Тому результати вимірювань слід розглядати як випадкові величини, які підкоряються певним закономірностям, що з'ясовуються при обробці ряду результатів багатократних вимірювань. Одержані результати відносяться до випадкових величин і характер їх поведінки описується теорією ймовірностей і математичної статистики.

Проведемо ряд вимірювань фізичної величини X . Під дією випадкових похибок одержимо n дещо відмінних один від одного результатів, що займуть деякий діапазон значень. Розіб'ємо весь інтервал значень на декілька піддіапазонів, що мають досить малі кроки квантування. Можна згрупувати результати вимірювань у ці піддіапазони, кожний із яких буде характеризуватися кількістю результатів вимірювань, що ввійшли до них. На основі отриманих результатів побудуємо гістограму розподілу результатів вимірювань у вигляді, зображеному на рис. 2.2. Висота прямокутників визначається частотою p появи результатів у кожному піддіапазоні. При зменшенні ширини інтервалів до нуля гістограма перейде в плавну криву, яка називається кривою щільності розподілу імовірностей (рис. 2.3).

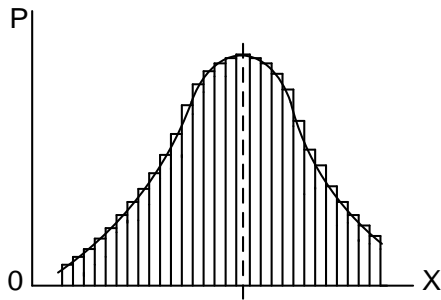


Рисунок 2.2 - Гістограма розподілу

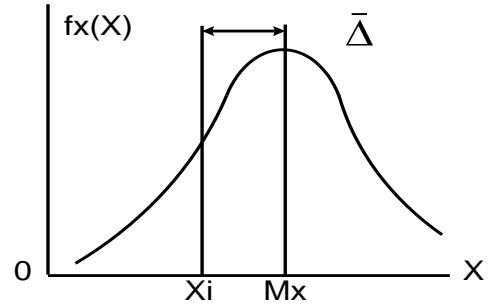


Рисунок 2.3 - Крива щільності розподілу

Центр розподілу результатів вимірювання називається **математичним сподіванням** M_x величини X і наближається, якщо немає систематичної похибки $\bar{\Delta}$, до істинного значення вимірюваної фізичної величини X_i .

Якщо змінити умови вимірювань і застосувати інші ЗВ, то форма гістограми і кривої щільності розподілу змінюється. У випадку застосування більш точного ЗВ крива підніметься в центрі і буде швидше спадати при віддаленні від нього і, навпаки, вона зменшиться в центрі, збільшиться розмах коливань результатів вимірювань, коли буде використано менш точний ЗВ.

Припустимо, що виконано ряд із n рівноточних вимірювань величини X . Вважаючи (рис. 2.4), що число вимірювань, укладених в інтервалі від X до $X + dx$, пропорційне числу вимірювань n , знайдемо число результатів dn , які увійшли в інтервал dx :

$$dn = n f_x(x) dx. \quad (2.8)$$

У (2.8) невідомою є $f_x(x)$ – висота заштрихованого стовпця, що називають щільністю розподілу ймовірностей випадкової величини X , тобто щільністю розподілу результатів вимірювань.

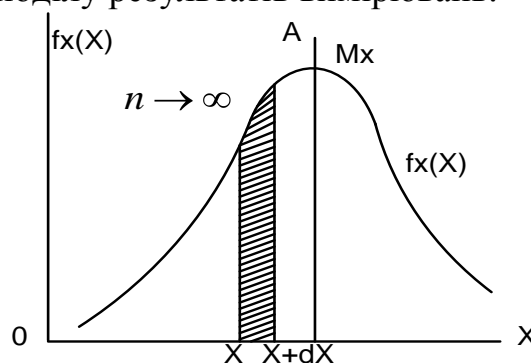


Рисунок 2.4 - Щільність розподілу результатів вимірювання

Перетворимо (2.8) до вигляду

$$\frac{dn}{n} = f_x(x) dx. \quad (2.9)$$

Новий вираз (2.9) показує імовірність появи результатів вимірювань в інтервалі dx . Функція $f_x(x)$ може змінюватись за будь-яким законом. З її

допомогою можна знайти імовірність P того, що результати вимірювань потраплять в інтервал від X_H до X_B , для чого диференціал імовірності $\frac{dn}{n}$ необхідно проінтегрувати:

$$P = \int_{X_H}^{X_B} f_x(x) dx, \quad (2.10)$$

де X_H, X_B - нижня і верхня межа інтервалу.

Імовірність попадання результатів вимірювання величини X в діапазоні з нижньою X_H і верхньою X_B межами можна записати так:

$$P(X_H < X < X_B) = \int_{X_H}^{X_B} f_x(x) dx. \quad (2.11)$$

Ліва частина цього виразу показує тільки імовірність події, що знаходиться в діапазоні від X_H до X_B . Права частина також показує імовірність цієї події, але додатково ще вказує щільність розподілу імовірності. Права частина (2.11) більш повна, ніж ліва. Тому ліву частину можна назвати неповною формою подання результатів вимірювання.

Нормальний закон розподілу. Якщо випадкова похибка є результатом впливу більш ніж чотирьох впливних ФВ, рівновеликих і незалежних, які викликають похибки, що мають довільні закони розподілу, то закон розподілу випадкової композиційної похибки наближається до так званого нормального закону розподілу ймовірностей.

Нормальний закон розподілу похибок має такі дві властивості:

- число позитивних похибок дорівнює числу негативних (розподіл симетричний);
- малі похибки зустрічаються частіше, ніж великі, поява дуже великих похибок - малоймовірна подія.

Нормальний закон розподілу називають також **законом Гауса**. Щільність розподілу імовірності подається формулою

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x - M_x}{2\sigma^2}\right) \quad (2.12)$$

де σ - середнє квадратичне відхилення (СКВ) випадкової величини X .

Координатою центра ваги фігури, яка обмежена кривою щільності розподілу і віссю абсцис (див. рис. 2.4), **буде математичне сподівання** M_x розглянутої сукупності випадкових величин X , яким є ряд результатів рівноточних повторних вимірювань.

Якщо вилучити з M_x істинне значення вимірюваної величини X_I , то одержимо значення систематичної похибки:

$$\bar{\Delta} = M_x - X_I \quad (2.13)$$

Систематична похибка $\bar{\Delta}$ в цьому випадку розглядається як постійна величина. Якщо $\bar{\Delta} = 0$, то $M_x = X_I$, і математичне сподівання збігається з істинним значенням ФВ, що вимірюється.

Значення випадкових похибок $\overset{\circ}{\Delta}_i$, що входять у результат i -го вимірювання, можна одержати з виразу

$$\overset{\circ}{\Delta}_i = X_I - M_x. \quad (2.14)$$

Виходячи з цієї залежності, можна, віднімаючи від результатів повторних вимірювань (X_1, X_2, \dots, X_i) значення математичного сподівання M_x , одержати новий ряд випадкових похибок $\overset{\circ}{\Delta}_1, \overset{\circ}{\Delta}_2, \dots, \overset{\circ}{\Delta}_i$. Цей ряд має щільність розподілу, що за формою збігається з розподілом величини X . Його центр буде зміщеним по осі абсцис на величину, рівну M_x . Аналітичний вираз для кривої, наведеної на рис. 2.5, буде мати вигляд

$$f_{\Delta}^{\circ}(\overset{\circ}{\Delta}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\overset{\circ}{\Delta}^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.15)$$

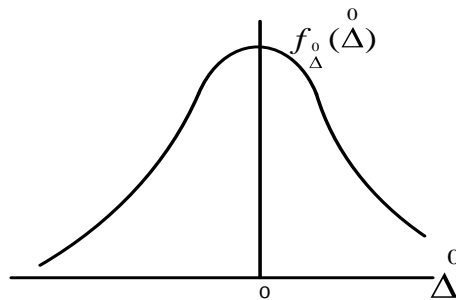


Рисунок 2.5 - Розподіл величини

Імовірність перебування похибки в інтервалі від $\overset{\circ}{\Delta}_H$ до $\overset{\circ}{\Delta}_B$ буде визначатися виразом

$$P(\overset{\circ}{\Delta}_H < \overset{\circ}{\Delta} < \overset{\circ}{\Delta}_B) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\overset{\circ}{\Delta}_H}^{\overset{\circ}{\Delta}_B} \exp\left(-\frac{\overset{\circ}{\Delta}^2}{2\sigma^2}\right) d\overset{\circ}{\Delta} \quad (2.16)$$

Формулу закону Гауса часто видозмінюють, ввівши нормовану безрозмірну величину $g = \overset{\circ}{\Delta}/\sigma$:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-g}^g \exp\left(-\frac{g^2}{2}\right) dg \quad (2.17)$$

Цей інтеграл не виражається через елементарні функції. Для зручності він був протабульований математиком Фішером, що склав таблиці для значень інтеграла:

$$\Phi(g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^g \exp\left(-\frac{g^2}{2}\right) dg. \quad (3.18)$$

У деяких таблицях доводиться подвоєне значення $\Phi(g)$. У якості нормованої безрозмірної величини взята величина, рівна g , що виражається через межі довірчого інтервалу $\pm a$, так що $g = \frac{a}{\sigma}$.

Інтеграл $\Phi(g)$ називають нормованою функцією Лапласа. Для крайніх значень справедливі такі рівності:

$$\Phi(-\infty) = -0,5; \quad \Phi(0) = 0; \quad \Phi(\infty) = 0,5.$$

Значення інтеграла $\Phi(g)$ наводяться у довідниках з математики.

Розглянемо деякі особливості нормального розподілу похибок. На рис. 2.6 наведено криву нормального розподілу.

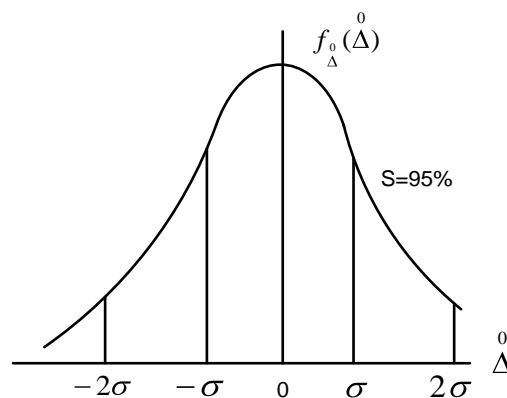


Рисунок 2.6 - Крива нормального розподілу

Якщо вважати, що вся площа між кривою щільності розподілу і віссю абсцис дорівнює 100%, то площа, обмежена кривою і вертикалями, проведеними через точки зі значеннями $a = \pm 2\sigma$, буде дорівнювати 95%. Поза цією площею будуть похибки інших 5% результатів. Між кривою і вертикалями, проведеними через точки $a = \pm 3\sigma$, і віссю абсцис, буде знаходитися 99,73% площі. З цього випливає, що якщо $a = \pm 3\sigma$, то імовірність попадання похибки результатів вимірювань в цьому інтервалі буде дорівнювати $P=0,9973$.

Довірчим інтервалом називається інтервал, в який похибка попадає з наперед заданою імовірністю.

Так для нормального закону розподілу для $P = 0,9973$ довірчий інтервал дорівнює $\pm 3\sigma$.

Середнє арифметичне значення результатів багаторазових вимірювань. Подамо i -й результат вимірювання у вигляді

$$X_i = X_I + \bar{\Delta} + \overset{0}{\Delta}_i \quad (2.19)$$

Якщо провести n повторних вимірювань і знайти їх суму, то середнє арифметичне значення ряду результатів подається виразом

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = X_I + \bar{\Delta} + \frac{\sum_{i=1}^n \overset{0}{\Delta}_i}{n}. \quad (2.20)$$

Як видно з цього виразу, середнє арифметичне значення ряду вимірювань \bar{X} буде містити X_I , систематичну похибку і усереднену випадкову складову похибки. При збільшенні числа n , коли $n \rightarrow \infty$, усереднена випадкова похибка

$$\frac{\sum_{i=1}^n \overset{0}{\Delta}_i}{n} \rightarrow 0 \quad \text{і} \quad \bar{X} = X_I + \bar{\Delta}. \quad (2.21)$$

Якщо $\bar{\Delta} = 0$, то тоді $\bar{X} \rightarrow X_I$. З цього випливає, що середнє арифметичне значення ряду вимірювань при збільшенні їх кількості прямує до істинного значення вимірюваної величини X_I або до її математичного сподівання:

$$\bar{X} = X_I = M_x \quad (2.22)$$

У звичайних умовах, коли $n \neq \infty$, ми маємо тільки оцінку математичного сподівання, і в якості такої оцінки приймається середнє арифметичне \bar{X} .

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) результатів вимірювання. В функції розподілу імовірності для нормального закону розподілу є символ σ , що називається середнім квадратичним відхиленням. Середнє квадратичне відхилення визначається виразом

$$\sigma = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\overset{0}{\Delta}_i \right)^2}{n}} \quad (2.23)$$

Однак практичне визначення за формулами $\overset{0}{\Delta}_i = X_i - X_I$ і $\overset{0}{\Delta}_i = X_i - M_x$ неможливе, тому що невідомі ні значення X_I , ні математичне

сподівання M_x . Тому доводиться скористатися середнім арифметичним значенням. Тоді значення СКВ визначається

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.24)$$

Знайдене значення СКВ характеризує будь-яке разове вимірювання, що входить у ряд значень $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$.

Середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного значення результатів вимірювань. Відзначено, що при одержанні виразу для середнього арифметичного значення вимірюваної величини \bar{X} відбувається усереднення випадкових похибок. Тому \bar{X} характеризується своїм СКВ S , що обчислюють за формулою

$$\sigma(\bar{X}) = S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (2.25)$$

тобто при збільшенні числа вимірів у n разів СКВ S \bar{X} зменшиться в \sqrt{n} разів.

2.3 Випадкова похибка при непрямих вимірюваннях

Непрямі вимірювання складаються із власне прямих вимірювань ФВ X_1, X_2 і X_n , які називаються вимірюваними аргументами, і розрахунків, при яких знаходять шукану величину Z і параметри її точності. Шукана величина Z має такий зв'язок з вимірюваними аргументами:

$$Z = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (2.26)$$

Розглянемо найбільш простий випадок непрямих вимірювань, коли є лінійна залежність між шуканою величиною Z і вимірюваними аргументами. Припустимо, що всі вимірювані аргументи не взаємозалежні, вони некорельовані. Припустимо, також, що при проведенні вимірювань виникнули тільки випадкові похибки, а систематичні похибки виключені. У цьому випадку:

$$Z_I + \overset{\circ}{\Delta} = \varphi(X_{1I} + \overset{\circ}{\Delta}_1; X_{2I} + \overset{\circ}{\Delta}_2; \dots; X_{nI} + \overset{\circ}{\Delta}_n), \quad (2.27)$$

де Z_I - істинне значення шуканої ФВ;

$X_{1I}, X_{2I}, \dots, X_{nI}$ - істинні значення вимірюваних аргументів.

Щоб оцінити $\overset{\circ}{\Delta}$, розкладемо попередній вираз в ряд Тейлора і після спрощень отримаємо

$$\overset{\circ}{\Delta} = m_1 \overset{\circ}{\Delta}_1 + m_2 \overset{\circ}{\Delta}_2 + \dots + m_i \overset{\circ}{\Delta}_i. \quad (2.28)$$

де значення m_1, m_2, \dots називають коефіцієнтами впливу похибки прямого вимірювання на сумарну похибку непрямого вимірювання, їх визначають за формулою

$$m_i = \frac{\partial Z}{\partial X_i}. \quad (2.29)$$

Розглянемо подальшу методичку обробки результатів непрямих вимірювань, застосовувану головним чином для випадків, коли є нормальний розподіл щільності результатів.

При багаторазових вимірюваннях значення кожного аргументу знаходимо як середнє арифметичне значення

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ki}}{n_k}. \quad (2.30)$$

Значення шуканої величини знаходимо за формулою

$$Z = \varphi(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n). \quad (2.31)$$

Вважаючи, що розподіл похибок у всіх аргументів підпорядкований нормальному закону, визначаємо СКВ кожного аргументу.

$$\bar{S}_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ki} - \bar{X}_k)^2}{n_k(n_k - 1)}}. \quad (2.32)$$

Визначаємо коефіцієнти впливу кожного аргументу:

$$m_k = \frac{\partial Z}{\partial \bar{X}_k}. \quad (2.33)$$

Нарешті, СКВ для Z можна знайти за формулою

$$\bar{\sigma}_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_1}\right)_{X_1=\bar{X}_1}^2 \bar{S}_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_2}\right)_{X_2=\bar{X}_2}^2 \bar{S}_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_k}\right)_{X_k=\bar{X}_k}^2 \bar{S}_{X_k}^2}. \quad (2.34)$$

Вважаємо, що закон розподілу сумарної похибки Z також буде нормальний.

Теоретичне визначення середньоквадратичного відхилення та математичного сподівання. Вищевказані вирази застосовуються при

обробці результатів експериментальних даних. У випадку, коли відомий аналітичний вираз для закону розподілу випадкової величини, її математичне сподівання

$$M_x = \int_{-\infty}^{\infty} X \cdot p(X) dX, \quad (2.35)$$

де $p(X)$ – аналітичний вираз закону розподілу випадкової величини X .

Середнє квадратичне відхилення цієї величини

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (X - M_x)^2 \cdot p(X) dX}. \quad (2.36)$$

Композиція законів розподілу. Особливості законів розподілу випадкових похибок вимірювань полягають в їх великій кількості. Дана обставина пояснюється тим, що результуюча похибка засобу вимірювальної техніки є сумою декількох складових. Якщо ці складові розглядати як випадкові величини, то підсумовування складових похибок зводиться до підсумовування випадкових величин. Але під час підсумовування випадкових величин закон їх розподілу суттєво змінює свою форму.

Закон розподілу суми незалежних випадкових величин $p(x)$, що мають відповідні розподіли $p_1(x)$ і $p_2(x)$, називається композицією і подається інтегралом згортки

$$p(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p_1(z) \cdot p_2(x - z) dz. \quad (2.37)$$

2.4 Обробка результатів вимірювань з використанням розподілу Ст'юдента

У випадку, коли вимірювана величина розподілена за нормальним законом і немає можливості провести багаторазові вимірювання, використовують розподіл Ст'юдента. Якщо число вимірювань $n \leq 30$, то довірчий інтервал Δ_d випадкової похибки при заданих ймовірності P і середньому квадратичному відхиленні середнього арифметичного $\bar{\sigma}(\bar{X})$ визначається за формулою Ст'юдента

$$\Delta_d = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}(\bar{X}), \quad (2.38)$$

де k_t - коефіцієнт розподілу Ст'юдента, який залежить від заданої ймовірності P і числа вимірювань n .

Значення $\bar{\sigma}(\bar{X})$ знаходиться за результатами невеликої кількості вимірювань за виразом (2.25).

При $n > 30$ розподіл Ст'юдента майже не відрізняється від нормального.

Аналітичний вираз для закону розподілу Ст'юдента:

$$p(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{(n-1)\pi} \cdot \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) \cdot \left(1 + \frac{x^2}{n-1}\right)^{\frac{n}{2}}}. \quad (2.39)$$

де Γ - гамма-функція;

Значення коефіцієнтів Ст'юдента наведено у табл. 9.5.

2.5 Подання результатів вимірювань

Для подання абсолютної похибки результатів користуються однією зі стандартних форм, згідно з ДСТУ 2681-94.

Результат вимірювання подається у вигляді значення величини і показника точності. В залежності від складності і значення результатів вимірювання використовують різні показники точності:

- довірчі границі, в яких з встановленою ймовірністю знаходиться похибка вимірювання Δ або її систематична складова $\bar{\Delta}$;
- оцінки середніх квадратичних відхилень $\sigma(\bar{\Delta}), \sigma(\Delta)$ систематичної і випадкової складових похибки;
- щільність ймовірностей систематичної і випадкової складових похибок.

Для подання даних показників точності встановлено такі три правила:

1. Показники точності повинні виражатися в одиницях вимірюваної величини;
2. Вони мають містити не більше двох значущих цифр;
3. Наймолодші розряди результату вимірювання і числових показників точності мають бути однакові.

Перша форма: $X; \Delta_d$ від $-\Delta_d$ до $+\Delta_d; P(\Delta)$,

де X - результат вимірювання в одиницях вимірюваної величини;

Δ_d - довірчий інтервал;

$P(\Delta)$ - довірна ймовірність.

Друга форма: $X; \bar{\Delta}$ від $-\bar{\Delta}$ до $+\bar{\Delta}; P(\bar{\Delta}); \sigma(\overset{\circ}{\Delta}); f(\overset{\circ}{\Delta})$,
де $\bar{\Delta}$ - границі зміни систематичної складової похибки в одиницях вимірюваної величини;

$P(\bar{\Delta})$ - довірна ймовірність систематичної складової похибки;

$\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ - оцінка середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки в одиницях вимірюваної величини;

$f(\overset{\circ}{\Delta})$ - закон розподілу випадкової складової похибки.

Третя форма: $X; \sigma(\bar{\Delta}); f(\bar{\Delta}); \sigma(\overset{\circ}{\Delta}); f(\overset{\circ}{\Delta})$,

де $\sigma(\bar{\Delta}), \sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ - оцінки середнього квадратичного відхилення систематичної і випадкової складових похибки;

$f(\bar{\Delta}), f(\overset{\circ}{\Delta})$ - закони розподілу систематичної і випадкової складових похибки.

Четверта форма: $X; f(\bar{\Delta}); f(\overset{\circ}{\Delta})$,

де $f(\bar{\Delta}), f(\overset{\circ}{\Delta})$ - щільності ймовірностей систематичної і випадкової складових похибок, які подані в формі таблиць, графіків чи формул.

3 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

3.1 Загальні відомості

Електромеханічними називаються такі вимірювальні прилади, в яких вимірювана електрична величина перетворюється у механічну (на кут повороту або лінійне переміщення рухомої частини вимірювального механізму).

Електромеханічний прилад складається з двох основних частин:

- вимірювального кола;
- вимірювального механізму.

Вимірювальне коло використовується для перетворення вимірюваної величини в іншу, що безпосередньо діє на вимірювальний механізм.

У вимірювальному механізмі електрична енергія перетворюється на механічну енергію переміщення рухомої частини. Як правило, застосовується кутове переміщення, тому надалі будуть розглядатися не сили, що діють у приладі, а моменти.

Загальні деталі рухомої частини на опорах подані на рис. 3.1.

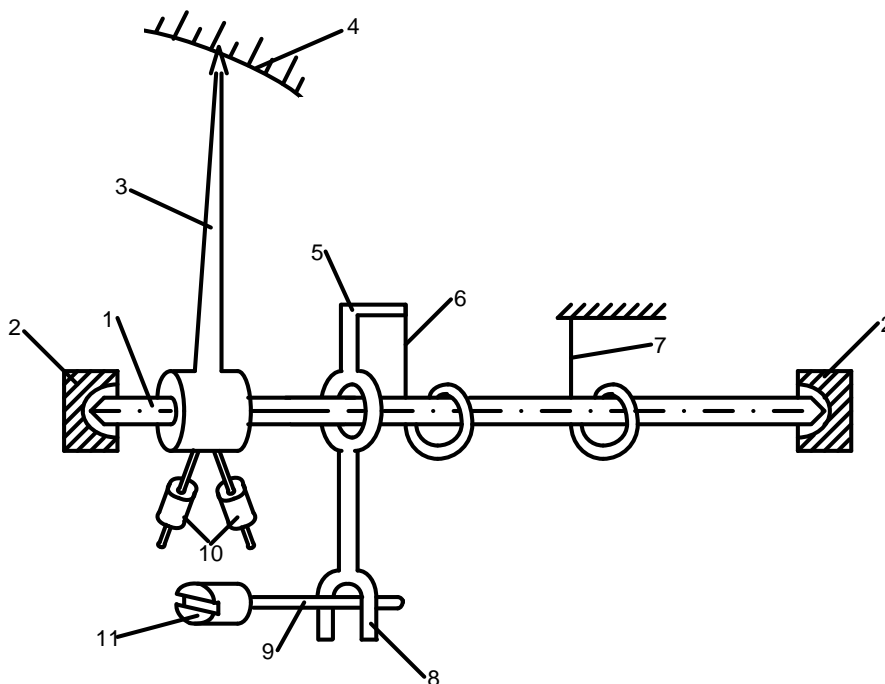


Рисунок 3.1 - Структурна схема рухомої частини вимірювального механізму

Вісь 1 закінчується кернами, які опираються на підп'ятники 2. До осі прикріплені одним із своїх кінців пружини 6 і 7, які служать для створення протидійного моменту. Другим кінцем пружина 7 кріпиться до нерухомих частин приладу, а пружина 6 – до повідка 5 коректора.

Коректор служить для встановлення стрілки 3 на нуль обертанням гвинта 11. Стрижень 9 коректора розміщений ексцентрично. Тому поворот гвинта 11 переміщує вилку 8, що викликає зміну кута закручування пружини 6 і переміщення стрілки 3 по шкалі 4. Грузи 10 служать для врівноважування рухомої частини.

3.2 Моменти, що діють на рухому частину вимірювального механізму

Із теоретичної механіки відомо, що при обертанні твердого тіла навколо осі добуток моменту інерції тіла на кутове прискорення дорівнює сумі моментів сил, що діють на тіло, відносно однієї і тієї ж осі, тобто

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum_{i=1}^n M_i . \quad (3.1)$$

На рухому частину вимірювального механізму при її рухові діють такі моменти.

1. Момент, що виникає в приладі під дією вимірюваної величини і повертає рухому частину в бік зростання показів. Називається **обертальним моментом** M_0 . Він повинен однозначно визначатися вимірюваною величиною X і в загальному випадку може залежати також від кута повороту рухомої частини α , тобто

$$M_0 = F(X, \alpha). \quad (3.2)$$

Для електромеханічних приладів може бути записаний загальний вираз для обертального моменту, що впливає з рівняння Лагранжа другого порядку і є загальним рівнянням системи:

$$M_0 = \frac{dW_e}{d\alpha}, \quad (3.3)$$

де W_e - енергія електромагнітного поля, зосереджена у вимірювальному механізмі.

2. Коли б повороту рухомої частини ніщо не заважало, то вона при будь-якому значенні вимірювальної величини, відмінному від нуля, поверталася б до упору. Для того щоб кут повороту α залежав від вимірюваної величини X , у приладі при повороті рухомої частини створюється **протидійний момент** M_{π} , спрямований назустріч M_0 і лінійно залежний від кута повороту:

$$M_{\pi} = -W\alpha, \quad (3.4)$$

де W залежить тільки від властивостей пружного елемента і називається питомим протидійним моментом.

У статичному режимі роботи обертальний і протидійний моменти однакові між собою. Тобто

$$M_0 = -M_{\text{п}}. \quad (3.5)$$

3. **Момент заспокоєння**, (загальмовувальний, заспокоювальний момент) коливання рухомої частини, можна подати у вигляді

$$M_3 = -p \frac{d\alpha}{dt}, \quad (3.6)$$

де p – коефіцієнт заспокоєння.

4. **Момент тертя** в кернових опорах, якщо таке ϵ ,

$$M_T = -kG^{1,5}, \quad (3.7)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

G – вага рухомої частини вимірювального механізму.

Підставляючи значення моментів у рівняння руху рухомої частини, одержуємо

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + p \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha + kG^{1,5} = \frac{dW_e}{d\alpha}. \quad (3.8)$$

Одержане диференціальне рівняння другого порядку може бути розв'язане точно або наближено для конкретних вимірювальних механізмів.

За способом створення обертального моменту або, іншими словами, за способом перетворення електромагнітної енергії, підведеної до приладу, в механічну енергію переміщення рухомої частини електромеханічні прилади розподіляються на такі групи:

- магнітоелектричні;
- електродинамічні;
- електростатичні;
- електромагнітні;
- індукційні;
- феродинамічні.

3.3 Магнітоелектричні вимірювальні механізми

У магнітоелектричних вимірювальних механізмах обертальний момент створюється в результаті взаємодії магнітного поля постійного магніту і магнітного поля провідника зі струмом, виконаного, як правило, у вигляді рамки.

Розглянемо принцип дії магнітоелектричних вимірювальних механізмів.

На рис.3.2 показано рухому рамку вимірювального механізму, що знаходиться в радіальному магнітному полі. При проходженні по обмотці рамки струму виникає сила F , яка створює обертальний момент

$$M_0 = dWe/d\alpha = B \cdot S \cdot w \cdot I, \quad (3.9)$$

де B – індукція в повітряному зазорі;

S – площа рамки;

w – число витків обмотки рамки;

I – сила струму в обмотці рамки.

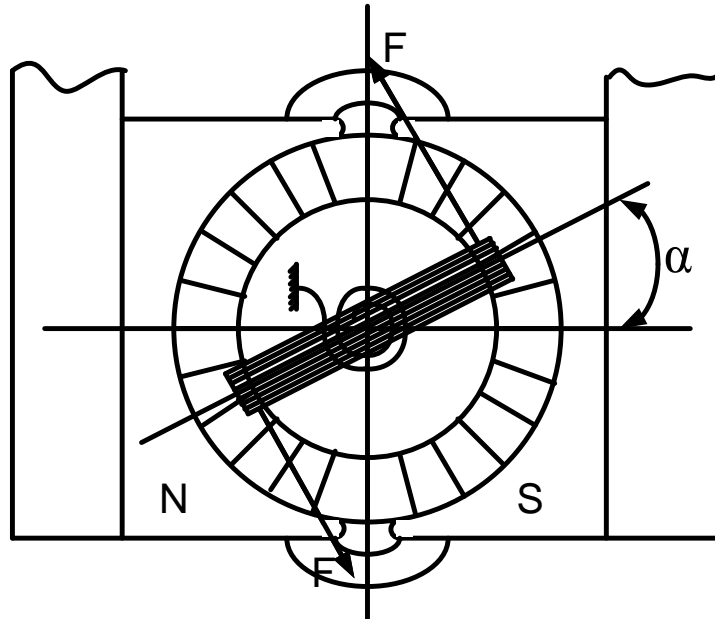


Рисунок 3.2 - Структурна схема магнітоелектричного вимірювального механізму

Оскільки протидійний момент створюється пружиною, то його можна визначити так:

$$M_{\text{п}} = W \cdot \alpha. \quad (3.10)$$

У статичному режимі роботи рухомої частини вимірювального механізму, порівнявши між собою обертальний і протидійний моменти

$$B \cdot S \cdot w \cdot I = W \cdot \alpha, \quad (3.11)$$

одержимо залежність між кутом відхилення α і силою струму, що проходить у рамці I (рівняння перетворення):

$$\alpha = B \cdot S \cdot w \cdot I / W = S_{\text{вп}} \cdot I, \quad (3.12)$$

де $B \cdot S \cdot w / W$ - чутливість магнітоелектричного вимірювального механізму.

Аналіз одержаного рівняння перетворення дозволяє зробити такі висновки.

1. Чутливість $S_{\text{вп}}$ магнітоелектричного приладу не залежить від кута відхилення α і постійна по всій шкалі; звідси випливає, що

магнітоелектричні прилади наділені лінійною статичною характеристикою і мають рівномірну шкалу.

2. При зміні напрямку струму в обмотці рамки змінюється на протилежний напрям відхилення рухомої частини. Для одержання відхилення в потрібний бік необхідно при вмиканні приладу в коло дотримуватись вказаної на ньому полярності. Таким чином, при відсутності перетворювачів можлива галузь застосування магнітоелектричних приладів – вимірювання в колах постійного струму.

3. Великою перевагою магнітоелектричних приладів є висока чутливість і мале власне споживання потужності.

4. Істотний недолік полягає в тому, що протидійний момент створюється за рахунок пружних властивостей пружини. Це призводить до залежності M_n від вологості, температури, тиску.

Цього недоліку позбавлені логометри – прилади, в яких і обертальний, і протидійний моменти створюються на основі одних і тих самих фізичних явищ.

3.4 Магнітоелектричний логометр

Розглянемо особливості побудови вимірювальних механізмів магнітоелектричних логометрів.

У логометрах протидійний момент M_n створюється не механічним, а електричним шляхом. Для цього в магнітоелектричному логометрі (рис. 3.3) рухома частина виконується у формі двох жорстко скріплених між собою рамок 1 і 2, по обмоткам яких проходять струми I_1 і I_2 .

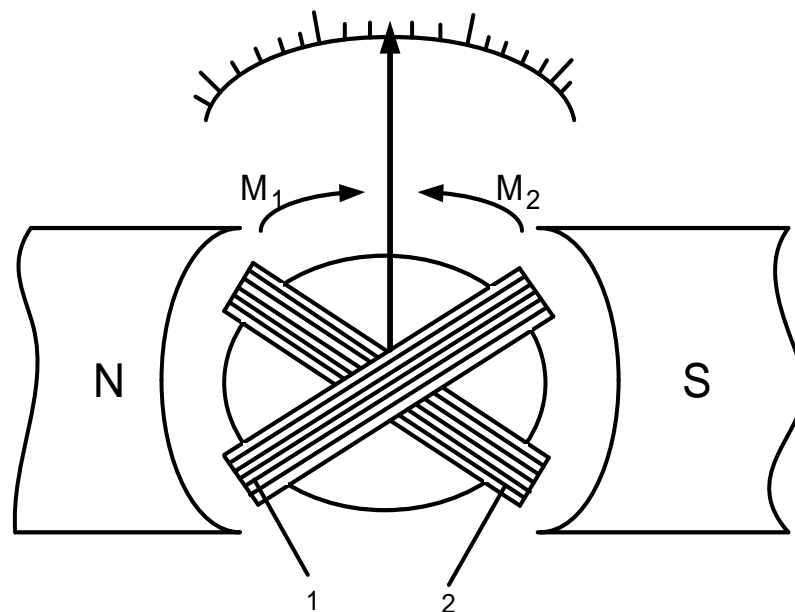


Рисунок 3.3 - Схема вимірювального механізму магнітоелектричного логометра

Напрями струму в обмотках вибираються так, щоб моменти M_1 і M_2 , створювані рамками, діяли назустріч один одному. Один із моментів може вважатись обертальним, а другий – протидійним. Крім того, хоча б один із моментів повинен залежати від кута повороту. Цієї умови потрібно дотримуватись для логометрів.

Технічно найпростіше зробити залежною від кута повороту індукцію B . Для цього магнітне поле у зазорі має бути нерівномірним (для цього осердя на рис. 3.3 зроблено еліпсоїдальним).

У загальному вигляді формули для моментів M_1 і M_2 можуть бути записані так:

$$M_1 = k_1 F_1(\alpha) I_1; \quad M_2 = k_2 F_2(\alpha) I_2, \quad (3.13)$$

де $k_1 = S_1 W_1$;

$k_2 = S_2 W_2$;

$F_1(\alpha)$, $F_2(\alpha)$ – функції, що виражають закон зміни індукції для рамок 1 і 2 при переміщенні їх у зазорі.

У статичному режимі роботи моменти M_1 і M_2 однакові, тобто

$$k_1 F_1(\alpha) I_1 = k_2 F_2(\alpha) I_2, \quad (3.14)$$

звідки

$$\frac{F_1(\alpha)}{F_2(\alpha)} = \frac{k_2 I_2}{k_1 I_1} \quad (3.15)$$

або, позначивши

$$\frac{F_1(\alpha)}{F_2(\alpha)} = F(\alpha) \text{ і } \frac{k_2}{k_1} = k, \quad (3.16)$$

одержимо рівняння перетворення

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right). \quad (3.17)$$

Оскільки обертальний і протидійний моменти створюються за рахунок одних і тих самих фізичних принципів, то показання логометра інваріантні до впливу збурювальних факторів (у тому числі не підлягають впливу температури).

3.5. Електродинамічні вимірювальні механізми

В електродинамічних вимірювальних механізмах обертальний момент виникає в результаті взаємодії магнітних полів нерухомої і рухомої котушок зі струмами.

На рис. 3.4 показано обладнання електродинамічного вимірювального механізму. Нерухома котушка 1, як правило, складається з

двох однакових частин, розділених повітряним зазором. Рухома котушка 2 виконується, як правило, безкаркасною з мідного чи алюмінієвого проводу.

При наявності струму в обмотках котушок вимірювального механізму виникають сили, що намагаються так повернути рухому частину, щоб магнітні потоки нерухомої і рухомої котушок збіглися.

Визначимо обертальний момент електродинамічного вимірювального механізму. Як відомо, електромагнітна енергія двох контурів зі струмами

$$W_e = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + I_1 I_2 M, \quad (3.18)$$

де L_1, L_2 – індуктивність нерухомих і рухомих котушок;

M – взаємна індуктивність між ними.

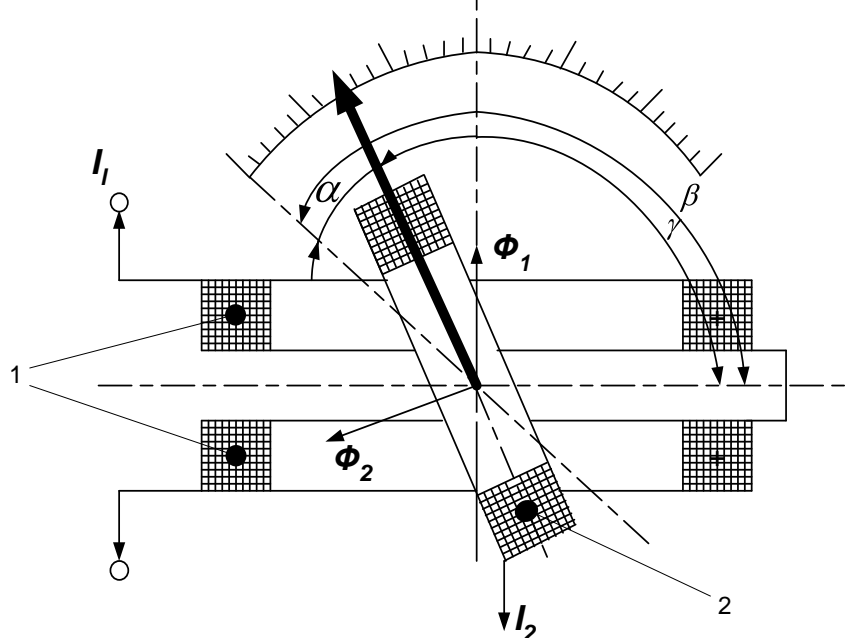


Рисунок 3.4 - Структурна схема електродинамічного механізму

Індуктивність котушок не залежить від кута повороту, тому

$$M_0 = \frac{dW_e}{d\alpha} = I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}. \quad (3.19)$$

Якщо протидійний момент створюється пружними елементами, то для статичного режиму роботи одержимо

$$I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha} = W\alpha, \quad (3.20)$$

звідки

$$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}. \quad (3.21)$$

З одержаного рівняння перетворення випливає:

- при одночасній зміні напрямів струмів I_1 і I_2 знак кута відхилення не змінюється. Тому прилади електродинамічної системи можуть застосовуватись для вимірювань у колах як змінного, так і постійного струму;

- характер шкали приладів залежить від добутку струмів і закону зміни взаємної індукції між нерухомими і рухомою котушками.

Змінюючи $\frac{dM}{d\alpha}$, можна дещо поліпшити шкалу, проте повністю рівномірною для електродинамічних амперметрів і вольтметрів її зробити неможливо;

- суттєвим досягненням електродинамічних вимірювальних перетворювачів є висока точність (клас точності 0,1) і багатофункціональність.

3.6 Електростатичні вимірювальні механізми

В електростатичних вимірювальних механізмах обертальний момент виникає внаслідок взаємодії двох систем, одна з яких є рухомою. Із принципу роботи електростатичних вимірювальних механізмів випливає, що безпосередньо вони можуть виміряти тільки напругу.

Зараз на практиці застосовуються електростатичні механізми, в яких ємність змінюється або внаслідок зміни активної площі пластин, або при зміні відстані між ними.

Перший тип механізмів використовується головним чином для створення вольтметрів на низьку напругу (в десятки і сотні вольт), а другий – для кіловольтметрів.

На рис.3.5. показана схема принципу побудови механізму з активною площею пластин, що змінюються. Нерухома частина цих механізмів складається з однієї або з двох чи більше камер 1. Кожна камера – це дві металеві пластини з повітряним зазором. У зазори вільно входять тонкі алюмінієві пластини 2 рухомої частини.

Якщо до рухомих і нерухомих пластин підвести вимірювану напругу, то вони зарядяться протилежними за знаком зарядами. Енергія електричного поля системи заряджених тіл

$$W_e = \frac{CU^2}{2}, \quad (3.22)$$

де C – ємність системи заряджених тіл;
 U – напруга, яка подана на пластини.

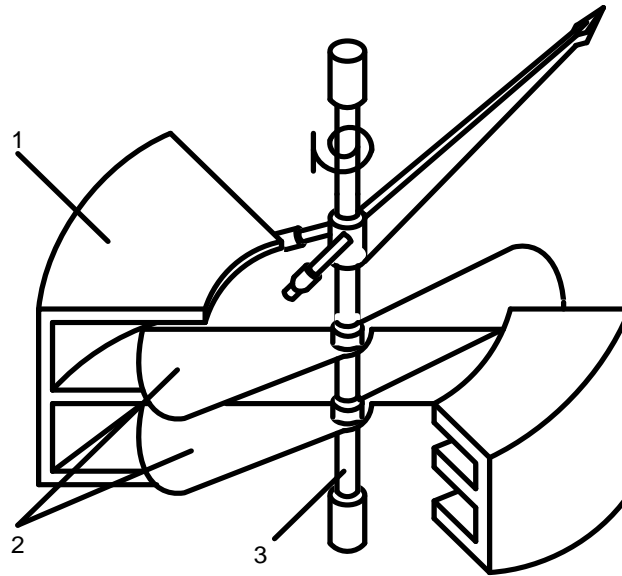


Рисунок 3.5 - Схема електростатичного вимірювального механізму

У результаті цієї взаємодії виникає обертальний момент

$$M_0 = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}. \quad (3.23)$$

Обертання рухомих пластин, жорстко закріплених на осі 3, викличе закручування пружних елементів, які створюють протидійний момент

$$M_n = W\alpha. \quad (3.24)$$

Якщо обертальний і протидійний моменти однакові, тобто

$$\frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha} = W\alpha, \quad (3.25)$$

то рухома частина зупиниться і за положенням покажчика на шкалі можна буде визначити вимірювану напругу.

Із рівності моментів одержимо рівняння перетворення електростатичних приладів

$$\alpha = \frac{1}{2W} U^2 \frac{dC}{d\alpha}, \quad (3.26)$$



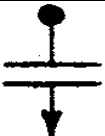



з якого випливає, що електростатичні вольтметри можуть застосовуватися для вимірювань у колах постійного і змінного струму, оскільки при зміні полярності напруги напрям відхилення рухомої частини не змінюється.

При лінійному прирості ємності, тобто $dC/d\alpha = \text{const}$, електростатичний вольтметр мав би квадратичну статичну характеристику.

Для наближення характеру шкали до рівномірного відповідним чином вибирають форму рухомих і нерухомих пластин.

Електростатичні ЗВ практично не споживають енергії від досліджуваного кола і працюють у широкому частотному діапазоні (включаючи МГц-діапазон). Електростатичні вольтметри застосовують для вимірювання напруги до 10^6 В. У табл. 3.1 розглянуто основні застосування електромеханічних вимірювальних приладів.

Таблиця 3.1. – Основні галузі застосування

| Тип приладу | Умовні позначення | Рівняння перетворення | Прилади |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Магнітоелектричний |  | $\alpha = \frac{B \cdot S \cdot \omega}{W} I$ | Амперметри Вольтметри Гальванометри |
| Електродинамічний |  | $\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}$ | Амперметри Вольтметри Ватметри Фазометри |
| Електростатичний |  | $\alpha = \frac{1}{2W} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$ | Вольтметри |
| Електромагнітний |  | $\alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$ | Амперметри Вольтметри |
| Феродинамічний |  | $\alpha = k I_1 I_2 \cos(I_1 I_2)$ | Амперметри Вольтметри Ватметри |
| Індукційний |  | $M = cf\Phi_1\Phi_2 \sin(\psi)$ | Лічильники електричної енергії |

3.7 Електричні вимірювальні перетворювачі

У вимірювальній техніці великого поширення набули аналогові електричні вимірювальні перетворювачі, призначені для зміни значення вимірювальної величини.

Залежно від призначення електричні ВП розподіляються на:

- перетворювачі роду величин ($U \rightarrow I$, $I \rightarrow U$ тощо);

- масштабні перетворювачі (здійснюють лише кількісну зміну фізичної величини);
- перетворювачі роду струму (змінного в постійний і навпаки).

3.7.1 Перетворювачі роду величин

У практиці електричних вимірювань виникає необхідність вимірювати струми та напруги дуже в широкому діапазоні. Щоб використати розглянуті раніше вимірювальні механізми для різних меж вимірювання, застосовують вимірювальні перетворювачі струму і напруги у вигляді шунтів і додаткових резисторів.

Додатковий резистор є вимірювальним перетворювачем напруги в струм. Він вмикається послідовно з вимірювальним механізмом (рис.3.6.) і призначений для розширення меж вимірювань за напругою.

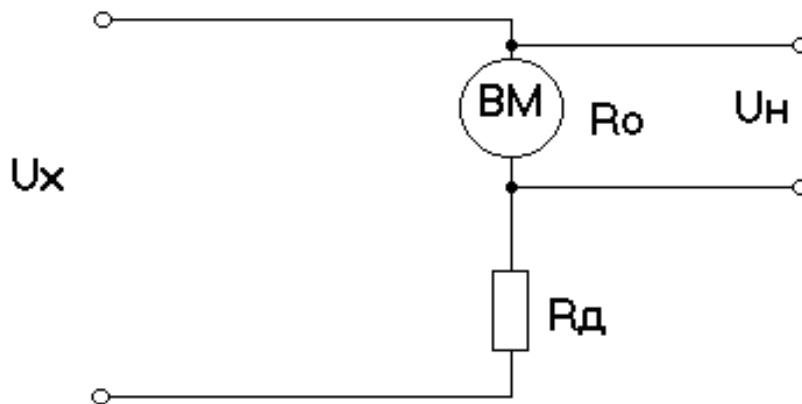


Рисунок 3.6 - Схема ввімкнення додаткового резистора

Якщо за допомогою додаткового резистора R_d необхідно в n разів розширити межі вимірювання вольтметра, що має номінальну межу вимірювання U_n і внутрішній опір R_0 , то його величина визначається

$$R_d = R_0(n-1), \quad (3.27)$$

де $n = U_x / U_n$ і U_x – вимірювана напруга.

Додаткові резистори виготовляються з ізолюваного манганінового дроту. Вони застосовуються для перетворення напруги до 30 кВ постійного і змінного струмів частот від 10 Гц до 20 кГц і мають такі класи точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. Додаткові резистори виготовляють на номінальні струми від 0,01 до 60 мА.

Шунти – це вимірювальні перетворювачі струму в напругу. Вони вмикаються паралельно колу вимірювального механізму приладу (рис.3.7) і призначені для розширення межі вимірювань за струмом.

Шунт – це резистор із чотирма затискачами. Два вхідних затискачі, до яких підводиться струм I_x , називаються струмовими, а два вихідних, з

яких знімається напруга U , - потенціальними. До потенціальних затискачів підключають вимірювальний механізм ЗВ.

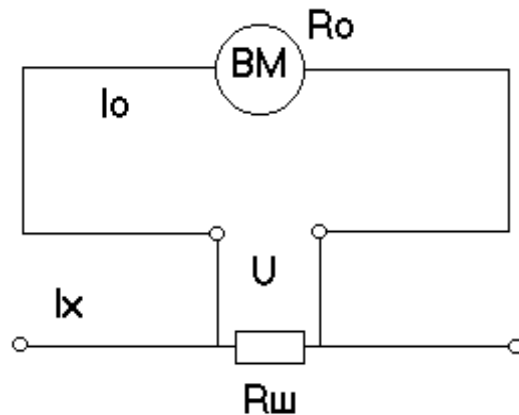


Рисунок 3.7 – Схема ввімкнення шунта

Щоб у вимірювальний механізм приладу надходив струм I_0 , менший у n разів за вимірювальний струм I_x , необхідно використати шунт, опір якого

$$R_m = R_0 / (n - 1), \quad (3.28)$$

де R_0 – внутрішній опір вимірювального механізму;

$n = I_x / I_0$ – коефіцієнт шунтування;

I_0 – сила струму, що проходить через вимірювальний механізм.

Шунти виготовляються з манганіну. Для струмів невеликої сили (до 30А) шунти розміщуються в корпусі приладу (внутрішні шунти); на великі (до 7500А) застосовуються зовнішні шунти. Шунти повинні мати номінальний спад напруги на потенціальних затискачах 10, 15, 30, 50, 60, 75. 300 мВ. За точністю шунти розподіляються на класи: 0,01; 0,1; 0,2; 0,5. Клас точності означає припустиме відхилення опору в процентах його номінального значення.

3.7.2 Масштабні перетворювачі

Масштабні перетворювачі призначені для одержання певного кількісного співвідношення між вхідною і вихідною напругами (струмом).

Подільники напруги використовуються як на постійному, так і на змінному струмі для розширення меж вимірювань за напругою приладів з високим вхідним опором.

Схему простого (одноранічного) резисторного подільника напруги показано на рис.3.8. Рівняння перетворення резисторного подільника має вигляд

$$U_2 = kU_1 = U_1 R_2 / (R_1 + R_2). \quad (3.29)$$

Серійно випускаються подільники напруги, призначені для розширення меж вимірювань компенсаторів постійного струму. Вони мають нормовані коефіцієнти ділення і класи точності від 0,0005 до 0,01.

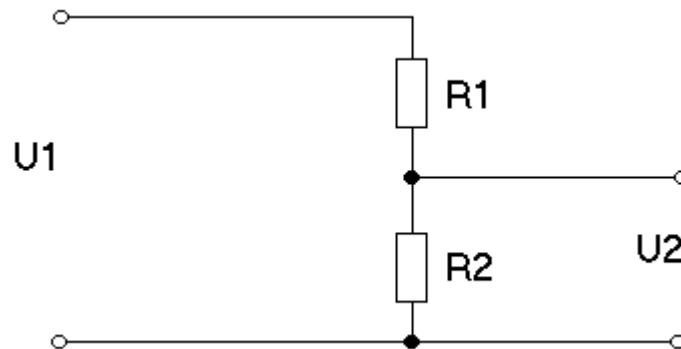


Рисунок 3.8 - Схема резисторного подільника

Вимірювальні трансформатори струму перетворюють змінний струм від 0,8 до 4000 А в струм з граничним значенням 1; 2; 2,5; 5А.

Тому в трансформаторах струму первинний струм I_1 , як правило, більший за вторинний I_2 . Первинна обмотка трансформатора містить малу кількість витків і її виводи (рис.3.9) вмикають у розрив провідника з вимірюваним струмом. Кількість витків вторинної обмотки більша, ніж первинної. До її виводів послідовно приєднують амперметри, ватметри та інші прилади, що мають невеликий вхідний опір.

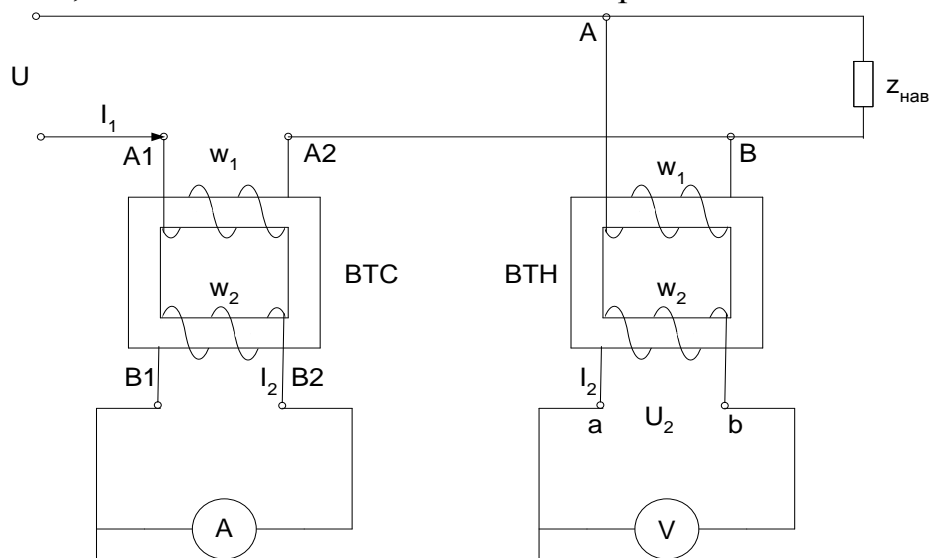


Рисунок 3.9 - Схема вмикання вимірювальних трансформаторів

Вторинні кола вимірювальних трансформаторів напруги розраховані на напругу 100 В, а лабораторних – на напругу 100/5,3 В при первинній номінальній напрузі до 730/3 В. Виводи первинної обмотки

вищої напруги у досліджуване коло вмикають паралельно (рис.3.9). До вторинного кола з меншою кількістю витків паралельно вмикають вольтметри, ватметри тощо.

За показниками приладів, ввімкнених у вторинні обмотки, можна визначити значення вимірюваних величин. Для цього їх покази множать на дійсні коефіцієнти трансформації, які залежать від опору навантаження вимірювального трансформатора.

Номінальні коефіцієнти трансформації залежать від кількості витків первинної w_1 та вторинної w_2 обмоток: $k_{\text{ном}} = w_1/w_2$.

Через неоднаковість дійсного і номінального коефіцієнтів трансформації виникають похибки. Крім цього, вимірювальні трансформатори мають також фазову похибку, пов'язану з тим, що в реальному трансформаторі кут між вектором вторинної напруги (струму), повернутим на 180° , і відповідним вектором первинної напруги (струму) не дорівнює нулю.

Вимірювальні підсилювачі використовуються для підсилення сигналів постійного і змінного струму, тобто для розширення межі вимірювань у бік малих сигналів.

За діапазоном частот підсилювальних сигналів для постійних струму і напруги вимірювальні підсилювачі бувають низькочастотними (до 20 Гц ...200 кГц), високочастотними (до 250 МГц) і селективними, що підсилюють сигнали у вузькій смузі частот. Вимірювальні підсилювачі виконують із нормованою похибкою коефіцієнта передачі.

Застосування електронних вимірювальних підсилювачів дозволяє вимірювати сигнали від 0,1 мВ і 0,3 мкА з похибкою від 0,1 до 1%.

Вимірювальні підсилювачі, що випускаються серійно, мають уніфікований вихідний сигнал 10 В або 5 мА.

4 МОСТОВІ ТА КОМПЕНСАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Вимірювальні мостові схеми відносяться до найбільш точних і простих методів електричних вимірювань.

Мостові схеми постійного струму призначені для вимірювання активних опорів та неелектричних величин з відповідними первинними резистивними вимірювальними перетворювачами.

Мостові схеми змінного струму призначені для вимірювання індуктивностей, взаємоіндуктивностей, ємностей, кута діелектричних втрат, добротності, частоти і неелектричних величин при наявності відповідних первинних вимірювальних перетворювачів.

4.1 Мости постійного струму

4.1.1 Одинарний міст постійного струму

Принципова схема моста наведена на рис. 4.1.

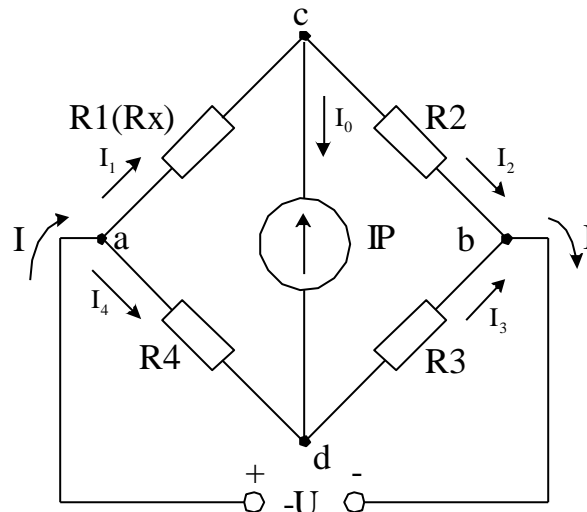


Рисунок 4.1 - Одинарний міст постійного струму

В наведеній мостовій схемі резистори R_1 , R_2 , R_3 і R_4 – плечі моста; ab – діагональ моста, в яку подають живлення від джерела постійної напруги U ; cd – індикаторна діагональ, в яку ввімкнено індикатор рівноваги (IP) моста.

Нульові показання IP будуть при умові, коли струм $I_0 = 0$.

Тоді

$$I_1 = I_2, \quad I_4 = I_3. \quad (4.1)$$

В такому випадку, напруга між точками c і d також буде дорівнювати нулю $U_{cd} = 0$, а це означає, що напруга на резисторі R_1 дорівнює напрузі на резисторі R_4 , напруга на резисторі R_2 буде дорівнювати напрузі на резисторі R_3

$$U_{ac} = U_{ad}, \quad U_{bc} = U_{bd}, \quad (4.2)$$

або

$$I_1 R_1 = I_4 \cdot R_4, \quad (4.3)$$

$$I_2 R_2 = I_3 R_3. \quad (4.4)$$

Поділивши рівняння (4.3) на (4.4) отримаємо

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_4 \cdot R_4}{I_3 \cdot R_3}. \quad (4.5)$$

Оскільки струми за умови рівноваги моста рівні, то можна записати

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}, \quad (4.6)$$

або

$$R_1 R_3 = R_2 R_4, \quad (4.7)$$

що є **умовою рівноваги моста**.

При вимірюванні резистор R_x , опір якого невідомий, включають в одне із плеч моста, наприклад, замість резистора R_1 .

Тоді з (4.7) отримаємо

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}. \quad (4.8)$$

В такому випадку, як правило опір резистора R_4 виконують змінним і за допомогою нього добиваються рівноваги моста.

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

4.1.2 Подвійний міст постійного струму

Подвійний міст постійного струму (рис.4.2) використовують для вимірювання малих опорів від 100 до 10^{-8} Ом.

Якщо міст зрівноважений, то напруга $U_{ab} = 0$ і відповідно $I_{IP} = 0$.

Тоді можна скласти систему струмів

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_4 = I_3 \\ I_X = I_N \end{cases} \quad (4.9)$$

і систему напруг

$$\begin{cases} U_{ca} = U_{cb} \\ U_{da} = U_{db} \end{cases}. \quad (4.10)$$

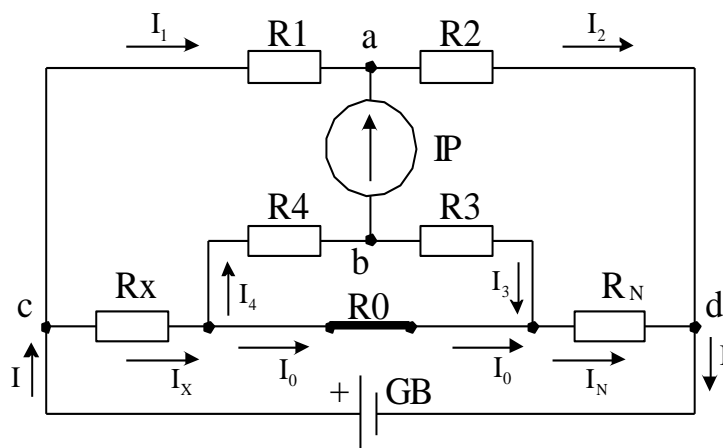


Рисунок 4.2 - Подвійний міст постійного струму

Перепишемо систему напруг через добуток струмів і опорів з урахуванням системи струмів

$$\begin{cases} I_1 \cdot R_1 = I_X \cdot R_X + I_4 \cdot R_4 \\ I_1 \cdot R_2 = I_X \cdot R_N + I_4 \cdot R_3 \end{cases} \quad (4.11)$$

Визначимо з 1-го рівняння системи (4.11)

$$R_X = \frac{I_1 \cdot R_1 - I_4 \cdot R_4}{I_X},$$

з 2-го рівняння

$$I_X = \frac{I_1 \cdot R_2 - I_4 \cdot R_3}{R_N}.$$

Підставимо значення I_X в перше рівняння

$$R_X = \frac{R_N (I_1 \cdot R_1 - I_4 \cdot R_4)}{I_1 \cdot R_2 - I_4 \cdot R_3}.$$

Якщо подвійний міст постійного струму виготовити так, щоб

$$R_1 = R_4 \text{ і } R_2 = R_3,$$

то останнє рівняння можна записати так

$$R_X = \frac{R_N R_1 (I_1 - I_4)}{R_2 (I_1 - I_4)} = R_N \frac{R_1}{R_2}. \quad (4.12)$$

4.2 Мости змінного струму

Найбільш розповсюджені вимірювальні мости змінного струму розраховані на вимірювання або на мережній частоті 50–60 Гц, або на звукових частотах (звичайно близько 1000 Гц); спеціалізовані вимірювальні мости працюють на частотах до 100 МГц. Як правило, у вимірювальних мостах змінного струму замість двох пліч, що точно задають відношення напруг, використовується трансформатор. До винятків з цього правила відноситься вимірювальний міст Максвелла – Віна.

Такий вимірювальний міст дозволяє порівнювати еталони індуктивності (L) з еталонами ємності на невідомій точно робочій частоті. Еталони ємності застосовуються при вимірюваннях високої точності, оскільки вони конструктивно простіші прецизійних еталонів індуктивності, більш компактні, їх легше екранувати, і вони практично не створюють зовнішніх електромагнітних полів. Міст врівноважується навіть у випадку «нечистого» джерела живлення (тобто джерела сигналу, що містить гармоніки основної частоти), якщо величина L_x не залежить від частоти.

Мостові методи вимірювання використовуються для вимірювання опорів, індуктивності і ємності, добротності пасивних компонентів електричних кіл. Схема одинарного чотирিপлечового моста зображена на рис. 4.3. Такий міст є чотирিপолусником, до входу якого підключається джерело живлення, а до виходу – гальванометр Γ (індикатор рівноваги моста). Умовою рівноваги моста є відсутність струму в гальванометрі і, отже, рівність добутків опорів протилежних плечей:

Рівняння рівноваги моста змінного струму має вигляд

$$\dot{Z}_X \cdot \dot{Z}_2 = \dot{Z}_0 \cdot \dot{Z}_1, \quad (4.13)$$

де \dot{Z}_X , \dot{Z}_0 , \dot{Z}_1 , \dot{Z}_2 - комплексні значення опорів плеч моста.

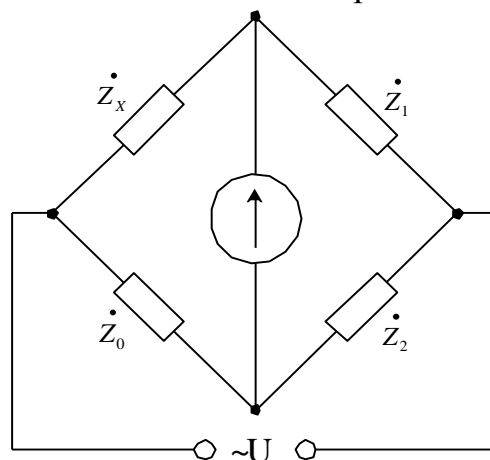


Рисунок 4.3 - Міст змінного струму

Оскільки $\dot{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$, то тоді рівняння рівноваги (4.13) можна переписати так

$$Z_X \cdot Z_2 \cdot e^{j(\varphi_X + \varphi_2)} = Z_0 \cdot Z_1 \cdot e^{j(\varphi_0 + \varphi_1)}. \quad (4.14)$$

Ця рівність виконається при рівності добутків модулів

$$Z_X \cdot Z_2 = Z_0 \cdot Z_1 \quad (4.15)$$

і рівності суми фазових кутів

$$\varphi_X + \varphi_2 = \varphi_0 + \varphi_1. \quad (4.16)$$

Тобто, для рівноваги мостових схем змінного струму необхідно виконати дві умови рівноваги.

З наведеної умови рівноваги суми фазових кутів випливає, що якщо в двох суміжних плечах моста ввімкнені активні опори, наприклад,

$$Z_1 = R_1 \text{ і } Z_2 = R_2 \text{ (кут } \varphi_1 = \varphi_2 = 0),$$

то в двох інших його суміжних плечах повинні бути ввімкнені однорідні елементи, наприклад, дві індуктивності (кути φ_X і φ_0 додатні) або дві ємності (кути φ_X і φ_0 від'ємні) або два резистора (кут $\varphi_X = \varphi_0 = 0$). До того ж з'єднання елементів у схемах заміщення в обох випадках повинні бути або тільки послідовні (рис. 4.4), або тільки паралельні (рис 4.5).

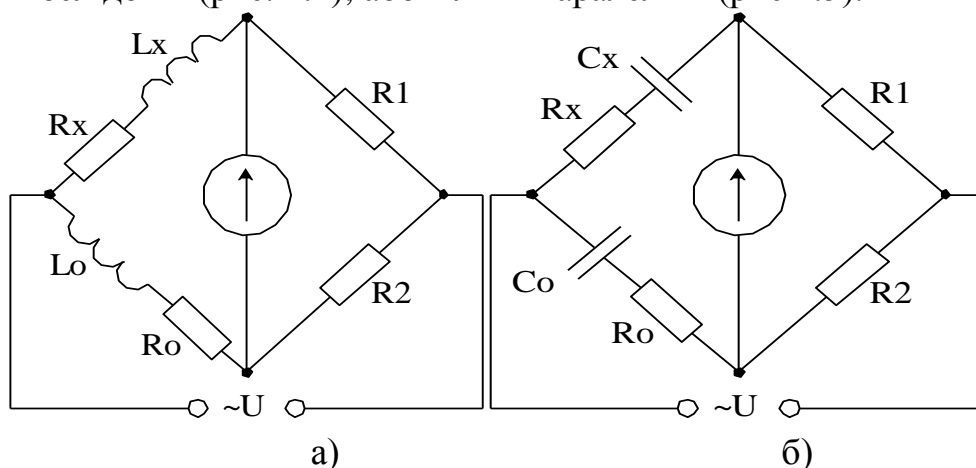


Рисунок 4.4 – Мостові схеми для вимірювання індуктивності (а) та ємності (б) при послідовному заміщенні

Навпаки, якщо активні опори ввімкнені в два протилежні плеча, наприклад,

$$Z_1 = R_1 \text{ і } Z_2 = R_2 \text{ (кут } \varphi_1 = \varphi_2 = 0),$$

то в двох інших його протилежних плечах повинні бути ввімкнені опори різної природи: в одному ємність, а в протилежному індуктивність (рис 4.6 і 4.7).

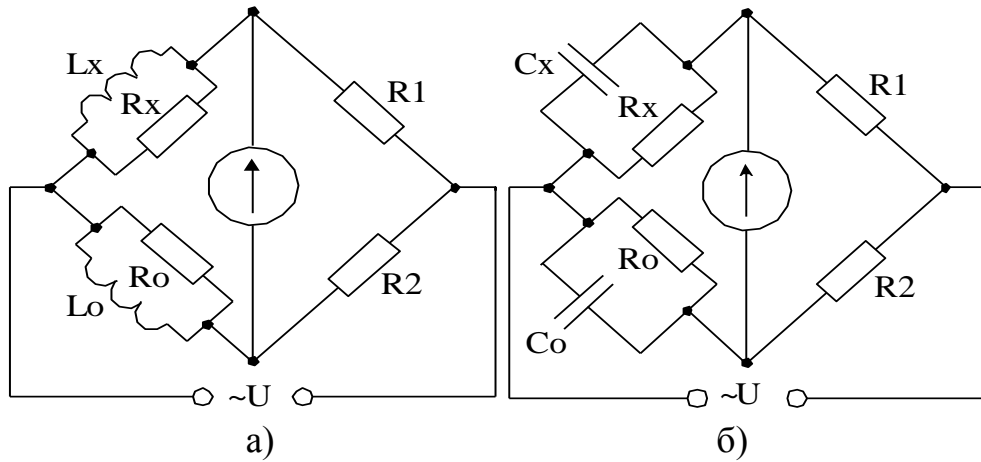


Рисунок 4.5 – Мостові схеми для вимірювання індуктивності (а) та ємності (б) при паралельному заміщенні

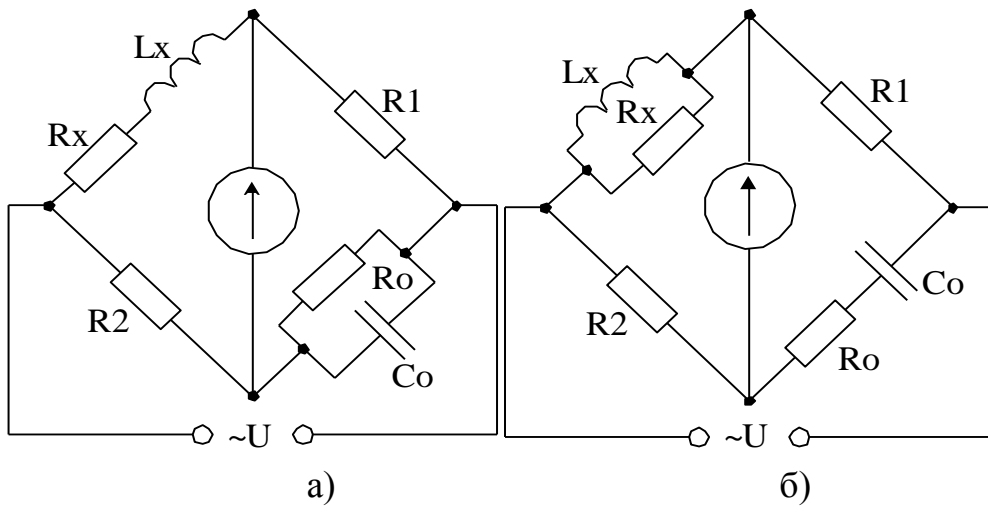


Рисунок 4.6 – Мостові схеми для вимірювання індуктивності: а – при послідовному заміщенні; б – при паралельному заміщенні

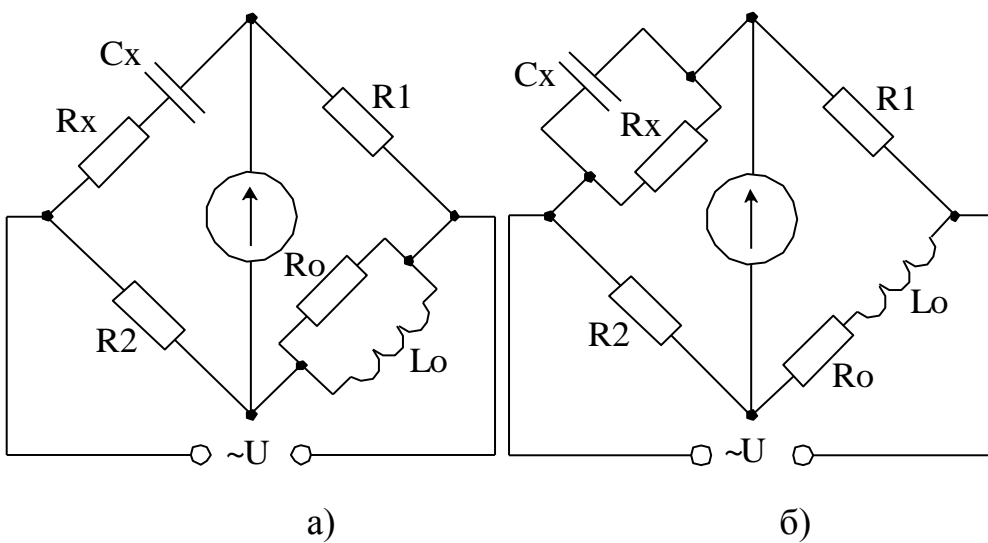


Рисунок 4.7 – Мостові схеми для вимірювання ємності: а – при послідовному заміщенні; б – при паралельному заміщенні

До того ж з'єднання елементів у схемах заміщення в протилежних плечах в обох випадках повинні бути також різними: послідовне – паралельне або, навпаки, паралельне – послідовне.

Розглянемо схему моста змінного струму для вимірювання параметрів конденсаторів (див. рис.4.4, б). При вимірюванні ємностей конденсаторів необхідно враховувати, що він має втрати. Реальний конденсатор зображується еквівалентною схемою заміщення у вигляді ідеальної ємності, послідовно чи паралельно ввімкненої з активним опором, що зумовлює виникнення втрат.

Зрівноважування моста здійснюють зміною опору зразкового резистора і ємності зразкового конденсатора. Рівняння рівноваги моста має вигляд

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) R_2 = \left(R_0 + \frac{1}{j\omega C_0} \right) R_1, \quad (4.17)$$

звідки випливає, що

$$R_x = \frac{R_1 R_0}{R_2},$$

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_0.$$

Розглянемо схему моста змінного струму для вимірювання параметрів котушок індуктивностей (див. рис.4.6.а). Вважаємо, що індуктивність має деякий активний опір (опір втрат). Зрівноважування моста виконують зміною опору зразкових резисторів R_1 , R_2 , R_0 і ємності зразкового конденсатора C_0 . Рівняння рівноваги моста має вигляд

$$\left(R_x + j\omega L_x \right) \left(\frac{R_0}{1 + j\omega C_0 R_0} \right) = R_1 R_2, \quad (4.18)$$

звідки випливає, що

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_0},$$

$$L_x = C_0 R_1 R_2.$$

Автоматичний міст виконаний на базі реверсивного двигуна, охопленого негативним зворотним зв'язком за струмом у вимірювальній діагоналі.

Спрощена схема такого моста наведена на рис. 4.8. Прилад працює таким чином. До діагоналі живлення ав підключене джерело живлення. У вимірювальну діагональ введений змінний резистор R і підсилювач струму ПС. До виходу підсилювача підключений реверсивний двигун РД. Вал двигуна, з однієї сторони керує переміщенням движка резистора R , а з іншої сторони – з'єднаний зі шкалою приладу.

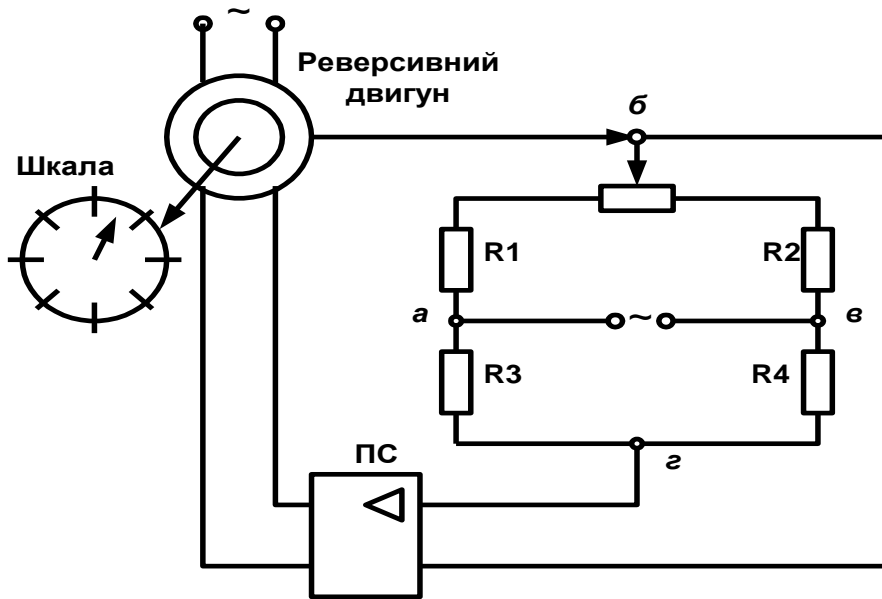


Рисунок 4.8 – Схема автоматичного моста

Підсилювач струму підключений таким чином, щоб при обертанні двигуна опори R' і R'' змінюючись зменшували струм у вимірювальній діагоналі бг. Якщо струм у діагоналі бг буде дорівнювати нулю, то керувальний сигнал на виході підсилювача зникне і двигун зупиниться. Цей стан буде зафіксовано на шкалі, що проградуїрована в одиницях вимірюваної величини. Якщо опір в одному з плечей моста змінити - міст буде розбалансований, у вимірювальній діагоналі з'явиться струм і процес компенсації повториться.

4.3 Компенсатори постійного струму

За допомогою компенсаторів постійного струму реалізується метод зрівноваження.

Схема компенсації напруги зміню робочого струму наведена на рис.4.9.

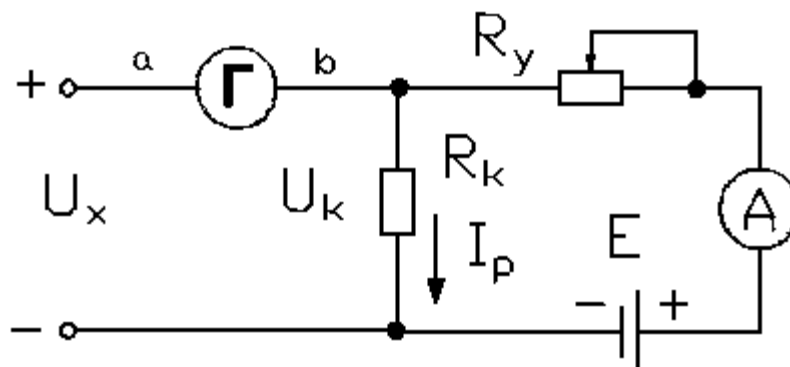


Рисунок 4.9 - Схема компенсації напруги зміню робочого струму

Вимірювана напруга U_x компенсується відомою напругою U_k , що одержується у вигляді спаду напруги певного робочого струму I_p на резисторі R_k , значення якого відоме з необхідною точністю. Змінюючи робочий струм I_p змінним резистором R_y , домагаються рівності вимірюваної напруги U_x і U_k – напруги компенсування. Момент рівноваги характеризується нульовими показаннями гальванометра Γ .

Напругу компенсування $U_k = I_p \cdot R_k$ можна змінювати також, змінюючи опір резистора R_k при незмінному робочому струмі. Схема компенсації напруги зміною опору резистора наведена на рис. 4.10. Момент компенсації характеризується нульовими показаннями гальванометра Γ .

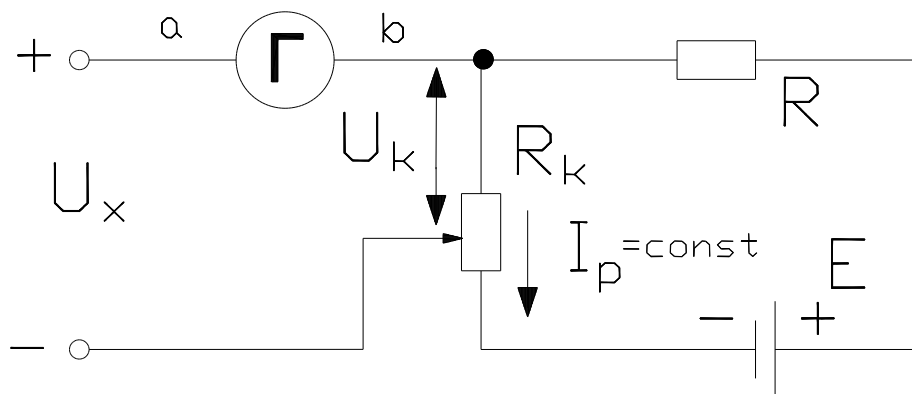


Рисунок 4.10 – Схема компенсації напруги зміною опору резистора

Широко застосовуваний метод зрівноваження реалізується за допомогою мостових і компенсаційних схем. Компенсатори можуть бути постійного та змінного струму. На рис. 4.11 наведено схему компенсатора постійного струму, у якому поєднуються дві вищерозглянуті схеми компенсації. Компенсатор використовують для точного вимірювання напруги до 1,2 В. Для вимірювання більших напруг використовують зразкові подільники напруги. Шляхом непрямих вимірювань можливо виміряти струм, опір та потужність.

Основними елементами схеми компенсатора є: Γ - гальванометр; Π - перемикач, що має три положення. "НН" (нормальний елемент), "Х" - вимірювана напруга та середнє (нейтральне) положення; ЗБ - зовнішня батарея; R_{pc} - змінний резистор для встановлення робочого струму; R - магазин опорів; R_0 - зразковий опір; E_H - нормальний елемент - джерело ЕРС, значення якої відоме з точністю до п'ятого знаку після коми. Значення ЕРС E_{20} при температурі 20°C вказано в паспорті.

Для того, щоб робочий струм не змінювався при зміні ЕРС "НН", зумовленої відхиленням температури, необхідно змінювати опір зразкового резистора R_0 . Для цієї цілі використовують змінний резистор R_t , тобто R_t служить для введення поправки в зразковий опір при відхиленні температури від нормальної. Шкалу цього резистора градуують в вольтах.

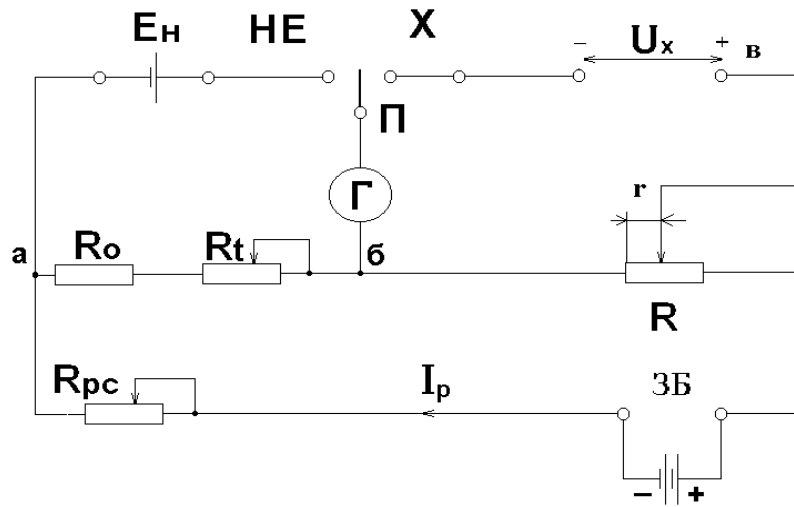


Рисунок 4.11 – Схема компенсатора постійного струму

Проведення вимірювань складається з двох етапів. По-перше, встановлюється певне значення робочого струму I_p . Для цього перемикач П встановлюють в положення “HE” і, змінюючи величину змінного резистора R_{pc} , досягають нульового показання гальванометра. У цьому випадку:

$$E_t = U_{a\delta} = I_p (R_0 + R_t). \quad (4.19)$$

Робочий струм в процесі наступних вимірювань не змінюється. У цьому випадку відбувається компенсація ЕРС нормального елемента спадом напруги на резисторах R_0 та R_t шляхом зміни робочого струму у відповідності зі схемою на рис. 4.9.

По-друге, після встановлення робочого струму переходять безпосередньо до вимірювання U_x . Для цього перемикач П встановлюють в положення “X” і, змінюючи опір резистора R , досягають нульових показань гальванометра. У цьому випадку U_x дорівнює різниці потенціалів між точками б та в, тобто

$$U_x = U_{a\delta} = I_p \cdot r = -\frac{E_t}{R_0 + R_t} \cdot r, \quad (4.20)$$

де r – опір магазину опорів між точками б та в.

У цьому випадку відбувається компенсація вимірюваної напруги спадом напруги на резисторі R шляхом зміни цього опору у відповідності зі схемою на рис. 4.10.

Висока точність вимірювань зумовлена тим, що E_n і зразковий опір відомі з високою точністю. Точність компенсації залежить від чутливості гальванометра, яка зазвичай досить велика. Оскільки робочий струм при цьому величина постійна, то напруга $U_{a\delta}$ прямо пропорційна r , що дає змогу відградувати магазин опорів не в омах, а у вольтах.

5 ЦИФРОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

5.1. Цифровий частотомір середніх значень

Принцип дії цифрового частотоміра середніх значень оснований на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти f_x за зразковий часовий інтервал часу T_0 .

Частота f періодичного сигналу - це фізична величина, значення якої визначають як кількість коливань в одиницю часу.

Структурну схему цифрового частотоміра середніх значень наведено на рис. 5.1, а часові діаграми його роботи – на рис. 5.2.

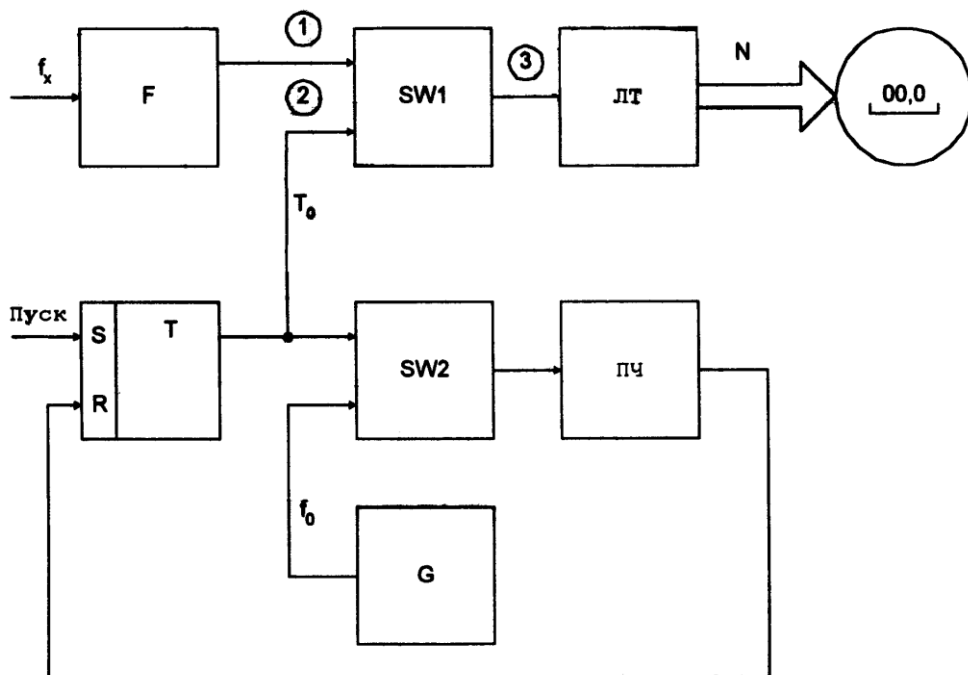


Рисунок 5.1 - Структурна схема частотоміра середніх значень

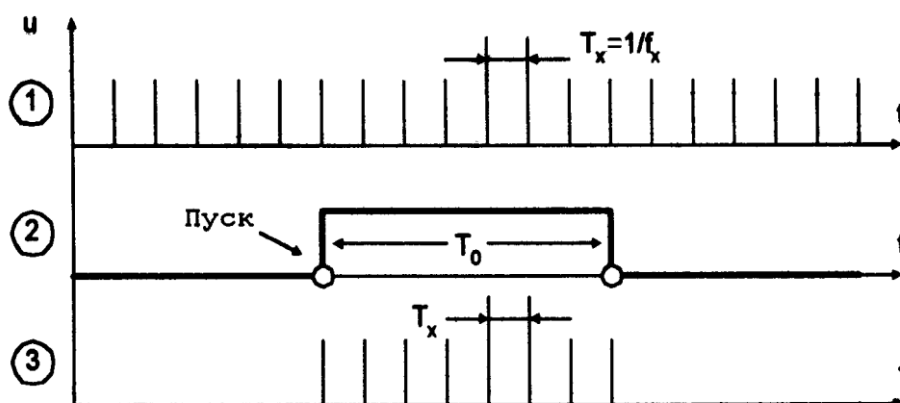


Рисунок 5.2 - Часові діаграми роботи частотоміра середніх значень

Структурна схема частотоміра містить такі основні блоки. RS – тригер, SW2 – схема збігу, G – генератор стабільної частоти, ПЧ – подільник частоти, що формує зразковий часовий інтервал T_0 ; Лічильник ЛТ, який підраховує кількість імпульсів невідомої частоти f_x за зразковий інтервал часу t_0 ; схему збігу SW1, де здійснюється квантування зразкового часового інтервалу імпульсами невідомої частоти. Формувач імпульсів F, який із вхідних сигналів формує прямокутні імпульси, калібровані за амплітудою і тривалістю.

За командою «Пуск» тригер Т встановлюється у стан логічної одиниці і таким чином відкриває схеми збігу SW1 і SW2. Імпульси, які слідуєть із частотою f_x через формувач F і відкриту схему збігу SW1, надходять на вхід двійкового лічильника ЛТ, який здійснює їх підрахунок. В цей самий момент часу через відкриту схему збігу SW2 імпульси f_0 з виходу генератора G стабільної частоти надходять на вхід подільника частоти ПЧ, коефіцієнт розділення якого розраховують з урахуванням забезпечення потрібного часового інтервалу t_0 . Після закінчення зразкового часового інтервалу заднім фронтом імпульсу t_0 тригер Т встановлюється у стан логічного нуля, схеми збігу SW1 і SW2 закриваються і в лічильнику ЛТ фіксується код N. Кількість імпульсів невідомої частоти, які підраховує двійковий лічильник за час t_0 визначається

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (5.1)$$

де t_1, t_2 - моменти часу початку та закінчення зразкового часового інтервалу.

Зразковий часовий інтервал формується в подільнику частоти і визначається

$$t_0 = k \cdot T_0, \quad (5.2)$$

де k- коефіцієнт ділення подільника частоти;

T_0 - період імпульсів зразкової частоти f_0 .

Враховуючи (5.1) та (5.2), рівняння перетворення цифрового частотоміра середніх значень має вигляд

$$N_F = k \cdot T_0 \cdot f_x = \frac{k \cdot f_x}{f_0}. \quad (5.3)$$

Співвідношення (5.3) є рівнянням перетворювання частотоміра, оскільки воно характеризує, яким чином пов'язані між собою вихідна N_F і вхідна f_x величини. Статична характеристика цифрового частотоміра середніх значень лінійна (рис.5.3).

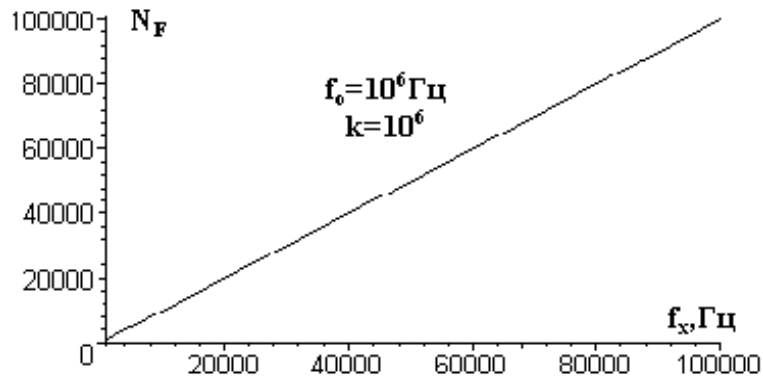


Рисунок 5.3 - Статична характеристика цифрового частотоміра середніх значень

У цифровому вимірювальному приладі за умови постійної абсолютної похибки в діапазоні зміни вимірюваної величини межа допуску основної похибки нормується у вигляді максимальної зведеної похибки

$$\delta = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100\% = \frac{1}{N} \cdot 100\% . \quad (5.4)$$

З урахуванням цього, рівняння похибки квантування цифрового частотоміра середніх значень подамо у вигляді

$$\delta_{kF} = \frac{1}{N_F} \cdot 100\% = \frac{f_0}{k \cdot f_x} \cdot 100\% . \quad (5.5)$$

Аналіз наведеного рівняння показує, що похибка квантування суттєво залежить від вимірюваної величини (рис.5.4). Під час вимірювання великих частот похибка велика. Крім того, похибка квантування залежить також від величини зразкового часового інтервалу, який визначається коефіцієнтом ділення k подільника частоти.

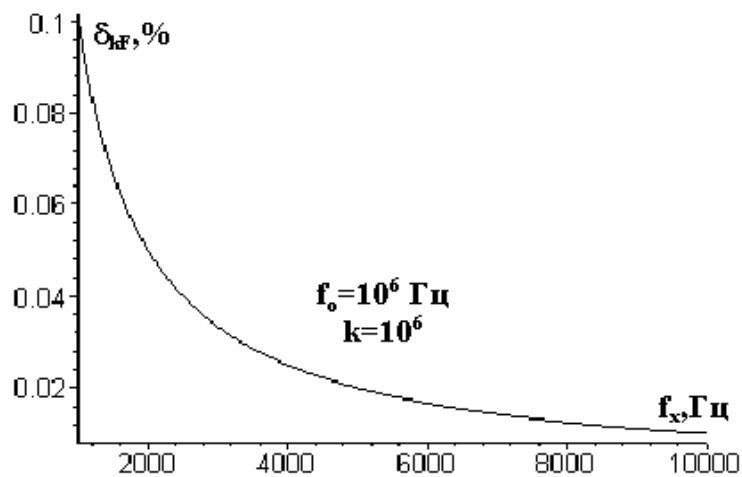


Рисунок 5.4 – Залежність похибки квантування від вимірюваної величини

Визначимо нижню межу вимірювання $f_{x\min}$. Для цього задамося нормованим значенням похибки квантування $\delta_k = \delta_{\text{кн}}$

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{100 \cdot f_o}{k \cdot f_{x\min}} \Rightarrow f_{x\min} = \frac{100 \cdot f_o}{k \cdot \delta_{\text{кн}}} \quad (5.6)$$

Знайдемо верхню межу вимірювання частотоміра середніх значень. Дана характеристика обмежена ємністю двійкового лічильника

$$N_{\max} = 2^n, \quad (5.7)$$

де n – розрядність двійкового лічильника.

Підставимо N_{\max} в рівняння перетворення частотоміра (5.3) і отримаємо верхню межу вимірювання

$$f_{x\max} = \frac{2^n \cdot f_o}{k} \quad (5.8)$$

Аналіз рівняння похибки квантування частотоміра показує, що його похибка квантування зменшується при збільшенні зразкового часового інтервалу t_0 і вимірюваної величини f_x . Однак, збільшення t_0 приводить до зростання часу вимірювання, а отже до зниження швидкодії. Оскільки δ_k зменшується при збільшенні f_x , то такі частотоміри ефективні в області середніх і високих частот (від одиниць кілогерц до десятків мегагерц).

Другою складовою похибки вимірювання частоти є похибка зразкової міри часу $\delta_{\text{змч}}$, яка зумовлена неточністю первинного встановлення значення t_0 і його наступними часовими та температурними змінами.

Цифрові частотоміри цього типу вимірюють за час t_0 середнє значення частоти f_x . Тому їх називають частотомірами середніх значень. В області низьких і інфранизьких частот більш ефективні частотоміри, які базуються на квантуванні періоду сигналу, що вимірюється.

5.2 Цифровий періодомір (частотомір миттєвих значень)

У частотовимірювальній техніці основною характеристикою періодичного сигналу є період.

Періодом T періодичного сигналу називається найменший інтервал часу, через який регулярно послідовно повторюється довільно вибране миттєве значення періодичного сигналу $u(t)$.

З математичної точки зору це інтерпретується так: період T - це найменший інтервал часу, що відповідає рівнянню $u(t+iT) = u(t)$, де i - будь-яке ціле число.

Принцип дії цифрового періодоміра оснований на квантуванні невідомого періоду сигналу T_x імпульсами зразкової частоти f_0 , що формує зразкова міра частоти ЗМЧ.

Структурна схема цифрового періодоміра наведена на рис.5.5, часові діаграми, що пояснюють принцип його роботи, наведені на рис.5.6.

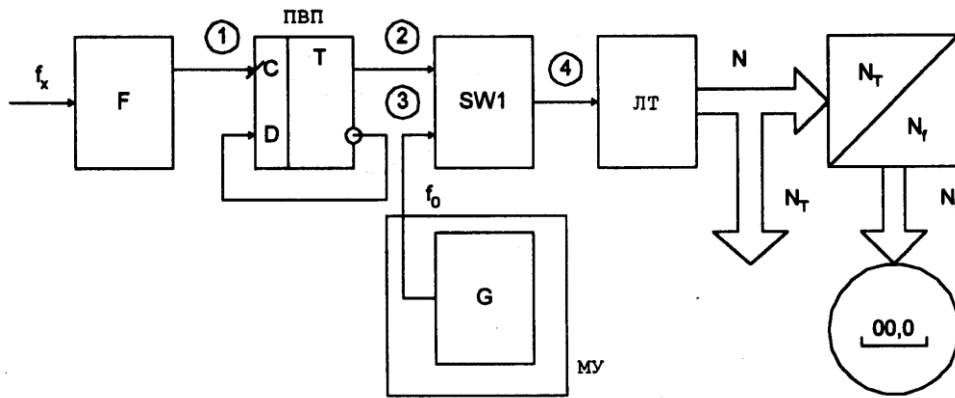


Рисунок 5.5 - Структурна схема частотоміра миттєвих значень (періодоміра)

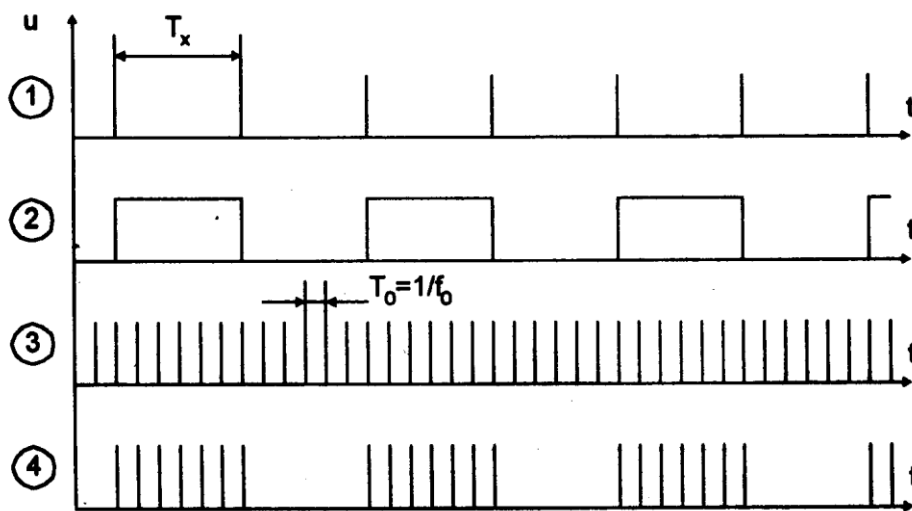


Рисунок 5.6 - Часові діаграми роботи частотоміра миттєвих значень (періодоміра)

Основними елементами приведеної структури є формувач F , пристрій виділення періоду ПВП, генератор зразкової частоти G , схема збігу $SW1$, двійковий лічильник $ЛТ$, перетворювач коду N_t/N_f і цифровий показувальний пристрій.

Калібровані за амплітудою і тривалістю імпульси з виходу формувача F надходять на вхід пристрою виділення періоду. ПВП - це лічильний тригер T , на прямому виході якого з імпульсів із частотою f_x формується вимірювальний період T_x . У схемі збігу $SW1$ період T_x квантується імпульсами опорної частоти f_0 . Схема збігу $SW1$ порівнює між собою значення періоду T_x і відрізок часу $N \cdot T_0$, який утворюється в процесі підрахунку імпульсів квантування (виконує функцію елемента

порівняння). Протягом кожного періоду T_x схема збігу SW1 відкрита. Імпульси f_0 з виходу генератора G через відкриту схему збігу SW1 надходять на вхід лічильника ЛТ. У лічильнику ЛТ після кожного періоду T_x формується код

$$N_T = \int_{t_1}^{t_2} T_o dt = \frac{T_x}{T_0} = T_x f_0 = \frac{f_0}{f_x} . \quad (5.9)$$

Останнє співвідношення є рівнянням перетворення цифрового періодоміра (цифрового частотоміра миттєвих значень), графічне подання якого наведено на рис.5.7.

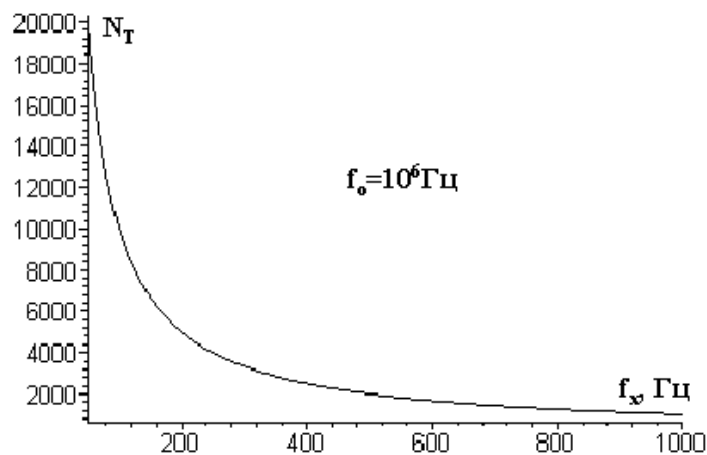


Рисунок 5.7 - Статична характеристика цифрового частотоміра миттєвих значень

Значення похибки квантування цифрового періодоміра визначається

$$\delta_{кТ} = \frac{1}{N_T} \cdot 100\% = \frac{1}{T_x f_0} \cdot 100\% = \frac{f_x}{f_0} \cdot 100\% . \quad (5.10)$$

Аналіз (рис.5.8) рівняння похибки квантування показує, що можливим шляхом зменшення $\delta_{кТ}$ є збільшення частоти квантування f_0 і вимірюваної величини T_x . Збільшення частоти f_0 обмежене швидкодією елементної бази, на якій реалізується частотомір. Тому для зменшення цієї складової похибки для фіксованих T_0 і T_x квантують не один, а декілька періодів невідомої частоти.

Крім похибки квантування в частотомірі миттєвих значень виникає похибка $\delta_{зМч}$, яка зумовлена неточністю первинного встановлення частоти генератора G, її часовою і температурною нестабільністю, а також похибкою виділення періоду.

Доповнивши структуру періодоміра перетворювачем коду N_T/N_f , в якому виконується операція $1/T_x$, одержують схему цифрового частотоміра миттєвих значень.

Знайдемо нижню і верхню межу вимірювань для даного засобу

вимірювання. Нижня межа вимірювання обмежена максимальною ємністю двійкового лічильника і визначається

$$N_{\max} = \frac{f_o}{f_x} \Rightarrow 2^n = \frac{f_o}{f_{x \min}} \Rightarrow f_{x \min} = \frac{f_o}{2^n}. \quad (5.11)$$

Для визначення верхньої межі вимірювання задамося нормованим значенням похибки квантування $\delta_k = \delta_{\text{кн}}$ і знайдемо $f_{x \max}$

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{f_{x \max}}{f_o} \cdot 100\% \Rightarrow f_{x \max} = \frac{\delta_{\text{кн}} \cdot f_o}{100\%}. \quad (5.12)$$

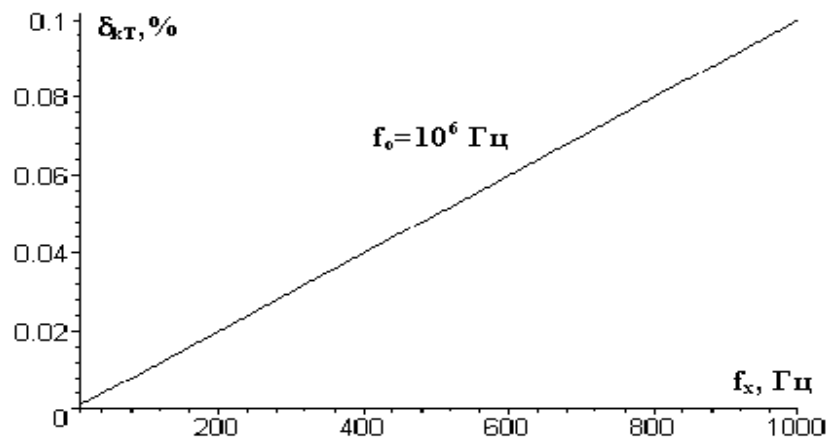


Рисунок 5.8 - Залежність похибки квантування від вимірюваної величини

Галузь застосування цифрового частотоміра миттєвих значень – вимірювання низьких та інфранизьких частот (до одиниць кілогерц).

5.3 Цифровий фазометр миттєвих значень

Принцип дії цифрових фазометрів оснований на перетворенні різниці фаз двох електричних сигналів однакової частоти у часовий інтервал t_x із наступним його квантуванням імпульсами опорної частоти f_0 .

Структурну схему цифрового фазометра миттєвих значень наведено на рис.5.9, часові діаграми його роботи - на рис.5.10.

Основними елементами фазометра є два формувача F1 і F2, RS-тригери, схема збігу SW, генератор G, двійковий лічильник ЛТ і цифровий показувальний пристрій. Перетворення різниці фаз двох електричних сигналів U1 і U2 з частотою f_x у часовий інтервал t_x здійснюють відповідні формувачі F1, F2 і RS-тригер. Квантування часового інтервалу t_x імпульсами опорної частоти f_0 відбувається за допомогою схеми збігу SW.

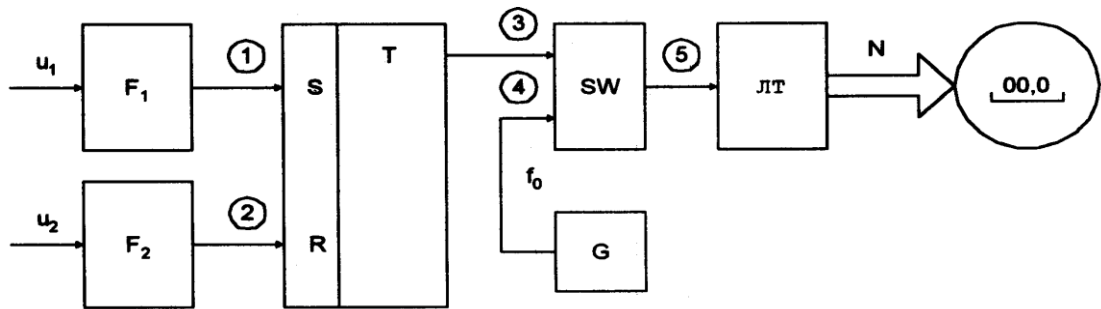


Рисунок 5.9 - Структурна схема цифрового фазометра миттєвих значень

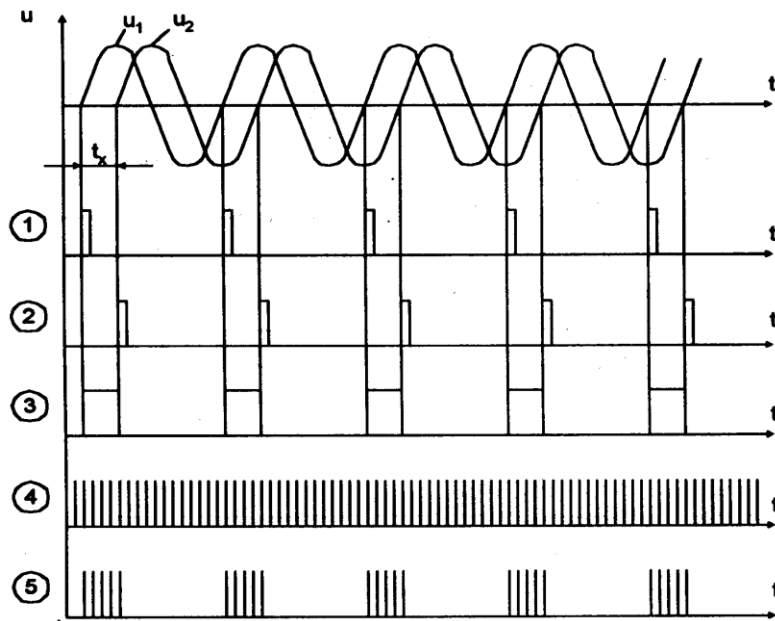


Рисунок 5.10 - Часові діаграми цифрового фазометра миттєвих значень

У момент переходу напруги U_1 через рівень нуля на виході формувача F_1 формується короткий імпульс, що встановлює тригер T в стан логічної одиниці. Цим рівнем відкривається схема збігу SW і імпульси опорної частоти f_0 із виходу генератора G через відкриту схему збігу SW надходять на вхід лічильника JT . У лічильнику JT відбувається підрахунок імпульсів f_0 . Цей процес відбувається доти, поки напруга U_2 не перейде рівень нуля. При переході U_2 через нуль на виході формувача F_2 формується короткий імпульс, що встановлює тригер T в стан логічного нуля. Цим рівнем закривається схема SW і припиняється надходження імпульсів з частотою f_0 на вхід лічильника JT . Кількість імпульсів з частотою f_0 , що надійшли на лічильник JT за часовий інтервал t_x , визначається виразом

$$N_{\phi M} = \int_{t_1}^{t_2} T_0 dt = \frac{t_x}{T_0} = t_x f_0. \quad (5.13)$$

Оскільки різниця фаз вимірюється як різниця їх початкових фаз

$$\varphi_X = \varphi_2 - \varphi_1 = \omega t_2 - \omega t_1 = \omega t_x = 2\pi f_x t_x, \quad (5.14)$$

то рівняння перетворення цифрового фазометра миттєвих значень матиме вигляд (статична характеристика наведена на рис.5.11)

$$N_{\varphi M} = t_x \cdot f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{f_0}{f_x} \varphi_X. \quad (5.15)$$

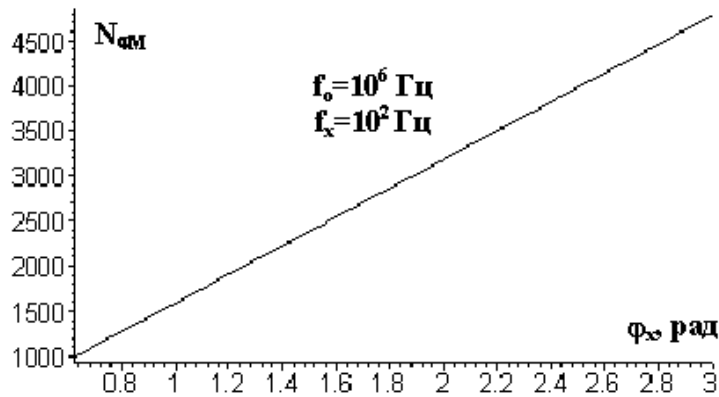


Рисунок 5.11 - Статична характеристика цифрового фазометра миттєвих значень

Рівняння похибки квантування цифрового фазометра миттєвих значень подається співвідношенням

$$\delta_{\varphi M} = \frac{1}{N_{\varphi M}} \cdot 100\% = \frac{2\pi}{\varphi_X} \cdot \frac{f_x}{f_0} \cdot 100\%. \quad (5.16)$$

Аналіз рівняння похибки квантування (рис. 5.12) показує, що результати вимірювань залежать від частоти вхідних сигналів f_x при постійних $f_0 = const$ $\varphi_x = const$.

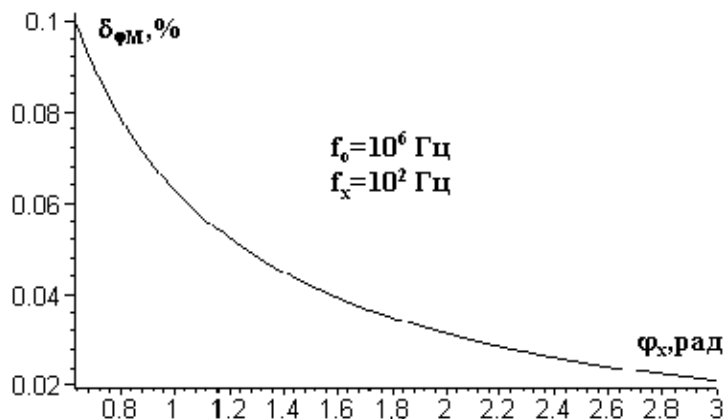


Рисунок 5.12 - Залежність похибки квантування від вимірюваної величини

Для усунення цього недоліку застосовують усереднення вимірюваних інтервалів t_x протягом часу вимірювання t_B .

5.4 Цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення

Принцип дії оснований на перетворенні вимірюваної напруги U_x в часовий інтервал t_x , з наступним його квантуванням імпульсами зразкової частоти f_0 .

Структурна схема цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення наведена на рис.5.13, часові діаграми його роботи наведені на рис.5.14.

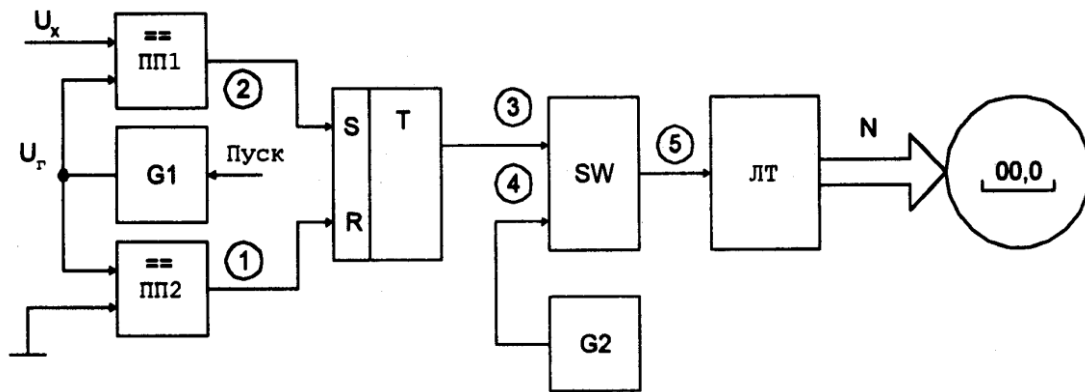


Рисунок 5.13 - Структурна схема цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення

Основним елементом структури вольтметра є перетворювач вимірюваної напруги U_x у часовий інтервал T_x , що реалізований на двох компараторах ПП1 і ПП2, генераторі напруги, що лінійнозмінюється, G1 і RS-тригері T.

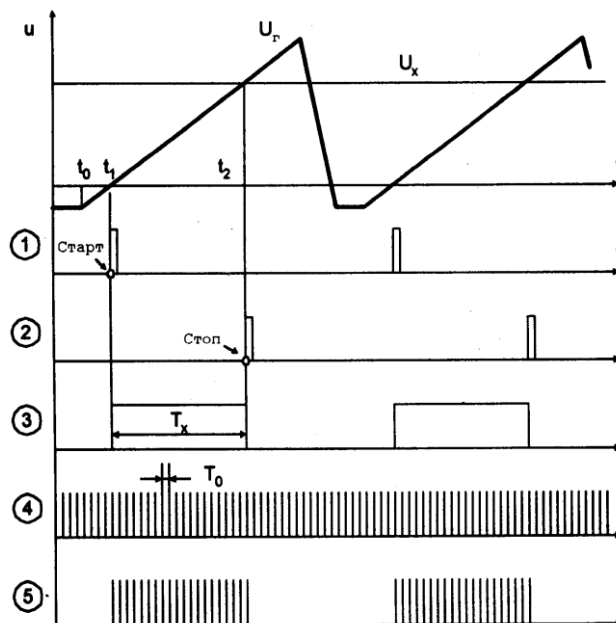


Рисунок 5.14 - Часові діаграми роботи цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення

Квантування часового інтервалу T_x імпульсами опорної частоти f_0 , сформованими на виході генератора $G2$, здійснюється в схемі збігу SW . Двійковий лічильник ЛТ підраховує кількість імпульсів f_0 за час T_x . Результат вимірювання відображається на цифровому індикаторі.

У момент часу t_0 сигналом «Пуск» запускається генератор напруги $G1$, що лінійно змінюється, виробляє сигнал U_g , який подається на входи компараторів ПП1 і ПП2, що по черзі спрацьовують у моменти часу t_1 і t_2 . При переході напруги U_g через рівень нуля (момент часу t_1) спрацьовує компаратор ПП2 і на його виході формується імпульс «Старт», що по S-входу встановлює в одиничний стан тригер Т. Рівнем логічної одиниці відкривається схема збігу SW і імпульси опорної частоти f_0 з виходу генератора $G2$ надходять на вхід лічильника ЛТ. Напруга U_g на виході генератора $G1$ зростає, поки не стане рівною U_x . Момент рівності $U_g = U_x$ в момент часу t_2 фіксує компаратор ПП1 шляхом формування на своєму виході сигналу «Стоп».

Сигналом «Стоп» по R - входу компаратор встановлює тригер Т в нульовий стан і закриває схему збігу SW . На цьому процес вимірювання U_x закінчується. Таким чином, на виході тригера Т формується часовий інтервал T_x , пропорційний вимірюваній напрузі U_x , під час якого формується одиничний імпульс, що відкриває схему збігу SW , і імпульси опорної частоти f_0 із виходу $G2$ надходять на вхід лічильника. Кількість імпульсів з частотою f_0 , що надходять на лічильник ЛТ за час T_x , визначається

$$N_B = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{T_x}{T_0} = T_x f_0. \quad (5.17)$$

Оскільки $T_x = k \cdot U_x$ (k - коефіцієнт пропорційності, який залежить від крутості напруги, що лінійно змінюється), то рівняння перетворення $N_B = F(U_x)$ цифрового вольтметра (рис.5.15) набуває вигляду

$$N_B = k \cdot U_x \cdot f_0. \quad (5.18)$$

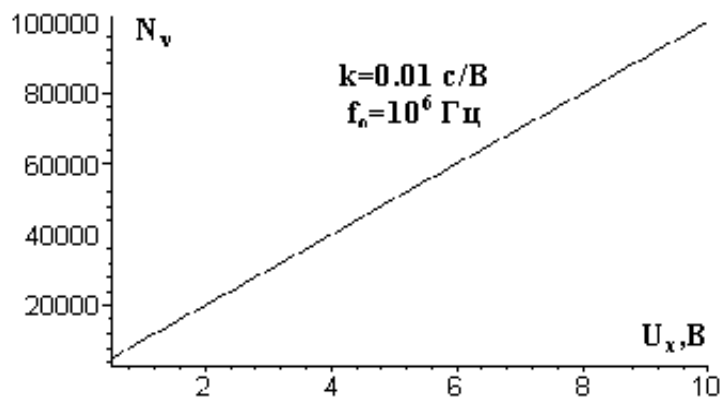


Рисунок 5.15 - Статична характеристика цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення

Рівняння похибки квантування визначається співвідношенням

$$\delta_v = \frac{1}{N_B} \cdot 100\% = \frac{1}{k \cdot U_x \cdot f_0} \cdot 100\% . \quad (5.19)$$

Залежність похибки квантування від вимірюваної напруги та крутості лінійно змінюваної напруги наведена на рис.5.16.

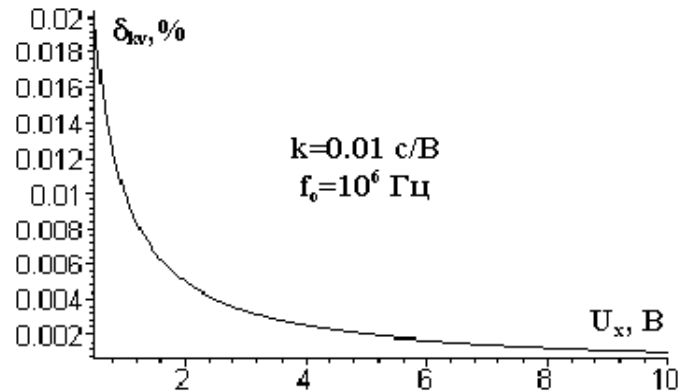


Рисунок 5.16 - Залежність похибки квантування від вимірюваної величини

Крім того, похибка таких засобів вимірювань в основному зумовлена нелінійністю та нестабільністю лінійно змінюваної напруги U_r , нестабільністю порога чутливості компаратора і нестабільністю частоти зразкового генератора. Суттєвим недоліком цифрового вольтметра часоімпульсного перетворення є низька завадостійкість. Для підвищення завадостійкості застосовують аналогове та цифрове інтегрування.

5.5 Цифровий вольтметр послідовного наближення

Суть алгоритму послідовного наближення полягає у зрівноваженні вимірюваної напруги U_x напругою компенсування U_k , що змінюється рівномірними ступенями. Даний алгоритм називають ще “молодшими розрядами вперед”.

Відлік результату вимірювання здійснюється в момент рівності (з заданою точністю) цих величин. Для циклічного одержання вимірювальної інформації необхідно повторювати вимірювальний цикл. На рис. 5.17 наведено структурну схему цифрового вольтметра послідовного наближення, часові діаграми його роботи на рис. 5.18.

Основними елементами приладу є компаратор ПП, RS-тригер Т, схема збігу SW, генератор опорної частоти G, двійковий лічильник ЛТ, цифро-аналоговий перетворювач ЦАП і цифровий показувальний пристрій.

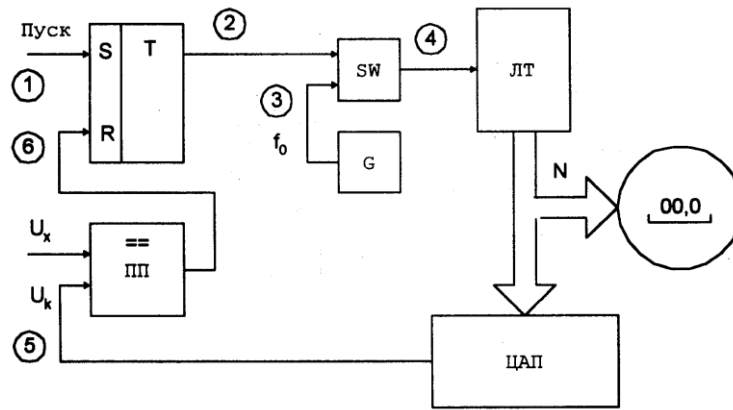


Рисунок 5.17 - Структурна схема вольтметра послідовного наближення

За командою «Пуск» (момент часу t_1) тригер Т встановлюється в одиничний стан і відкриває схему збігу SW. Імпульси опорної частоти f_0 з виходу генератора G надходять на вхід двійкового лічильника ЛТ, змінюючи тим самим код на його виходах. З виходів ЛТ двійковий код надходить на входи ЦАП і перетворюється там в аналоговий сигнал U_k .

Прихід кожного імпульсу f_0 від генератора G формує нову сходинку компенсуючої напруги U_k на виході цифро-аналогового перетворювача. У момент часу t_2 , коли $U_x = U_k$, тригер Т сигналом «Стоп», який формується на виході компаратора, встановлюється в нульовий стан і закриває схему збігу SW.

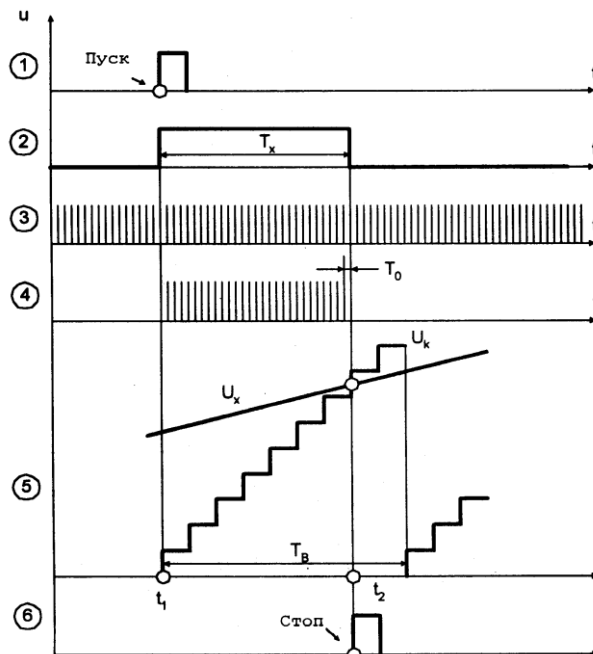


Рисунок 5.18 - Часові діаграми роботи цифрового вольтметра послідовного наближення

Таким чином, у лічильнику ЛТ сформується двійковий код N, що визначається співвідношенням (рис.5.19)

$$N_v = \frac{U_x}{h} = \frac{U_x}{U_o} \cdot 2^n, \quad (5.20)$$

де $h = U_o / 2^n$ - крок квантування;

n - розрядність двійкового лічильника;

U_o - напруга опорного джерела живлення ЦАП.

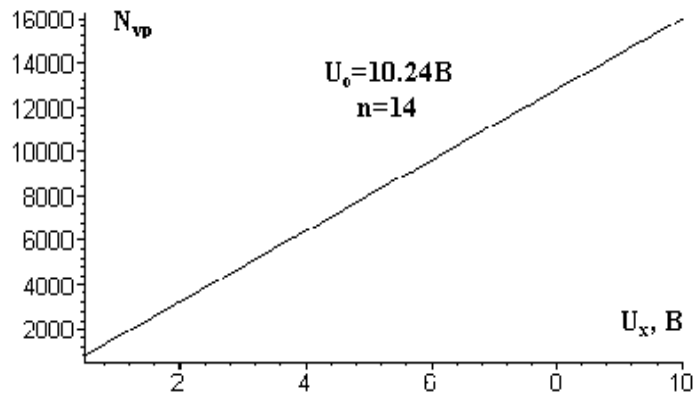


Рисунок 5.19 - Статична характеристика цифрового вольтметра послідовного наближення

Похибка квантування (рис. 5.20) вольтметра послідовного наближення визначається

$$\delta_{kv} = \frac{U_o}{U_x \cdot 2^n} \cdot 100\% . \quad (5.21)$$

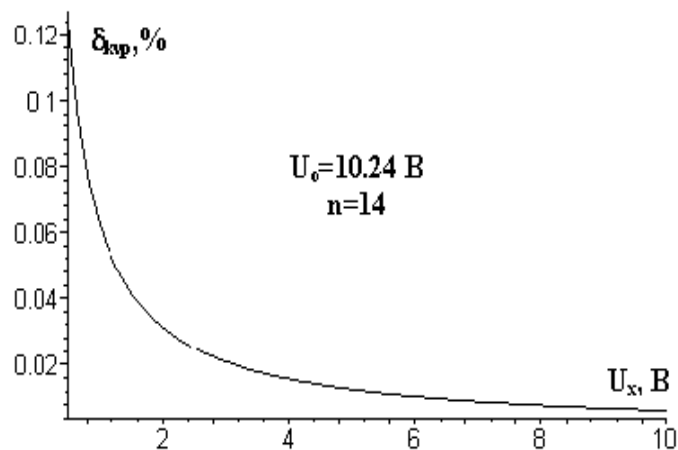


Рисунок 5.20 - Залежність похибки квантування від вимірюваної величини

Час перетворення та похибка квантування вольтметрів послідовного наближення залежать від вимірюваної величини, а значення δ_{kv} в основному визначається розрядністю ЦАП і зоною нечутливості компаратора.

5.6 Цифровий вольтметр слідкуючого зрівноважування

Алгоритм слідкуючого зрівноважування полягає в постійному слідкуванні компенсуючої напруги за змінами вимірюваного інформативного параметра (напруги).

Цифрові вольтметри слідкуючого зрівноважування працюють в режимі слідкування за змінами вимірюваної напруги. На рис. 5.21 наведено структурну схему вольтметра слідкуючого зрівноважування, а на рис. 5.22 – часові діаграми його роботи.

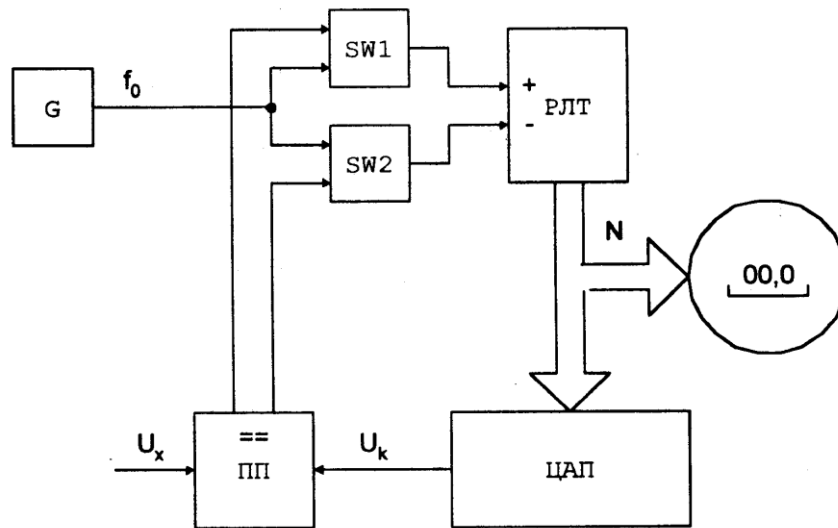


Рисунок 5.21 - Структурна схема вольтметра слідкуючого зрівноважування

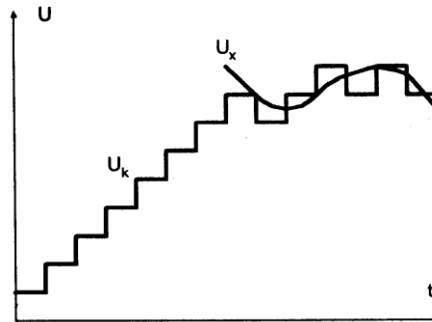


Рисунок 5.22 - Часові діаграми роботи вольтметра слідкуючого зрівноважування

Цифрові вольтметри слідкуючого зрівноважування містять реверсивний двійковий лічильник РЛТ і дві схеми збігу SW1 і SW2, керовані від компаратора ПП. В залежності від співвідношення напруг U_x і U_k у запропонованій структурі компаратор ПП може знаходитися в одному з трьох станів, що визначаються різницею $U_x - U_k$.

1. Напруга на обох виходах (1 і 2) компаратора дорівнює нулю при виконанні умови ($U_x = U_k$). В цьому стані обидві схеми збігу закриті і імпульси з виходу генератора G, не надходять на лічильники (рис.5.23).

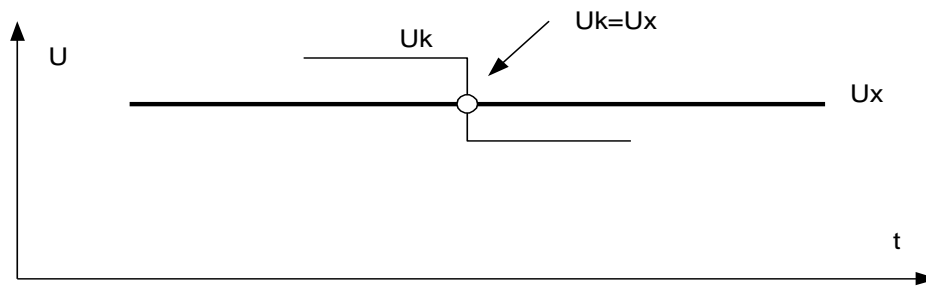


Рисунок 5.23 - Часові діаграми роботи слідкуючого вольтметра за умови ($U_x=U_k$)

2. При виконанні умови $U_x > U_k$ (рис.5.24) на першому виході компаратора формується одиничний рівень, який відкриває схему збігу SW1 і імпульси зразкової частоти f_0 надходять на інкрементувальний вхід реверсивного лічильника РЛТ. Схема SW2 збігу закрита нульовим рівнем.

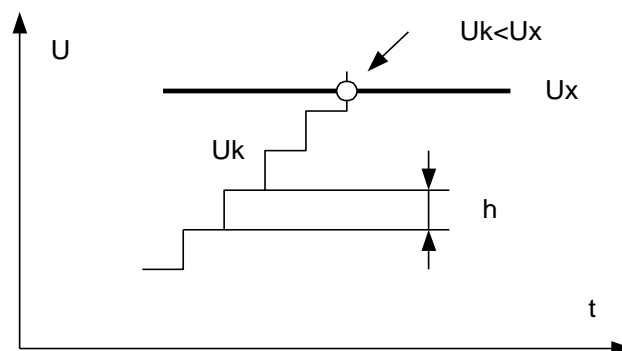


Рисунок 5.24 - Часові діаграми роботи слідкуючого вольтметра за умови $U_x > U_k$

3. Схема SW2 відкрита одиничним рівнем з другого виходу компаратора при виконанні умови ($U_x < U_k$). У цьому випадку (рис. 5.25) працює декрементувальний вхід реверсивного лічильника, тому що SW1 закрита.

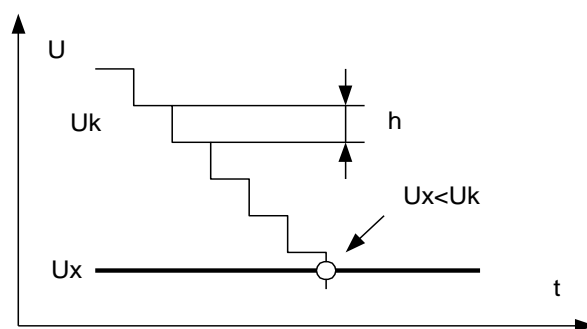


Рисунок 5.25 - Часові діаграми роботи слідкуючого вольтметра за умови ($U_x < U_k$).

При роботі реверсивного лічильника в режимі підсумовування або віднімання напруга на виході цифро-аналогового перетворювача ЦАП відповідно збільшується або зменшується так, що різниця напруг $U_x - U_k$ прямує до деякого мінімального значення, яке характеризує похибку квантування Δ_k . Крок квантування вибирається відповідно до ширини зони нечутливості компаратора.

6 ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

6.1. Міжнародні організації зі стандартизації

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) почала офіційно діяти з 1947 р., коли затверджено її Статут. В Статуті ISO так сформульована мета її діяльності:

«Метою Організації є сприяння розвитку стандартизації на світовому рівні для полегшення міжнародного товарообміну і взаємодопомоги, а також для розширення співробітництва в галузі інтелектуальної, наукової, технічної і економічної діяльності».

Для досягнення цієї мети вона може:

- вживати заходи для полегшення координації і уніфікації національних стандартів і з цією метою видавати необхідні рекомендації;
- встановлювати міжнародні стандарти;
- по можливості сприяти і полегшувати розробку нових стандартів, які мають спільні правила і однаково застосовуються як на національному, так і на міжнародному рівні;
- організовувати обмін інформацією про роботу своїх комітетів;
- співпрацювати з іншими організаціями, які зацікавлені в співпраці у суміжних питаннях, що відносяться до стандартизації.

Міжнародна організація зі стандартизації є найбільш представницькою із всіх організацій, що працюють в даній галузі.

Членами ISO є національні організації зі стандартизації. Кожна держава може бути представлена в ISO тільки однією організацією.

Найстарішою організацією з міжнародного співробітництва в галузі стандартизації є **Міжнародна електротехнічна комісія МЕК (IES)** формально затверджена в 1906 р. в Лондоні.

Міжнародна електротехнічна комісія є основним міжнародним органом в галузі стандартизації з електротехніки і радіоелектроніки і зв'язку. Одночасне існування двох міжнародних організацій зі стандартизації (ISO і IES) є цілком виправданим. Якщо сфера діяльності ISO розповсюджується на всі галузі промислового і сільськогосподарського виробництва, то сфера діяльності IES обмежується тільки двома галузями. Але вироби цих галузей застосовуються практично для всієї економіки.

Статут МЕК визначає основну задачу комісії в сприянні координації національних стандартів в галузі електротехніки, радіоелектроніки і зв'язку. Крім стандартизації, МЕК здійснює роботу з міжнародної сертифікації виробів електронної техніки.

З 1975 року рекомендації МЕК отримали статус міжнародних стандартів. Міжнародні стандарти розробляють технічні комітети, які можна поділити на десять груп:

- загальнотехнічні питання, термінологія, позначення, величини і одиниці;
- двигуни і електричні машини;
- лінії передач і їх обладнання;
- кабелі і провідники;
- електрообладнання;
- побутові електроприлади і освітлення;
- засоби вимірювальної техніки, системи керування промисловими підприємствами;
- ізоляції;
- джерела живлення;
- радіозв'язок, радіобладнання і електронна апаратура.

Міжнародна організація законодавчої метрології діє з 1956 року. Її основним завданням є встановлення єдності вимірювань на міжнародному рівні для забезпечення збігу результатів вимірювання і досліджень, що проводяться різними державами, для досягнення однакових технічних характеристик виробів, властивостей речовин, матеріалів та іншої продукції, яка є предметом товарообміну між державами. Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ) розробляє рекомендації щодо оцінювання похибок вимірювань, методів вимірювань, загальних питань теорії вимірювань, методів повірки засобів вимірювань, термінології, позначень тощо. Крім того, МОЗМ є науково-технічним центром з обміну інформацією про діяльність національних організацій метрологічного нагляду.

Практична діяльність із забезпечення єдності вимірювань на міжнародному рівні здійснює Міжнародне бюро мір і ваги, яке має у своєму складі наукові лабораторії, що територіально розміщені на інтернаціональній території в м. Севр (Франція). Основною задачею цього бюро є зберігання і підтримання міжнародних еталонів одиниць фізичних величин і порівняння з ними національних еталонів.

6.2 Загальні положення

У 1962 р. Міжнародна організація зі стандартизації ІСО прийняла перше визначення терміна "стандартизація".

Стандартизація - це діяльність, яка спрямована на досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній галузі шляхом встановлення положень для загального і багаторазового застосування.

Метою стандартизації в Україні є забезпечення безпеки для здоров'я та життя людини, свійських тварин, охорони навколишнього природного середовища, створення умов для раціонального використання всіх видів національних ресурсів та відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню, сприяння усуненню технічних бар'єрів у торгівлі.

Робота із стандартизації може проводитися в міжнародному масштабі, в окремій країні, галузі господарства, підприємстві. Поняття стандартизації в окремій країні може мати своє уточнення.

Національна стандартизація - це процес установлення єдиних, найбільш раціональних для народного господарства норм і правил на параметри, розміри і якість виробів, на технологію їх виготовлення, маркування, упакування та зберігання.

Міжнародна стандартизація – стандартизація, участь у якій відкрита для відповідних органів усіх країн.

Орган стандартизації – орган, що займається стандартизацією, визнаний на національному, регіональному чи міжнародному рівні, основними функціями якого є розроблення, схвалення чи затвердження нормативних документів (стандартів, технічних умов тощо).

Стандарт - це нормативно-технічний документ із стандартизації, який установлює комплекс норм, правил та вимог до об'єкта стандартизації і затверджується органом стандартизації.

Стандарт може розроблятися як на матеріальні об'єкти (продукцію, сировину, матеріали), так і на норми, правила, вимоги до об'єктів організаційно-методичного і загальнотехнічного характеру.

Тобто, до об'єктів стандартизації відносяться: вироби всіх галузей народного господарства, а також одиниці вимірювання, термінологія і позначення, технологічні процеси, методи випробовування та вимірювання, характеристики виробів, правила маркування, упакування, зберігання та транспортування.

ТУ (технічні умови) – нормативно-технічний документ із стандартизації, що встановлює технічні вимоги, яким повинні відповідати продукція, процеси чи послуги. Технічні умови можуть бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

Суб'єктами стандартизації є:

- національний орган стандартизації;
- рада стандартизації;
- технічні комітети стандартизації;
- інші суб'єкти, що займаються стандартизацією.

Національним органом стандартизації є спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації, який

організовує, координує та провадить діяльність щодо розроблення, схвалення, прийняття, перегляду, зміни, скасування, розповсюдження національних стандартів.

Рада стандартизації є колегіальним консультативно-дорадчим органом при Кабінеті Міністрів України.

Основною метою діяльності Ради є налагодження взаємодії між виробниками, споживачами продукції та органами виконавчої влади, узгодження інтересів у сфері стандартизації, сприяння розвитку стандартизації.

Національний орган стандартизації створює технічні комітети, на які покладаються функції із розроблення, розгляду та погодження міжнародних та національних стандартів.

Технічні комітети стандартизації формуються з урахуванням принципу представництва всіх заінтересованих сторін. До роботи в технічних комітетах стандартизації залучаються на добровільних засадах уповноважені представники органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання та їх об'єднань, науково-технічних та інженерних товариств, товариств-споживачів, інших громадських організацій, провідні науковці і фахівці.

6.3 Категорії стандартів

В залежності від сфери дії стандарти діляться на такі категорії:

- *державні стандарти (ДСТУ)* - це головні нормативно-технічні документи. Обов'язкові для всіх підприємств і організацій у всіх галузях народного господарства. Ці стандарти розробляються переважно на продукцію масового та багатосерійного виробництва, на норми, правила і вимоги, установлення яких необхідне для забезпечення високої якості продукції і взаємозв'язку різних областей промисловості, науки і техніки. Затверджуються національним органом стандартизації;

- *галузеві стандарти (ГСТ)* - обов'язкові для всіх підприємств відповідної галузі (машинобудівної, хімічної тощо), а також для підприємств і організацій інших галузей, які використовують продукцію даної галузі. Установлюються на продукцію галузі. Затверджуються Міністерством з певної галузі;

- *стандарти підприємств (СТП)* - обов'язкові для всіх відділів підприємства. Установлюються на деталі, вироби, правила та вимоги, які застосовуються на даному підприємстві. Затверджуються керівництвом підприємства.

Всі ці три категорії стандартів є національними. Існують ще міждержавні стандарти (ГОСТи) та стандарти міжнародних організацій, таких як ISO, IEC та ін., які діють на території окремих держав.

6.4 Розроблення і прийняття стандартів

Національні стандарти розробляються технічними комітетами стандартизації, а в разі їх відсутності – іншими суб'єктами стандартизації, що мають для цього відповідний науково-технічний потенціал.

Стандарти повинні відповідати потребам ринку, сприяти розвитку вільної торгівлі та бути викладені таким чином, щоб їх неможливо було використовувати з метою введення в оману споживачів продукції, якої стосується стандарт, чи надавати перевагу виробнику продукції або продукції залежно від місця її виготовлення.

Стандарт як документ розробляється не зразу, а проходить певні етапи розробки:

- **складання технічного завдання (ТЗ).** Тут систематизуються необхідні дані щодо об'єкту. Враховуються останні досягнення вітчизняної і зарубіжної науки, техніки, передового досвіду. ТЗ включає: основну мету розробки, зміст стандарту, взаємодію з діючими стандартами, обсяг і вид робіт на розробку стандарту, техніко-економічне обґрунтування, етапи і строки робіт;

- **розробка проекту стандарту** – перша його редакція. Розгляд проекту на науково-технічній раді розробника і розсилання його на відгук в провідні організації;

- **обробка відгуків.** На кожне зауваження або пропозицію організація-розробник повинна дати обґрунтоване пояснення. Остаточне редагування проекту з урахуванням всіх зауважень і пропозицій;

- **підготовка стандарту для подачі** на затвердження разом з супроводжувальним листом і інформаційною картою, в якій наводять розрахунок економічної ефективності від впровадження стандарту;

- **затвердження стандарту** і установа строків впровадження його в дію, реєстрація і присвоєння номера стандарту;

- **видання стандарту.**

Перелік національних стандартів, схвалених та прийнятих протягом місяця, публікується наступного місяця в офіційному виданні національного органу стандартизації.

Міжнародні стандарти запроваджуються як національні стандарти за умови їх прийняття національним органом стандартизації.

Стандарти застосовуються на добровільних засадах якщо інше не встановлено законодавством.

Стандарти застосовуються безпосередньо чи шляхом посилання на них в інших документах.

Міжнародні стандарти та стандарти інших країн, якщо їх вимоги не суперечать законодавству України, можуть бути застосовані в Україні в

установленому порядку шляхом посилання на них у національних та інших стандартах.

Стандарти не вічні. Вони потребують змін, доповнень, а то і ліквідації.

Ліквідують, в основному, ті стандарти на продукцію яких немає вже потреби, або нова продукція має переважані характеристики. Це в основному продукція хімічної промисловості, медицини та ін.

Міждержавні стандарти (ГОСТи) в Україні та державні стандарти (ДСТУ), інші нормативні документи України є чинними до скасування або до прийняття відповідних національних стандартів.

6.5 Основні методи стандартизації

Основні методи стандартизації: симпліфікація, уніфікація, агрегатування і типізація.

Всі ці методи ефективні в галузях з великою номенклатурою комплектуючих виробів.

6.5.1 Симпліфікація

Найпростішим методом стандартизації, але який має великий техніко-економічний ефект є **симпліфікація** (від лат. simplex - простий, facio - роблю).

Симпліфікація (обмеження) - робота з раціонального обмеження числа марок, типів і видів виробів.

Тобто, із всієї можливої сукупності виробів відбирається якась частина виробів, яка призначена для виконання всіх основних функцій цієї групи виробів.

В результаті симпліфікації типорозміри виробів скорочуються до числа, достатнього для задоволення існуючих в даний час потреб. (Наприклад, з нафти можна виготовити бензин будь-якої марки, але як відомо є тільки А-76, А-80, А-95 та ін.; етажність будинків - 5, 9, 16; номенклатура радіодеталей і т.п.)

В результаті симпліфікації значно збільшується ефективність виробництва, оскільки зменшується номенклатура матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів, відповідно полегшується матеріально-технічне забезпечення, складування. Менше треба оформлювати різних звітів. При цьому одночасно зменшується номенклатура і кількість запасних частин, засобів для роботи, а значить зменшується вартість виробів, полегшується їх експлуатація.

Характерним для симпліфікації є те, що в процесі скорочення числа виробів, в останні не вносяться технічні зміни.

Більші можливості в цьому плані дає інший метод, який є більш поширеним і ефективним.

Це метод уніфікації (від лат. unis - один, facio – роблю).

6.5.2 Уніфікація

Хто не користувався дитячим конструктором, коли із одних і тих самих деталей можна було сконструювати різні вироби. Було б непогано це в реальному житті.

Деталі, які вперше виготовлені або використовуються лише в одній конкретній машині, називають **оригінальними**. Деталі, які мають однойменні позначення і застосовуються у двох і більше різних машинах, називають **уніфікованими**.

Уніфікація – використання однакових за функціональним призначенням деталей, складальних одиниць, агрегатів в різних машинах, для раціонального скорочення типів виробів.

Цей метод характеризується ступенем уніфікації.

Ступінь уніфікації – це відношення суми уніфікованих деталей машини до суми всіх деталей машини

$$K_y = \frac{\sum N_y}{\sum N_z} 100\%,$$

де N_y - кількість уніфікованих деталей;

N_z - загальна кількість деталей машини.

Значення ступеня уніфікації може бути різним, хоча базова деталь одна і та ж.

Наприклад, ступінь уніфікації тракторів різного призначення на базі трактора МТЗ-80 становить: для машини універсально-просапної – 61 %; для трактора з обробки бавовни – 88 %; для трактора бурякозбирального – 95 %.

Об'єктами стандартизації за методом уніфікації є багато видів і типів різної продукції, а також вузли і деталі, одиниці вимірювання і позначення, технічна документація та ін.

Уніфікація дає високий техніко-економічний ефект. Другими словами, вона знижує вартість і трудомісткість, підвищує якість, забезпечує використання прогресивних технологічних процесів, скорочуються строки і об'єми робіт, полегшується експлуатація та ремонт.

Наприклад, в процесі уніфікації конструкцій багатопверхових будинків були змінені розміри плит перекриття, переріз колон, одночасно були визначені переважні марки бетону, арматурної сталі та ін. В результаті на 20 % скоротилось число типорозмірів монтажних виробів, що

значно прискорило монтажні роботи і зменшило трудомісткість виготовлення виробів на 10 %.

Проведення уніфікації дозволило скоротити в 3 рази число кранобудівельних підприємств і збільшити серійність їх виробництва в 5 раз!

В радіотехніці проектування радіоапаратури проводиться в основному уніфікованими деталями (резистори, конденсатори та ін., які однакові і в телевізорах, і в приймачах і т.п.). В машинобудуванні широко використовуються уніфіковані стандартні деталі (гайки, шайби, болти, гвинти та ін.)

Головна відміна і разом з тим перевага уніфікації полягає в тому, що зменшення числа різновидів супроводжується зміною конструкції, розмірів, марок виробів.

6.5.3 Агрегативання

Агрегативання походить від латинського “agregate”, що означає приєднувати.

Агрегативання є продовженням розвитку методу уніфікації і полягає в тому, що виділяються і конструктивно об'єднуються окремі уніфіковані вироби у функціонально самостійні вузли, придатні для використання в різних машинах.

Агрегативання - це метод створення машин, обладнання і приладів на основі компонування у виробі в різних комбінаціях уніфікованих агрегатів (вузлів).

Початківцями у впровадженні агрегатного методу є будівельники станків. Вони досягли того, що процес конструювання високопродуктивного агрегатного станка з новими функціями зводиться в основному до компонування його із уніфікованих вузлів і деталей.

Наприклад, свердлильний станок, фрезерний, токарний. Уніфікованим вузлом у них є двигун – редуктор – патрон. Широко цей метод поширений в будівельній галузі (блокове будівництво будинків, панельні будинки тощо). В радіотехніці - проектування радіоапаратури із функціонально закінчених модулів, мікросхем тощо.

Техніко-економічна ефективність агрегативання полягає в значному зниженні трудомісткості проектування нових виробів. Строки проектування і освоєння нових виробів скорочуються з 4...6 разів до 1,5...2 за рахунок використання освоєних раніше і перевірених в експлуатації вузлів. Відповідно знижуються затрати на виробництво в 1,5...2 рази. Збільшується випуск машин на тих же виробничих потужностях, а собівартість їх виготовлення зменшується на 25...30 %. Покращуються умови обслуговування та ремонту.

6.5.4 Типізація

Мікросхеми мають різні функціональні можливості (лічильники, тригери, шифратори і т.д.) але виготовляються в корпусах однієї форми. Телевізори приведені до однієї конструкції.

Типізація - це обґрунтоване зведення різноманітних виробів до невеликої кількості типів (базових). Цей метод ще називають методом "базових конструкцій".

В результаті типізації розробляються типові конструкції або технологічні рішення, які мають загальні для ряду виробів або процесів технічні характеристики.

Цей метод широко поширений в промисловості як для стандартизації типових виробів загального призначення, так і для стандартизації типових технологічних процесів. Він характеризується визначенням об'єктів, які є найбільш характерними і оптимальними для даної сукупності об'єктів, що розробляються. При цьому в об'єкти можуть вноситися деякі зміни або доробки для виконання необхідних задач. Розроблення технічних документів, які установлюють порядок проведення будь-яких робіт, розрахунків, досліджень і т.п., також є прикладом використання методу типізації.

Метод типізації широко використовують в будівництві: створення типових проектів бетонозмішувальних вузлів, арматурних і формувальних ліній для більшості виробів. В радіотехніці: типовими є корпуси напівпровідникових приладів, інтегральних мікросхем. В комп'ютерах сімейства IBM PC базовою платою є "материнська" плата.

Техніко-економічна ефективність типізації полягає в тому, що:

- при проектуванні нового виробу використовується перевірений шлях, метод, конструкція, яка виключає зайві пошуки і можливі помилки;
- значно прискорюється підготовка виробництва і знижуються затрати на її виконання;
- значно полегшуються умови експлуатації і ремонту техніки, яка має багато загальних конструктивних елементів або принципів дії.

Розглядаючи методи стандартизації в сукупності можна зробити такі висновки:

- всі методи стандартизації ведуть до скорочення номенклатури об'єктів, до меншої їх кількості, але кращої якості;
- до одних і тих самих об'єктів може бути використаний будь-який із методів або їх сукупність;
- використання кожного з методів приносить відповідний техніко-економічний ефект.

6.6 Системи переважних чисел

Все, що нас оточує, все багатство і різноманітність живої і неживої природи складається, як відомо, із 106-ти хімічних елементів.

Для того, щоб виразити на папері всі людські емоції, достатньо 32 букви алфавіту і десятка розділових знаків. В музиці всього сім нот, із поєднання яких створюються геніальні музичні твори. Незвичайна, багатобарвна краса природи має у своїй основі всього сім кольорів.

В основі будь-яких банківських розрахунків лежить невеликий набір грошових одиниць (1, 2, 5, 10, 25, 50, 100).

Основою стандартизації є переважні числа і їх ряди. Якщо конструктор буде у своїй роботі використовувати ці числа, то він уникне багатьох помилок при розробці нових виробів. Адже при розробці нових виробів можна сконструювати вироби будь-яких геометричних розмірів чи інших характеристик, таких як, потужність, вантажопідйомність, швидкість, продуктивність і т.д. Але як потім пов'язати між собою характеристики окремих виробів і позбавитися від непотрібної їх різноманітності?

Необхідно, щоб існували якісь строго обґрунтовані системи узгодження параметрів (однакові для всіх виробників), використання яких і забезпечить узгодження параметрів кожного окремого виробу.

Всі відомі системи узгодження параметрів будуються на таких принципах стандартизації:

- **пропорційності** - параметри виробу пропорційні одному, який є головним;

- **адитивності** - (від лат. *additivus* - додавати, одержаний шляхом додавання) - параметри виробу укладаються у ряди чисел, які утворюються шляхом послідовного додавання;

- **мультиплікативності** - (від лат. *multiplicus* - множити, одержаний шляхом множення) - параметри виробу укладаються у ряди чисел, які утворюються шляхом множення на постійний множник.

6.6.1 Пропорційні системи узгодження

В середині XIX століття ці системи були найбільш поширеними. Були отримані прості функціональні залежності від одного, а інколи від двох параметрів, прийнятих за основні, за якими можна було легко визначити всі інші розміри механізмів того часу. Наприклад, розміри елементів болта визначають за їх співвідношеннями до зовнішнього діаметра d різьби: висота головки болта рівна $0,7d$, діаметр описаного кола – $2d$, внутрішній діаметр різьби - $0,85d$.

Але прогрес техніки, який визвав появу нових матеріалів, більш складних споруджень (машин, кораблів і т.п.) привів до відмирання цих систем узгодження.

Зараз ці системи використовуються при стандартизації найпростіших деталей (гайок, болтів, гвинтів тощо), деяких інструментів (наприклад зуборізних).

6.6.2 Адитивні системи узгодження

Адитивні системи узгодження параметрів використовують різні ряди чисел, які утворені шляхом послідовного додавання. Розглянемо деякі приклади адитивних систем.

Ряд золотого перерізу (золотий ряд) - послідовна система чисел, які підлягають такому закону

$$\frac{a_i}{a_{i+1}} = \frac{a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}}.$$

Перші числа цього ряду $a_1 = 0,382$, $a_2 = 0,618$ і отримали назву золотих (золотий переріз); відрізки золотого перерізу складають: більший - 0,618 цілого, менший - 0,382 цілого.

Гармонічне ділення відрізка золотим перерізом було відоме ще в далеку давнину (термін був введений Леонардо да Вінчі), і не виключено, що цей ряд був першим, який придумали люди для узгодження параметрів. Правильніше, не придумали, а просто запозичили у її Величності Природи. Оскільки скрізь де людина відчуває гармонію природи (в рослинах, в архітектурі сучасних і стародавніх споруджень) присутній золотий переріз. Ріст чоловіків також ділиться за законом золотого перерізу: від тімені до пупка (70 см) і від пупка до п'ят (110 см).

Числа Фібоначчі, італійського математика, який жив в 1180-1240 р., – це ряд чисел, що підпорядковуються такій закономірності

$$a_i = a_{i-1} + a_{i-2},$$

де кожне число цього ряду дорівнює сумі двох попередніх чисел.

Значення $a_0 = a_1 = 1$. Наприклад, для цілих чисел:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144 \text{ і т.д.}$$

Числа цього ряду зразу ростуть повільно, а потім швидко наростають. Члени ряду Фібоначчі близькі до золотого перерізу і чим більший номер, тим точніше виконується золота пропорція.

Числа Фібоначчі - також із Природи, ними описуються різні біологічні та хімічні процеси (наприклад, окисли урану U_2O_5 , U_3O_8 , U_5O_{13}) або із ближнього Космосу - взаємні відстані планет, основні їх розміри, періоди обертання.

Система переважних чисел у вигляді арифметичної прогресії, де кожний наступний член є сумою попереднього числа і якогось сталого числа d (різниці). Наприклад, 5, 7, 9, 11, 13,..., $d = 2$.

$$a_i = a_{i-1} + d.$$

Використання арифметичної прогресії не вимагає заокруглення чисел і є найбільш простим.

За арифметичною прогресією побудовані ряди діаметрів підшипників кочення (починаючи з номерів 204, 205,... внутрішній діаметр підшипників відповідно змінюється так - 20, 25, 30 мм, різниця $d = 5$), а також деякі розміри болтів, гвинтів, шпильок і інших простих деталей машин. В будівництві: ширина сходів в жилих будинках - 1050, 1200, 1350, 1500,...(різниця $d = 150$), ширина площадок - 1200, 1500, 1800, 2100,...(різниця $d = 300$).

Суттєвим недоліком простого арифметичного ряду є його відносна нерівномірність. При постійній абсолютній різниці відносна різниця (в %) між членами ряду суттєво зменшується з ростом ряду. Наприклад, для ряду 1, 2, 3,..., 9, 10 відносна різниця для чисел 1 і 2 складає 100 %, а для чисел 9 і 10 - всього 11 %. Тобто, кількість великих типорозмірів значно перевищує кількість малих типорозмірів.

Тому цей недолік обмежує використання цього ряду для побудови функціонально залежних параметрів промислових виробів.

Для усунення вказаного недоліку, на практиці знаходять використання ступінчасто-арифметичні ряди, в яких для малих типорозмірів різницю вибирають меншою, а для великих - більшою. Наприклад, діаметри метричної різьби:

$$1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6;(d=0,1)...; 3,0; 3,5; 4,0;(d=0,5)...; 145; 150; 155;...(d=5)$$

6.6.3 Мультиплікативна система узгодження

Найширше застосовують ряди переважних чисел (РПЧ), побудованих за геометричною прогресією, яка є рядом чисел із сталим відношенням двох сусідніх чисел - знаменником прогресії q :

$$a_i = a_{i-1} \cdot q.$$

Наприклад, потужність резисторів: 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 Вт ($q = 2$); число обертів за хвилину асинхронних електродвигунів: 375, 750, 1500, 3000 об/хв.

Французький інженер Шарль Ренар запропонував РПЧ, побудований за геометричною прогресією із знаменником $\sqrt[5]{10}$, який забезпечував десятикратне збільшення кожного п'ятого члена ряду

$$a; a\sqrt[5]{10}; a(\sqrt[5]{10})^2; a(\sqrt[5]{10})^3; a(\sqrt[5]{10})^4; a(10).$$

На основі даної рекомендації міжнародна організація із стандартизації ІСО установила в 1953 році міжнародну систему переважних чисел (таблиця 6.1) із такими знаменниками:

$$\sqrt[5]{10} \approx 1,6 \text{ (ряд R5); } \sqrt[10]{10} \approx 1,25 \text{ (ряд R10);}$$

$$\sqrt[20]{10} \approx 1,12 \text{ (ряд R20); } \sqrt[40]{10} \approx 1,06 \text{ (ряд R40)}$$

і два додаткових ряди (R80 і R160).

В радіотехніці використовують ряди переважних чисел, які запропоновані МЕК:

$$\sqrt[3]{10} \approx 2,2 \text{ (ряд E3); } \sqrt[6]{10} \approx 1,5 \text{ (ряд E6);}$$

$$\sqrt[12]{10} \approx 1,2 \text{ (ряд E12); } \sqrt[24]{10} \approx 1,1 \text{ (ряд E24)}$$

і два додаткових ряди (E48 і E96).

Ряди переважних чисел нескінченні як в більшу, так і в меншу сторону. Числа більші 10 утворюються множенням на 10; 100; 1000 і т.д. Числа менші 1 – множенням на 0,1; 0,01; 0,001 і т.д.

Прикладами РПЧ можуть служити параметри радіоелектронної апаратури (номінальні значення резисторів, конденсаторів та інших компонентів), конструкції залізобетонних, металевих, дерев'яних виробів та багато інших.

Крім цих рядів на практиці знаходять використання вибірккові ряди, які утворюються шляхом вибору кожного n-го члена основного ряду. Наприклад, ряд R20/3 одержаний шляхом вибору кожного третього члена основного ряду R20. Запис R10/2(1,6) означає, що вибіркковий ряд одержаний шляхом вибору кожного другого члена основного ряду R10 починаючи з числа 1,6. Запис 100R5(2,5) означає, що вибіркковий ряд R5 починається з числа 2,5 і помножений на 100.

Властивості РПЧ такі, що якщо при виборі потужності, вантажопідйомності, розмірів, тиску і т.д. дотримуватися відповідного ряду переважних чисел, то цим забезпечується узгодження параметрів кожного окремого виробу (групи виробів) з усіма пов'язаними з ним видами продукції. Дійсно, добуток або частка переважних чисел також є членами РПЧ; цілі додаткові або від'ємні степені будь-якого переважного числа – члени ряду.

Параметри, які вибрані за системою переважних чисел, забезпечують взаємозв'язок матеріалів, виробів, технологічного обладнання. В результаті скорочуються витрати матеріалів і енергії, підвищується ефективність використання обладнання.

Ряди переважних чисел наведені в табл.6.1.

Таблиця 6.1 –Ряди переважних чисел

| N | R5 | R10 | R20 | R40 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 1 | | | | 1,06 |
| 2 | | | 1,12 | 1,12 |
| 3 | | | | 1,18 |
| 4 | | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| 5 | | | | 1,32 |
| 6 | | | 1,40 | 1,40 |
| 7 | | | | 1,50 |
| 8 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 |
| 9 | | | | 1,70 |
| 10 | | | 1,80 | 1,80 |
| 11 | | | | 1,90 |
| 12 | | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| 13 | | | | 2,12 |
| 14 | | | 2,24 | 2,24 |
| 15 | | | | 2,36 |
| 16 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| 17 | | | | 2,65 |
| 18 | | | 2,80 | 2,80 |
| 19 | | | | 3,00 |
| 20 | | 3,15 | 3,15 | 3,15 |
| 21 | | | | 3,35 |
| 22 | | | 3,55 | 3,55 |
| 23 | | | | 3,75 |
| 24 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| 25 | | | | 4,25 |
| 26 | | | 4,50 | 4,50 |
| 27 | | | | 4,75 |
| 28 | | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| 29 | | | | 5,30 |
| 30 | | | 5,60 | 5,60 |
| 31 | | | | 6,00 |
| 32 | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 |
| 33 | | | | 6,70 |
| 34 | | | 7,10 | 7,10 |
| 35 | | | | 7,50 |
| 36 | | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| 37 | | | | 8,50 |
| 38 | | | 9,00 | 9,00 |
| 39 | | | | 9,50 |
| 40 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |

7 ОСНОВИ СЕРТИФІКАЦІЇ

7.1 Загальні відомості

20 травня 2003 року в місті Києві проходив третій Всеукраїнський з'їзд якості. На якому було відмічено, що якість та безпека життя кожного громадянина України – один із пріоритетних напрямів державної політики.

Суть такої політики полягає у забезпеченні високого правового рівня захисту прав споживачів з боку держави, реалізації їхніх прав на безпеку, інформацію, освіту, відшкодування збитку та інше.

Точкою відліку здійснення споживчої політики стало набуття чинності у 1991 р. *Закону України „Про захист прав споживачів”*. *Стаття 42 Конституції України* гарантує споживачам захист їхніх прав з боку держави. Прийнятий у січні 2002 р. *Указ Президента „Про заходи щодо посилення державного захисту прав споживачів”* є продовженням роботи в цьому напрямку на якісно новому рівні.

Указ покладає на державні органи велику відповідальність за безпеку життя та здоров'я своїх співвітчизників і дає кожному споживачу відчуття на собі турботу і захист держави.

Проблем на споживчому ринку дуже багато. Головна з них така – у процесі радикальних економічних перетворень населення не отримувало необхідної підтримки і захисту з боку держави.

З-під державного контролю було фактично виведено сектор роздрібною торгівлі та послуг. У поєднанні з деформованою структурою ринку це зводило нанівець дієвість існуючих законодавчих норм, спрямованих на захист споживчих прав громадян. При цьому деякі недобросовісні виробники виготовляли і реалізовували свою продукцію з порушенням норм і стандартів не тільки за параметрами якості, але й безпеки для життя людини. Серед негативних тенденцій вітчизняного ринку – зниження соціальної активності населення, відсутність у нього споживчих знань, уміння захищати свої права.

Необхідна була негайна протидія насиченню ринку неякісними, фальсифікованими небезпечними для здоров'я та життя товарами. В Україні від нещасних випадків у побутовій сфері гинуть тисячі людей на рік, з них 13 % від неякісних і фальсифікованих алкогольних напоїв.

В Україні тривалий час не було створено ефективну систему нагляду і контролю, яка б гарантувала споживачам придбання якісних товарів, а також систему інформування громадян про їхні права і реальний стан справ на споживчому ринку.

Значного поліпшення вимагали інші аспекти життя, такі як: освіта, медичне обслуговування, житлово-комунальні послуги, а також механізм їх ціноутворення. Для виходу з такого становища необхідно було докорінно змінювати підхід і в цілому всю політику щодо захисту прав споживачів.

Одним із напрямків щодо цього був прийнятий Президентом України 1 жовтня 2002 р. Указ про перетворення Держстандарту України в **Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики** (Держспоживстандарт), який став центральним органом виконавчої влади у сфері захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, сертифікації.

Тобто змінився вектор діяльності Комітету в напрямку значного підвищення уваги з боку держави до проблем споживача.

Сутністю діяльності Комітету в цілому, так і підвідомчих йому організацій є реалізація такої державної політики, що забезпечує належний рівень якості та безпеки життя громадян, створює умови для захисту прав споживачів, підтримує вітчизняного виробника в напрямку підвищення конкурентоспроможності вітчизняних товарів.

На сьогодні одним із дієвих засобів захисту прав споживачів від небезпечної продукції залишається обов'язкова сертифікація, яка проводиться в **Державній системі УкрСЕПРО**, що функціонує в рамках дії Держспоживстандарту.

Сертифікація увійшла в українське життя разом з незалежністю і захищає товаровиробників від недобросовісної конкуренції, а споживачів від неякісної продукції.

Сьогодні Держспоживстандартом акредитовано сотні випробувальних лабораторій і функціонують до півтори сотні органів сертифікації. Тому практично кожний вид продукції, який підлягає обов'язковій сертифікації, є де випробувати і сертифікувати.

Кожен рік в нашій країні видаються тисячі сертифікатів відповідності на промислову продукцію і продукти харчування. Але сотні заявників не одержують сертифікатів і позбавляються права реалізовувати свою продукцію, оскільки вона виявилася небезпечною для людей і навколишнього середовища. Таким чином перекривається шлях неякісним продуктам харчування, тисячам одиниць іграшок, взуття, одягу і алкогольних напоїв тощо.

Що ж таке „Сертифікація”? Коли вперше вона з'явилася?

Історію сертифікації починають розглядати з 20 ст.

Але відомо, що ще в кінці 18ст німецький лікар Самуель Генеман вимагав сертифікувати ліки з рослин для того, щоб якщо вони реалізуються в різних аптеках, вони мали б однакові характеристики, однакову якість. Але тоді ця пропозиція натрапила на великий опір аптекарів і Генеман змушений був залишити місто. Те, за що колись постраждав лікар, стало тепер обов'язковою частиною всього виробничого світу.

Виникнення сертифікації обумовлено перш за все тим, щоб уберегти ринок від неякісних товарів, які не відповідають вимогам стандарту.

Слово сертифікація походить від лат. certus - вірний та facio - роблю.

Сертифікація - це дія, яка проводиться третьою стороною шляхом видачі відповідного документа або знака відповідності, про те, що продукція (процес, послуга) відповідає вимогам нормативного документа.

Третьою стороною називають сторону, яка не залежить ні від виробника (постачальника) ні від споживача.

Сертифікація проводиться з метою:

- запобігання реалізації продукції, небезпечної для життя, здоров'я, майна громадян, навколишнього природного середовища;
- сприяння споживачам у виборі якісної продукції;
- створення сприятливих умов для участі суб'єктів підприємницької діяльності в міжнародному співробітництві та міжнародній торгівлі.

Що таке „**сертифікат відповідності**” – це документ, який видають на продукцію, що пройшла сертифікацію, і який свідчить про відповідність продукції вимогам певного нормативного документа (стандарту, технічних умов).

Що таке „**знак відповідності**” – це захищений в установленому порядку знак, який свідчить, що маркована ним продукція відповідає вимогам певного стандарту чи іншому нормативному документу. Маркування продукції цим знаком здійснює орган із сертифікації, що видав сертифікат відповідності, або підприємство-виробник, якщо воно має на це ліцензію, видану органом із сертифікації. Знак наноситься на упаковки, ярлики або безпосередньо на поверхню товару.

Тут слід звернути увагу на те, що в цих визначеннях говориться про відповідність продукції вимогам певного нормативного документа. Але повна відповідність продукції цим вимогам, ще не означає, що продукція має високий рівень якості.

Відповідність продукції застарілим вимогам того чи іншого нормативного документа буде свідчити про низький рівень її якості, а відповідність продукції стандартам, які визнані у світ, мають найсучасніші вимоги буде говорити про високий рівень її якості. Видача сертифіката відповідності – це лише кінцевий (позитивний) результат при проведенні комплексу робіт, пов'язаних із сертифікацією.

Цей комплекс робіт обумовлений створеною у країні системою сертифікації.

Система сертифікації – це система з власними правилами виконання процедури сертифікації та управління нею, яка забезпечує і гарантує достовірність сертифіката, його відповідність нормативному документу.

В різних країнах і різні системи сертифікації, але всі вони виникли для того, щоб розмежувати ринок від неякісних товарів, які не відповідають вимогам стандартів.

В Україні в 1993 році створена і функціонує Державна система сертифікації продукції – УкрСЕПРО, (далі Система), яка відповідає сучасним вимогам і визнається міжнародними організаціями. В даній Системі сертифікація проводиться за визначеною схемою.

Схема сертифікації – перелік та послідовність дій третьої особи під час проведення сертифікації.

Кожна схема сертифікації продукції визначає:

- тип випробувань продукції (кожного виробу чи вибірково);
- наявність чи відсутність атестації виробництва або сертифікації системи якості підприємства-виробника продукції;
- форму технічного нагляду за сертифікованою продукцією (контрольні випробування виробів, взятих на підприємстві-виробнику чи з торгової мережі).

У світовій практиці використовують вісім основних схем сертифікації продукції, які відрізняються складом і характером вищевказаних робіт.

В рамках Системи УкрСЕПРО сертифікація продукції в Україні поділяється на обов'язкову і добровільну.

Обов'язкова сертифікація на відповідність вимогам нормативних документів та вимогам, що передбачені чинними (діючими) законодавчими актами України, проводиться виключно в державній Системі сертифікації УкрСЕПРО органами, випробувальними лабораторіями, аудиторами, які є акредитованими в Системі і сторонніми як по відношенню до виробника, так і до споживача.

Обов'язковій сертифікації підлягає продукція, яка може бути небезпечною для життя, здоров'я, майна громадян, природного середовища.

У нашій країні такій сертифікації підлягають 39 видів продукції, перелік якої корегується і затверджується Держспоживстандартом.

Обов'язкова сертифікація включає перевірку нормативних і супровідних документів на продукцію, випробування продукції для визначення її характеристик, аналізу результатів з метою видачі сертифіката відповідності та подальший технічний нагляд за сертифікованою продукцією.

Добровільна сертифікація може проводитись на відповідність продукції вимогам, що не віднесені законодавчими актами та нормативними документами до обов'язкових. Вона проводиться з ініціативи виробника, постачальника, споживача на договірних умовах між заявником і органом із сертифікації.

Добровільна сертифікація проводиться з метою реклами продукції, освоєння нових ринків збуту, формування і підтримування іміджу фірми, а також коли цього вимагають умови контракту на поставку продукції.

Добровільну сертифікацію мають право проводити підприємства, організації та інші юридичні особи, що взяли на себе функції органу з добровільної сертифікації і акредитовані в Системі УкрСЕПРО.

В обох випадках після завершення робіт із сертифікації і у разі позитивного рішення заявнику видається сертифікат відповідності встановленої форми і надається право маркувати продукцію знаком відповідності.

Кожна система сертифікації має власний знак відповідності.

Таблиця 7.1 – Знаки відповідності систем сертифікації

| Знак | Пояснення |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|  | Знак обов'язкової сертифікації в Україні; |
|  | Знак добровільної сертифікації в Україні; |
|  | Часткова сертифікація в Україні; |
|  | Німецьке товариство з маркування продукції; |
|  | Британський інститут стандартів; |
|  | Японський комітет промислових стандартів. |

Біля знаку обов'язково вказують:

- номер свідоцтва про атестацію органу із сертифікації;
- номер нормативного документа, якому відповідає продукція.

Продукція, яка вводиться і реалізується на території України повинна бути підтверджена або сертифікатом відповідності, виданим Держспоживстандартом України, або свідоцтвом про визнання іноземного сертифікату, виданим Держспоживстандартом України.

7.2 Порядок проведення сертифікації продукції в Системі УкрСЕПРО

Проведення сертифікаційних робіт в Державній системі сертифікації УкрСЕПРО здійснюється в такому порядку:

- подання та розгляд заявки на сертифікацію (ДСТУ 3413-96);
- прийняття рішення щодо заявки з визначенням схеми (моделі) сертифікації (ДСТУ 3413-96);
- обстеження виробництва (ДСТУ 3957-2000) або атестація виробництва продукції (ДСТУ 3414-96), що сертифікується, або сертифікація системи якості виробництва (ДСТУ 3419-96), якщо це передбачено схемою сертифікації;
- відбір та ідентифікація зразків продукції (ДСТУ 3498-96) для випробувань;
- випробування зразків продукції, оформлення протоколів випробувань (ДСТУ 3412-96);
- аналіз одержаних результатів та прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності та укладення угоди;
- видача сертифіката відповідності відповідної форми (ДСТУ 3498-96), занесення сертифікованої продукції до Реєстру Системи (ДСТУ 3415-96), надання права маркувати продукцію знаком відповідності (ДСТУ 2296-93) та укладення угоди;
- технічний нагляд за сертифікованою продукцією під час її виробництва або реалізації (ДСТУ 3413-96);
- аналіз результатів сертифікаційних робіт та їх вдосконалення.

7.2.1 Подання та розгляд заявки на сертифікацію

Для проведення сертифікації продукції у Системі товаровиробник (Заявник) подає до акредитованого у Системі органу із сертифікації (ОС) продукції заявку за формою 1 (ДСТУ 3413-96).

Для проведення сертифікації продукції, що імпортується і підлягає в Україні обов'язковій сертифікації, заявка подається іноземним виробником в порядку, що встановлений наказом Держспоживстандарту (на той час Держстандарту) України від 2 серпня 1996 р. № 329 (державний реєстр від 16.08-96 р. № 458/1483).

Заявником за схемами обстеження виробництва, атестацією

виробництва та сертифікацією системи якості може бути тільки юридична особа, яка діє від свого імені або через посередників.

До заявки додаються: технічні умови (при наявності); **експлуатаційна документація; ідентифікаційна декларація** заявника для продукції, що виробляється серійно.

В ідентифікаційну декларацію мають бути внесені найменування складових частин (наприклад, монітора, материнської плати, процесора, блоків живлення, накопичувачів та ін.) їх типи, технічні характеристики.

У разі відсутності на час подання заявки акредитованого органу із сертифікації продукції (для виду продукції, що вказана в заявці) заявка подається до Держспоживстандарту України за формою 2.

Під час розгляду заявки орган із сертифікації продукції виконує такі основні процедури:

- реєструє заявку в журналі обліку і заводить справу про сертифікацію, в якій надалі зберігається все листування і документи щодо сертифікації цієї продукції;
- проводить експертизу заявки щодо правильності заповнення її реквізитів та інших супровідних документів;
- визначає перелік додаткових документів, які повинен надати заявник для проведення сертифікації;
- готує документи за прийнятими формами для укладення договору із заявником на проведення передбачених робіт із сертифікації, узгоджує терміни їх виконання та вартість;
- готує рішення за поданою заявкою.

7.2.2 Прийняття рішення щодо заявки

ОС не пізніше як через 30 діб від дня реєстрації заявки надсилає заявнику рішення, яке містить основні умови проведення сертифікації з зазначенням схеми сертифікації. У разі позитивного рішення щодо заявки ОС одночасно надсилає заявнику проект договору на проведення робіт із сертифікації.

Копії рішення надсилаються до:

- органу із сертифікації систем якості (в разі необхідності);
- випробувальної лабораторії, яка буде проводити випробування;
- органу, що буде проводити технічний нагляд (в разі необхідності);
- територіального центру стандартизації, метрології та сертифікації за місцем розташування заявника.

В рішенні обов'язково вказують кількість зразків продукції для випробувань та схему сертифікації.

Якщо за результатами розгляду заявки та супровідних документів виявляється неможливість проведення подальших робіт із сертифікації, заявнику надсилається обґрунтоване рішення і заявка анулюється.

Взаємовідносини між заявником і ОС та органом із сертифікації систем якості (при необхідності) регулюються договорами, укладеними між ними.

7.2.3 Визначення схеми (моделі) сертифікації

Схема (модель) сертифікації визначається ОС під час розгляду заявки з урахуванням бажання заявника, особливостей та стану виробництва конкретної продукції.

Схемами сертифікації продукції, що випускається серійно, є такі:

- **схема 1.** Ця схема передбачає проведення **обстеження виробництва**, сертифікаційні випробування зразків, взятих на підприємстві-виробнику даної продукції та технічний нагляд. Кількість зразків, порядок їх відбору, програма випробувань, порядок і періодичність технічного нагляду визначаються ОС. За результатами обстеження оформляється акт обстеження і видається сертифікат відповідності з терміном дії до двох років;

- **схема 2.** Ця схема передбачає проведення **атестації виробництва**, сертифікаційні випробування зразків, взятих на підприємстві-виробнику даної продукції та технічний нагляд. Кількість зразків, порядок їх відбору, програма випробувань, порядок і періодичність технічного нагляду визначаються ОС. Оформляється атестат виробництва, який вручається заявнику і видається сертифікат відповідності з терміном дії до трьох років;

- **схема 3.** Ця схема передбачає **сертифікацію системи якості** виробництва, сертифікаційні випробування зразків, взятих на підприємстві-виробнику даної продукції та технічний нагляд. Кількість зразків, порядок їх відбору, програма випробувань, порядок і періодичність технічного нагляду визначаються ОС. Видається сертифікат на систему якості та сертифікат відповідності з терміном дії до п'яти років.

7.2.4 Обстеження виробництва

Обстеження виробництва проводиться з метою встановлення відповідності фактичного стану виробництва продукції вимогам документації, підтвердження можливості підприємства виготовляти продукцію відповідно до вимог чинних нормативних документів, видачі рекомендації щодо періодичності та форм проведення технічного нагляду за виробництвом сертифікованої продукції (ДСТУ 3957-2000).

Під час обстеження виробництва проводиться експертиза нормативної, технічної та технологічної документації, яка передбачає:

- перевірку відповідності показників і характеристик продукції, які встановлені технічною документацією, вимогам нормативних документів;

- оцінювання системи вхідного контролю комплектуючих

виробів та системи контролю показників технологічного процесу;

- перевірку відповідності показників точності засобів вимірювальної техніки та випробувального обладнання, які застосовуються, вимогам технічної документації;

- перевірку наявності та ефективності системи метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки і випробувального обладнання, які застосовуються.

За результатами обстеження оформляється акт обстеження, який повинен містити обґрунтовані висновки і, при необхідності, рекомендації щодо усунення виявлених недоліків. Акт підписується членами комісії і затверджується керівником органу.

7.2.5. Атестація виробництва

Атестація виробництва проводиться з метою оцінювання технічних можливостей підприємства-виробника забезпечити стабільний випуск продукції, яка відповідає вимогам нормативних документів, та видачі рекомендацій щодо періодичності випробувань, кількості зразків, що випробовуються під час сертифікації, способів та правил їх відбору.

Атестація виробництва проводиться ОС і виконується за ініціативою заявника або за рішенням ОС. Порядок проведення цих робіт встановлений ДСТУ 3414-96.

Результати атестації оформляються атестатом виробництва, який направляється заявнику.

7.2.6 Сертифікація системи якості

Сертифікація системи якості проводиться з метою підтвердження того, що продукція, яка випускається підприємством, відповідає обов'язковим вимогам нормативних документів; всі технічні, адміністративні та людські чинники, які впливають на якість продукції, знаходяться під контролем; продукція незадовільної якості своєчасно виявляється, і підприємство вживає заходів щодо запобігання постійного виготовленню такої продукції.

Сертифікація систем якості виробництва проводиться органами, що акредитовані в Системі на право проведення цих робіт, виконується за ініціативою заявника або за рішенням ОС. Порядок проведення цих робіт встановлений ДСТУ 3419-96. Сертифікація систем якості проводиться у відповідності з міжнародними стандартами ISO серії 9000 та європейськими стандартами, розробленими на їх основі. Результати сертифікації системи якості оформляються сертифікатом на систему якості, який надсилається заявнику, а його копія - ОС.

7.2.7 Відбір та ідентифікація зразків для випробувань

Відбір зразків продукції для випробувань проводиться ОС або, за його дорученням, іншою організацією.

Кількість зразків для випробувань має відповідати кількості, зазначеній в рішенні щодо заявки.

Відбір зразків проводиться у присутності представника заявника і оформляється актом відбору зразків у трьох примірниках (ДСТУ 3498-96). Один примірник залишається у заявника, другий надсилається до ОС для зберігання, третій - до випробувальної лабораторії, яка зазначена в рішенні щодо заявки.

Відібрані зразки повинні бути укомплектовані, опломбовані і упаковані. Доставку відібраних зразків продукції до випробувальної лабораторії і повернення їх після випробувань заявник виконує за свої кошти.

Після доставки зразків продукції проводиться їх ідентифікація ОС або, за його дорученням, випробувальною лабораторією, яка зазначена в рішенні щодо заявки.

За результатами ідентифікації складається акт ідентифікації (ДСТУ 3498-96).

Зразки продукції, що не пройшли ідентифікацію на випробування з метою сертифікації не приймаються.

7.2.8 Випробування зразків з метою сертифікації

Випробування зразків продукції з метою сертифікації проводяться виключно випробувальною лабораторією (ВЛ), яка акредитована в Системі і визначена ОС у рішенні щодо заявки.

Зразки продукції випробовуються на відповідність обов'язковим вимогам чинних в Україні нормативних документів, зазначених у рішенні.

За позитивними результатами випробувань ВЛ подає до ОС протокол випробувань продукції (згідно з ДСТУ 3412-96). Протокол випробувань повинен бути підписаний виконавцями робіт і затверджений керівником ВЛ. Якщо випробування продукції проводиться декількома ВЛ, то протокол випробувань подає кожна ВЛ.

У разі отримання негативних результатів хоча б по одному з показників випробування з метою сертифікації припиняються, про що ВЛ повідомляє заявника та ОС, який приймає рішення щодо припинення або можливості продовження робіт із сертифікації.

Для проведення повторних випробувань заявник повинен подати нову заявку, а також переконливі докази проведення необхідних заходів, які забезпечили б усунення причин невідповідності.

Зразки продукції, що пройшли випробування з метою сертифікації, в тому числі зруйновані, залишаються власністю заявника.

ОС, якщо вважає потрібним, то залишає (за згодою заявника) у себе або передає на відповідальне зберігання заявнику опечатані зразки продукції - "зразки-свідки". Місце і термін зберігання "зразків-свідків" зазначаються в угоді (договорі).

7.2.9 Аналіз одержаних результатів робіт із сертифікації та прийняття рішення щодо видачі сертифіката відповідності

ОС проводить аналіз результатів робіт із сертифікації виконаних відповідно до вимог вищевказаного Порядку. Під час аналізу результатів випробувань оцінюється їхня повнота, об'єктивність, вірогідність, показники точності та інші характеристики.

Сертифікат відповідності видається ОС на одиничний виріб, на партію продукції або на продукцію, що випускається підприємством серійно.

ОС під час видачі сертифіката відповідності на продукцію укладає із заявником угоду (договір) на право застосування сертифіката відповідності та маркування знаком відповідності продукції згідно з ДСТУ 2296-93.

На підставі протоколів з позитивними результатами випробувань, акта обстеження виробництва з позитивними висновками або атестата виробництва, або сертифіката на систему якості (залежно від прийнятої схеми сертифікації) ОС оформляє сертифікат відповідності, реєструє його в Реєстрі Системи згідно з ДСТУ 3415-96.

Форми сертифікатів відповідності встановлені ДСТУ 3498-96. Вибір форми сертифіката відповідності залежить від ступеня підтвердження вимог нормативних документів:

- якщо підтверджена відповідність продукції усім обов'язковим вимогам, то застосовується форма 1;
- якщо підтверджена відповідність продукції усім вимогам, то застосовується форма 2;
- якщо підтверджена відповідність продукції окремим вимогам, то застосовується форма 3 і в сертифікаті перераховуються підтверджені вимоги.

Термін дії сертифіката відповідності визначає ОС з урахуванням терміну дії нормативних документів на продукцію та схеми сертифікації (див. п.7.2.3). Термін дії виданого сертифіката відповідності не продовжується.

У разі внесення змін до конструкції (складу) продукції або технології виготовлення, що можуть вплинути на показники, які підтверджені під час сертифікації заявник зобов'язаний попередньо повідомити про це ОС, який проводив сертифікацію. ОС приймає рішення про необхідність проведення нових випробувань або оцінювання стану виробництва продукції.

7.2.10. Технічний нагляд за сертифікованою продукцією

Технічний нагляд за сертифікованою продукцією проводиться відповідно до ДСТУ 3413-96 органом, який видав сертифікат відповідності. За пропозицією ОС технічний нагляд може проводитися органом із сертифікації системи якості або територіальним центром. Обсяг,

порядок та періодичність технічного нагляду встановлює ОС.

За результатами технічного нагляду ОС може прийняти рішення про зупинення або припинення дії сертифіката відповідності у випадках:

- виявлення невідповідності продукції вимогам, встановленим під час сертифікації:

- порушення вимог технології виготовлення, правил приймання, методів контролю та випробувань, маркування продукції та ін.;

- внесення заявником змін до нормативних документів, методів випробувань, складу продукції тощо, що може вплинути на відповідність сертифікованої продукції встановленим вимогам, без попереднього узгодження з ОС;

- порушення умов угоди (договору) заявником.

ОС в триденний термін надсилає письмову інформацію про прийняте рішення щодо зупинення або припинення дії виданого сертифіката відповідності до Держспоживстандарту України, його територіального органу та заявнику.

Рішення ОС про зупинення або припинення дії сертифіката відповідності може бути скасоване у випадку, якщо проведенням коригувальних заходів заявник може усунути невідповідності та причини їх виникнення у місячний термін і підтвердити відповідність продукції встановленим вимогам.

Коригувальні заходи виконуються заявником продукції зразу ж після одержання рішення ОС про зупинення або припинення дії сертифіката відповідності. Контроль за виконанням коригувальних заходів здійснює ОС, що видав сертифікат.

Усі витрати на проведення коригувальних заходів та контроль за їх виконанням несе заявник сертифікованої продукції.

Коригувальні заходи вважаються успішно виконаними, якщо після їх виконання продукція відповідає вимогам нормативних документів.

Продукція, на яку була зупинена або припинена дія сертифіката відповідності, може заявлятися заявником на повторну сертифікацію після виконання ним коригувальних заходів, спрямованих на усунення порушень, виявлених під час технічного нагляду.

7.2.11 Інформація за результатами робіт із сертифікації

ОС веде облік виданих сертифікатів та їх копій і копії сертифікатів надсилає до Держспоживстандарту України.

7.2.12 Сертифікація продукції, що імпортується

Сертифікація продукції, що імпортується, проводиться відповідно до вимог вищевказаного Порядку, а у випадках сертифікації за схемами з обстеженням чи атестацією виробництва або сертифікацією системи якості - вимог Порядку проведення робіт із сертифікації продукції іноземних

виробництв за схемами з обстеженням, атестацією та сертифікацією систем якості, затвердженого наказом Держспоживстандарту (Держстандарту) України від 2.08.96р. № 329 (державний реєстр № 458/1483 від 16.08.96р.).

7.2.13 Визнання іноземного сертифіката відповідності

Порядок визнання сертифікатів відповідності, виданих органами із сертифікації інших країн (іноземний сертифікат), які не є членами Системи, на продукцію, що імпортується в Україну, встановлено ДСТУ 3417-96.

Рішення про визнання іноземних сертифікатів приймається ОС на підставі підтвердження відповідності продукції обов'язковим вимогам, що встановлені чинними в Україні законодавчими актами і нормативними документами, міжнародними та національними стандартами інших держав.

Для визнання іноземного сертифіката відповідності, виданого країною з якою не укладено угоди про взаємне визнання, заявник повинен подати до ОС таку документацію:

- заявку з визначенням виробника продукції;
- сертифікат відповідності (або його копію) та протоколи випробувань продукції;
- нормативні документи на продукцію і процедури сертифікації (у разі наявності);
- сертифікат на систему якості, атестат (сертифікат) виробництва (у разі наявності);
- звіти інспекції виробництва (у разі наявності);
- товаропровідну та іншу документацію відповідно до ДСТУ 3417-96.

ОС продукції розглядає документацію, проводить її аналіз та експертизу, приймає рішення про повне або часткове визнання результатів сертифікації продукції. У разі необхідності ОС може звернутися із запитом про додаткову інформацію до заявника.

Якщо ОС приймає рішення про повне визнання іноземного сертифіката відповідності, він готує свідоцтво про його визнання згідно з ДСТУ 3498-96, яке реєструє у Реєстрі Системи.

У разі незначних розходжень в оцінюванні документації щодо показників (характеристик) продукції ОС приймає рішення про часткове визнання результатів сертифікації. У цьому випадку проводяться випробування зразків продукції випробувальною лабораторією лише за цими показниками (характеристиками), після проведення яких (за позитивними результатами) ОС оформляє сертифікат відповідності згідно з вищевказаним Порядком.

У разі значних розходжень під час оцінювання документації щодо показників (характеристик) продукції, які підлягають обов'язковій сертифікації, ОС приймає рішення про проведення випробувань зразків продукції в повному обсязі згідно з вищевказаним Порядком.

7.3 Розгляд спірних питань. Апеляції

Спірні питання розглядаються апеляційною комісією ОС. ОС та організації, що діють за їх дорученням, повинні забезпечувати конфіденційність інформації, обсяги якої встановлює заявник.

Якщо заявник має бажання оскаржити будь-яке рішення ОС, він повинен подати письмову заяву до ОС не пізніше одного місяця після одержання повідомлення про прийняте рішення. Подання заяви не зупиняє дії прийнятого рішення ОС.

Заява конфіденційно розглядається ОС у місячний термін від дня її надходження. Для розгляду спірних питань залучаються співробітники ОС, які не приймали відповідне рішення.

До заяви додаються такі документи:

- листування щодо спірного питання між заявником, випробувальною лабораторією, ОС або органом із сертифікації систем якості;
- відповідні матеріали випробувань, перевірки, нагляду;
- зразки або фотознімки продукції;
- технічна документація на продукцію (у разі необхідності).

Заявник має право бути заслуханим при розгляді заяви.

Рішення стосовно поданої заяви може вмішувати одну із таких рекомендацій:

- видати чи визнати сертифікат відповідності;
- відмовити у видачі чи визнанні сертифіката відповідності;
- підтвердити припинення дії сертифіката відповідності.

Рішення письмово доводиться заявнику протягом п'яти днів після проведення засідання.

У випадку задоволення вимог заявника витрати з розгляду заяви несе ОС.

У разі незгоди із рішенням ОС заявник має право звернутися до Держспоживстандарту України протягом десяти днів від дня одержання рішення, а також до арбітражного суду згідно з чинним законодавством.

7.4 Фінансування робіт із сертифікації продукції

Під час сертифікації продукції фінансові взаємовідносини встановлюються між:

- органом із сертифікації;
- випробувальними лабораторіями (центрами);
- заявником.

Оплаті заявником підлягають усі роботи, пов'язані з обов'язковою сертифікацією продукції незалежно від її результатів,

Оплата робіт із сертифікації продукції проводиться на підставі договору, відповідно до одного з варіантів:

- заявник; укладає договір на проведення усіх робіт з ОС. Із одержаних за договором коштів ОС сплачує за проведення відповідних робіт ВЛ або іншим організаціям:

- заявник укладає окремі договори з ОС, ВЛ або іншими організаціями, що зазначені у рішенні за заявкою, на виконання конкретних видів робіт.

Витрати заявника на проведення робіт із сертифікації продукції відносяться на собівартість продукції.

7.5 Нормативні посилання

1. Сертифікація в Україні. Нормативні акти та інші документи. – Т1. – Київ, 1998. – 368 с.

2. ДСТУ 2296-93 "Національний знак відповідності. Форма, розміри, технічні вимоги та правила застосування".

3. ДСТУ 2462-94 "Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення".

4. ДСТУ 3230-95 "Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення".

5. ДСТУ 3412-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Вимоги до випробувальних лабораторій та порядок їх акредитації".

6. ДСТУ 3413-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції".

7. ДСТУ 3414-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Атестація виробництва. Порядок здійснення".

8. ДСТУ 3415-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Реєстр Системи".

9. ДСТУ 3417-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Процедура визнання результатів сертифікації продукції, що імпортується".

10. ДСТУ 3419-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. Сертифікація систем якості. Порядок проведення".

11. ДСТУ 3498-96 "Система сертифікації УкрСЕПРО. "Бланки документів. Форма та облік".

8 ОСНОВИ АКРЕДИТАЦІЇ

8.1 Мета та основні принципи акредитації

Акредитація - процедура, за допомогою якої національний орган з акредитації офіційно визнає компетентність фізичної або юридичної особи чи відповідного органу виконувати конкретні роботи (випробування, сертифікацію, технічний контроль) відповідно до законодавства України.

Метою акредитації є:

- забезпечення єдиної технічної політики у сфері оцінювання відповідності;
- забезпечення довіри споживачів до діяльності з оцінювання відповідності;
- створення умов для взаємного визнання результатів діяльності акредитованих органів на міжнародному рівні;
- усунення технічних бар'єрів у торгівлі.

Діяльність з акредитації базується на таких **основних принципах**:

- незалежність від неправомірного впливу будь-чиїх інтересів;
- загальнодоступність та неупередженість проведення робіт з акредитації;
- прозорість діяльності з акредитації;
- професійна компетентність виконавців;
- добровільність акредитації;
- забезпечення участі органів виконавчої влади та громадських організацій на паритетній основі;
- застосування гармонізованих з міжнародними та європейськими стандартами вимог щодо акредитації;
- дотримання суспільних інтересів;
- конфіденційність щодо інформації, отриманої в процесі акредитації.

Акредитація здійснюється національним органом з акредитації.

Національний орган з акредитації є державною неприбутковою організацією, яка утворюється центральним органом виконавчої влади з питань економіки та частково фінансується за рахунок Державного бюджету України. Положення про національний орган з акредитації затверджується центральним органом виконавчої влади з питань економіки.

Центральний орган виконавчої влади з питань економіки не має права втручатися в діяльність з питань акредитації національного органу з акредитації.

Національний орган з акредитації очолює керівник, який призначається і звільняється з посади Кабінетом Міністрів України за поданням керівника центрального органу виконавчої влади з питань економіки.

Керівник національного органу з акредитації несе повну відповідальність за діяльність у сфері акредитації.

До складу національного органу з акредитації входять:

- Рада з акредитації;
- технічні комітети з акредитації;
- комісія з апеляцій.

Основними функціями національного органу з акредитації є:

- акредитація органів з оцінювання відповідності з подальшим контролем відповідності вимогам акредитації, прийняття рішення щодо надання, поновлення, підтвердження, тимчасового зупинення або визнання недійсною акредитації;

- розроблення та затвердження правил процедур і програм акредитації органів з оцінювання відповідності, а також правил здійснення контролю відповідності вимогам акредитації, тимчасового зупинення або визнання недійсною акредитації;

- організація навчання, підготовка персоналу з акредитації і надання йому повноважень провадити акредитаційну діяльність відповідно до вимог, встановлених законодавством України;

- ведення реєстрів акредитованих органів з оцінювання відповідності, а також персоналу з акредитації;

- представництво та участь від України у міжнародних, європейських та інших регіональних організаціях з акредитації;

- укладання в установленому законодавством порядку міжнародних договорів про співробітництво та взаємне визнання акредитації органів з оцінювання відповідності;

- участь у роботі щодо гармонізації нормативних документів з міжнародними та європейськими стандартами, які визначають вимоги до національного органу з акредитації та акредитованих органів;

- ведення фонду державних, міжнародних та регіональних нормативно-правових актів і нормативних документів, пов'язаних з акредитацією;

- публікує в офіційних виданнях правила та порядок проведення робіт з акредитації.

Основними функціями **Ради з акредитації** є:

- розроблення рекомендацій щодо формування політики в сфері акредитації та нагляд за її проведенням;

- нагляд за здійсненням акредитації відповідно до принципів, норм та вимог, встановлених у цьому Законі та інших нормативно-правових актах;

- надання рекомендацій щодо затвердження правил процедур та

управління проведенням робіт з акредитації, здійснення контролю і розгляду апеляцій, в тому числі розміру зборів за послуги в сфері акредитації;

- узгодження кваліфікаційних вимог, порядку та правил атестації персоналу з акредитації, складу атестаційної комісії персоналу;

- затвердження та звільнення членів комісії з апеляцій;

- узгодження положення про комісію з апеляцій та змін до нього;

- затвердження та звільнення заступника голови Ради з акредитації;

- підготовка пропозицій стосовно контролю за здійсненням акредитації та організаційно-фінансовою діяльністю національного органу з акредитації;

- прийняття рекомендацій щодо укладення міжнародних договорів про співробітництво та взаємне визнання акредитації органів з оцінювання відповідності;

- розгляд щорічного звіту про діяльність національного органу з акредитації.

Рішення Ради оформляються у вигляді протоколів засідань Ради.

Основними функціями **технічних комітетів** з акредитації є:

- розроблення методичних рекомендацій з питань акредитації;

- визначення спеціальних вимог і додаткових критеріїв акредитації у відповідних сферах, підготовка і подання пропозицій національного органу з акредитації.

Акредитованими можуть бути тільки органи, які є незалежними ні від розробника, виробника, постачальника, ні від споживача і мають компетентність, яка дозволяє проводити роботи в заявленій галузі акредитації.

Акредитованими можуть бути органи з оцінювання відповідності будь-якої форми власності, а саме:

- випробувальні та калібрувальні лабораторії;

- органи із сертифікації продукції, процесів та послуг;

- органи із сертифікації систем якості, систем управління навколишнім природним середовищем;

- органи із сертифікації персоналу;

- органи контролю.

Акредитація органів з оцінювання відповідності здійснюється національним органом з акредитації у порядку, встановленому законодавством.

Рішення про акредитацію органів з оцінювання відповідності приймає керівник національного органу з акредитації. У разі прийняття позитивного рішення видається атестат про акредитацію встановленого зразка із строком дії до п'яти років та надається право використання Національного знаку акредитації. У іншому випадку видається офіційне повідомлення про відмову в акредитації.

Національний знак акредитації – знак, захищений у встановленому законодавством порядку, засвідчує, що організація, яка використовує цей знак на своїх офіційних бланках, акредитована Національним органом з акредитації.

8.2 Акредитація органу із сертифікації

Акредитація органу із сертифікації у Системі є офіційним визнанням його права проводити сертифікацію продукції на відповідність вимогам нормативних документів щодо галузі його акредитації.

Роботи щодо акредитації органів із сертифікації продукції організовує та проводить Національний орган з акредитації.

Акредитація органу із сертифікації передбачає такі основні етапи:

- подання та експертиза документів;
- перевірка органу із сертифікації;
- розгляд результатів перевірки;
- оформлення та видача атестата акредитації;

При акредитації визначається порядок інспекційного контролю за діяльністю органу із сертифікації протягом строку акредитації.

8.2.1 Подання та експертиза документів

Організація, яка претендує на акредитацію, подає заявку та комплект документів, що містить:

- проект «Положення про орган із сертифікації...»;
- проект «Порядку сертифікації...»;
- «Настанову з якості»;
- копію наказу керівника організації-заявника про створення на її базі структурного підрозділу – органу із сертифікації (за необхідності);
- відомості про аудиторів;
- проект «Галузь акредитації».

За результатами експертизи поданих документів складається експертний висновок із оцінювання відповідності органу із сертифікації до вимог, що встановлені цим стандартом.

8.2.2 Перевірка органу із сертифікації

Перевірка здійснюється комісією, що складається з компетентних фахівців та призначається наказом керівника національного органу з акредитації.

Робота комісії проводиться за програмою робіт з акредитації.

Перевіркою встановлюється відповідність фактичного стану органу із сертифікації поданим документам та його здатність виконувати заявлені функції.

За результатами перевірки складається акт, який підписується членами комісії та доводиться до відома керівника органу з сертифікації.

Національний орган з акредитації розглядає результати перевірки та в разі позитивного рішення про акредитацію проводить:

- затвердження «Положення про орган із сертифікації...» та «Порядку сертифікації...»;
- оформлення та видачу атестата акредитації.

Орган із сертифікації реєструється в Реєстрі Системи. У разі негативного рішення кошти, отримані за договором організації, не повертаються.

8.2.3 Інспекційний контроль за діяльністю акредитованого органу із сертифікації

У період дії атестата акредитації та угоди Держстандарт України (орган з акредитації) або інша організація за його дорученням здійснює інспекційний контроль за діяльністю органу із сертифікації.

Діяльність з інспекційного контролю оплачується органом із сертифікації на умовах, що встановлені угодою.

У разі порушення умов акредитації та угоди Держспоживстандарт України (орган з акредитації) приймає рішення про припинення дії або скасування атестата акредитації та розірвання угоди. Орган із сертифікації може подати у зв'язку з цим апеляцію до Держспоживстандарту України (органу з акредитації).

За шість місяців до закінчення строку дії атестата акредитації орган із сертифікації, що має намір продовжити дію акредитації, подає заявку на продовження дії атестата акредитації.

Порядок повторної акредитації встановлюється залежно від результатів інспекційного контролю і її можна проводити за повною або скороченою процедурою.

8.2.4 Розширення галузі акредитації

Акредитований орган із сертифікації, що претендує на розширення своєї галузі акредитації, подає заявку на розширення галузі акредитації.

До заявки додаються всі необхідні відомості про додаткову галузь акредитації.

Акредитацію можна проводити за повною або скороченою процедурою, яка регламентується програмою перевірки з метою розширення галузі акредитації. Ступінь скорочення встановлюється в кожному конкретному випадку.

У разі отримання позитивних результатів оформлюється додаткова галузь акредитації органу за розширеною номенклатурою.

8.3 Порядок акредитації органу із сертифікації систем якості

Організацію та проведення робіт з акредитації органів із сертифікації систем якості здійснює Національний орган з акредитації. Акредитація органу із сертифікації систем якості в Системі є офіційним визнанням його правочинності проводити сертифікацію систем якості (атестацію виробництв) на відповідність вимогам нормативних документів.

Національний орган з акредитації призначає орган із сертифікації систем якості на потрібний для його підготовки до акредитації період, який включає:

- проведення організаційних заходів з метою формування власної структури органу із сертифікації систем якості;
- розроблення організаційно-методичних документів;
- набуття практичного досвіду роботи через проведення сертифікації систем якості за разовими рішеннями Національного органу із сертифікації.

Акредитація органу із сертифікації складається з таких основних етапів:

- подання та експертиза документів;
- перевірка органу із сертифікації;
- розгляд результатів перевірки;
- оформлення і видача атестата акредитації;

Під час акредитації визначається порядок інспекційного контролю за діяльністю органу із сертифікації протягом терміну акредитації.

8.3.1 Подання та експертиза документів

Призначений орган із сертифікації подає заявку та комплект документів, що містить:

- проект "Положення про орган із сертифікації систем якості...";
- "Настанову з якості";
- відомості про аудиторів органу із сертифікації, атестованих у Системі сертифікації УкрСЕПРО;
- копію наказу керівника організації-заявника про створення на її базі органу із сертифікації систем якості;
- заповнену опитувальну анкету для проведення попереднього обстеження системи якості організації-замовника;
- декларацію про відповідність вимогам керівних документів із сертифікації систем якості;

За результатами експертизи поданих документів складається експертний список з оцінюванням відповідності органу із сертифікації систем якості вимогам, встановленим цим документом.

8.3.2 Перевірка органу із сертифікації систем якості

Перевірка здійснюється комісією, що складається з компетентних фахівців та призначається Національним органом з акредитації.

Перевіркою встановлюється відповідність організаційної структури заявника персоналу, внутрішньої системи якості, документованих процедур сертифікації вимогам поданих на експертизу документів та його здатність виконувати функції органу із сертифікації систем якості.

За результатами перевірки складається акт, який підписується членами комісії та доводиться до відома керівника органу із сертифікації систем якості.

Національний орган з акредитації розглядає результати перевірки та в разі позитивної ухвали про акредитацію проводить:

- затвердження „Положення про орган із сертифікації систем якості...”;
- оформлення та підписання ліцензійної угоди між органом із сертифікації систем якості та Національним органом з акредитації;
- оформлення та видачу організації-заявнику атестата акредитації.

Орган із сертифікації систем якості реєструється у Реєстрі Системи сертифікації УкрСЕПРО.

Термін чинності атестата акредитації визначає Національний орган з акредитації. Як правило термін дії атестата акредитації – не більше трьох років від дня реєстрації.

За шість місяців до закінчення терміну дії атестата акредитації орган з сертифікації, що має намір продовжити дію акредитації, подає заявку на продовження дії атестата акредитації.

Порядок повторної акредитації встановлюється залежно від результатів інспекційного контролю і її можна проводити за повною або скороченою процедурою.

8.3.3 Розширення галузі акредитації

Акредитований орган із сертифікації систем якості, що претендує на розширення своєї галузі акредитації, подає заявку на розширення галузі акредитації.

До заявки додаються всі необхідні відомості про додаткову галузь акредитації.

Акредитацію з метою розширення галузі акредитації можна проводити за повною або скороченою процедурою. Ступінь скорочення встановлюється в кожному конкретному випадку.

8.4 Порядок акредитації випробувальних лабораторій

Акредитація передбачає такі етапи:

- заявка на акредитацію;

- експертиза поданих документів;
- перевірка випробувальної лабораторії;
- прийняття рішення щодо акредитації за результатами перевірки лабораторії;
- оформлення, реєстрація та видача атестата акредитації.

Кожний наступний етап виконується в разі позитивних результатів попереднього. Заявка на акредитацію подається до Національного органу з акредитації за встановленою формою.

До заявки додаються такі документи:

- проект "Положення про акредитовану випробувальну лабораторію”;
- настанова з якості випробувальної лабораторії;
- паспорт випробувальної лабораторії;
- заповнена опитувальна анкета;
- проект галузі акредитації випробувальної лабораторії;

Національний орган з акредитації реєструє заявку та організовує проведення експертизи документів.

Після проведення експертизи поданих документів та прийняття рішення щодо проведення робіт з акредитації формується комісія з перевірки лабораторії (далі – комісія). До складу комісії включаються представники виробників, спілок споживачів науково-дослідних організацій та територіальних органів Держспоживстандарту України із залученням аудиторів Системи.

Перевірка випробувальної лабораторії здійснюється за програмою, що затверджується Національним органом з акредитації.

Під час перевірки можна проводити випробування з визначенням одного або декількох показників продукції, що випробовується. За результатами перевірки комісія складає акт.

Рішення щодо акредитації лабораторії приймається після розгляду Національним органом з акредитації всієї одержаної інформації про стан лабораторії та результати її перевірки.

У разі позитивного рішення про акредитацію Національний орган з акредитації:

- затверджує “Положення про випробувальну лабораторію”;
- підписує угоду з випробувальною лабораторією;
- заносить акредитовану лабораторію до Реєстру Системи;
- видає атестат акредитації;
- оформляє галузь акредитації;
- визначає умови інспекційного контролю;
- укладає договір на здійснення інспекційного контролю.

Атестат видається не більше як на три роки. За шість місяців до закінчення терміну дії атестата акредитації лабораторія, яка має намір продовжити дію акредитації, подає заявку.

Порядок повторної акредитації встановлюється залежно від результатів інспекційного контролю. Можна проводити за повною або скороченою процедурою “Розширення галузі акредитації”.

Акредитована лабораторія, що претендує на розширення своєї галузі акредитації, подає заявку. До заявки додаються

- відомості про додаткову галузь акредитації;
- доповнення до “Паспорта”.

Акредитацію можна проводити за повною або скороченою процедурою, яка регламентується програмою з перевірки з метою розширення галузі акредитації.

9 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

9.1 Методика виконання контрольних робіт з метрології

Завдання та варіанти завдань вказуються викладачем відповідно до спеціальності та дисципліни, що читається.

9.1.1 Теоретичні питання

Питання необхідно вибирати згідно із заданим варіантом. Відповіді на питання повинні бути викладені чітко, по суті. Літературу вибирати згідно з переліком використаних джерел даного посібника.

| | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Варіант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Питання | 1; 41; 57к | 3; 35; 57л | 2; 36; 57и | 4; 37; 57ж | 5; 32; 57з | 7; 33; 57е | 6; 34; 57д | 8; 35; 57г | 9; 36; 57б | 11; 37; 57а |
| Варіант | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Питання | 10; 38; 57в | 12; 39; 50 | 16; 40; 49 | 15; 41; 51 | 14; 42; 52 | 13; 43; 21 | 17; 44; 22 | 19; 45; 23 | 20; 46; 24 | 18; 47; 25 |

Завдання 1

1. Роль метрології у науці та промисловості.
2. Метрологія. Предмет і зміст. Основні поняття метрології. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення..
3. Основні положення вимірювань. Основне рівняння вимірювань. Значення й особливості електричних вимірювань.
4. Алгоритм виконання вимірювального експерименту.
5. Основні компоненти вимірювального експерименту. Фізичні величини (ФВ). Одиниці ФВ. Умови вимірювань.
6. Засоби вимірювань (ЗВ). Класифікація ЗВ за призначенням: міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, інформаційно-вимірювальні системи.
7. Основні операції вимірювань.
8. Види і методи вимірювань. Види вимірювань: прямі, непрямі, сукупні, сумісні. Методи вимірювання за ознакою порівняння з мірою.
9. Властивості ЗВ. Режими роботи ЗВ. Види структурних схем ЗВ.
10. Статистичні характеристики ЗВ.
11. Динамічні характеристики ЗВ.

12. Похибки вимірювань. Види похибок. Систематичні похибки. Методи їх усунення.

13. Випадкові похибки вимірювання. Оцінювання результатів прямих вимірювань.

14. Оцінювання результатів непрямих, сукупних і спільних вимірювань.

15. Вимірювальні перетворювачі (ВП). Класифікація ВП за родом вхідної і вихідної величин, за видом вихідного сигналу, за місцем розташування у вимірювальному колі, за видом перетворення.

16. Електричні ВП. (Шунти і додаткові резистори, подільники напруги).

17. Вимірювальні трансформатори струму і напруги.

18. Електромеханічні ВП. Їхні типи. Теоретичне обґрунтування принципу дії електромеханічних аналогових приладів. Рівняння перетворення.

19. Вимірювання струмів і напруг (постійних і змінних). Електронні вольтметри. Структурні схеми електронних вольтметрів змінного струму (середнього, діючого і амплітудних значень).

20. Вимірювання частоти електромеханічними перетворювачами. Вимірювання частоти електронним частотоміром і електронним осцилографом.

21. Методи і засоби вимірювання кута зсуву фаз. Електродинамічний і електронний фазометри.

22. Методи вимірювання потужності сигналів у колах постійного і змінного струму, на високих і надвисоких частотах.

23. Облік енергії. Індукційні лічильники. Вимірювання потужності й облік енергії в трифазних колах.

24. Реєструючі прилади. Класифікація. Самописні прилади. Види запису. Двокоординатні прилади.

25. Світлопроменеві осцилографи. Принцип дії.

26. Електронний осцилограф. Узагальнена структурна схема. Принцип дії. Застосування.

27. Мости постійного струму. Загальні положення і співвідношення. Одинарні і подвійні мости.

28. Мости змінного струму. Рівняння рівноваги моста. Вимірювання мостами змінного струму індуктивності і ємності. Приклади окремих видів мостів (схеми).

29. Компенсатори постійного і змінного струму. Сутність і особливості компенсаційного методу вимірювання. Застосування.

30. Автоматичні мости і компенсатори.

31. Резонансний метод вимірювання параметрів електричних кіл. Суть і переваги. Куметри.

32. Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП). Основні поняття і визначення. Переваги і недоліки. Класифікація ЦВП.
33. Послідовність операцій, виконуваних у ЦВП. Похибки ЦВП.
34. Основні ланки й елементарна база ЦВП.
35. Порівняльний аналіз і стисла характеристика ЦВП прямого і зрівноважувального перетворення.
36. ЦВП просторового кодування.
37. ЦВП число-імпульсного перетворення.
38. ЦВП частотно-імпульсного перетворення.
39. ЦВП часо-імпульсного перетворення.
40. ЦВП амплітудного перетворення.
41. Цифрові частотоміри середнього і миттєвого значень. Структурна схема. Часова діаграма і принцип дії. Рівняння перетворення і похибки.
42. Цифрові вольтметри часо-імпульсного перетворення. Структурна схема. Часова діаграма. Рівняння перетворення і похибки.
43. Цифровий вольтметр двотактного інтегрування.
44. Цифровий фазометр. Структурна схема. Часова діаграма. Рівняння перетворення і похибки.
45. Цифровий вимірювач параметрів електричних кіл (R , C) часо-імпульсного перетворення, структурна схема. Часова діаграма. Рівняння перетворення і похибки.
46. ЦВП зрівноважувального перетворення. Суть слідкуючого і розгортального зрівноважування. Порівняльний аналіз ЦВП цих типів.
47. Застосування мікропроцесорів (МП) у вимірювальній техніці. Узагальнена структурна схема мікропроцесорного засобу вимірювання. Вольтметр часо-імпульсного перетворення з МП-управлінням.
48. Вимірювання магнітних величин.
49. Вимірювання неелектричних величин. Особливості вимірювання. Структурні схеми.
50. Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) неелектричних величин. Класифікація ПВП.
51. Резистивні ПВП неелектричних величин.
52. Електростатичні ПВП неелектричних величин.
53. Електромагнітні ПВП неелектричних величин.
54. Генераторні перетворювачі для вимірювання неелектричних величин.
55. Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). Класифікація.
56. Вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК). Комп'ютерно-вимірювальні системи (КВС). Принципи побудови.
57. Скласти структурні схеми і пояснити принцип дії вимірювальної системи:
 - а) лінійного переміщення;

- б) кутового переміщення;
- в) деформації;
- г) шорсткості;
- д) моменту руху;
- е) частоти обертання;
- ж) вологості;
- з) концентрації;
- и) густини;
- к) рівня;
- л) температури.

9.1.2. Оцінювання випадкових похибок прямих вимірювань Методика розв'язання

Під час виконання даного завдання необхідно знати похибки вимірювання, вміти визначати абсолютну та відносну похибки, виконувати обробку результатів прямих і опосередкованих вимірювань, подавати результат вимірювання в стандартній формі.

Нехай проведено ряд вимірювань напруги за допомогою вольтметра магнітоелектричної системи. Значення відносних випадкових похибок, які отримано в результаті розрахунків наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Значення випадкових похибок

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вимірювання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Результат | 1.11 | 0.97 | 1.03 | 0.97 | 0.92 | 0.95 | 1.06 | 1.12 | 0.92 | 0.96 |
| Вимірювання | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Результат | 1.05 | 0.86 | 1.06 | 1.00 | 1.07 | 1.03 | 0.93 | 1.10 | 1.02 | 1.08 |
| Вимірювання | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Результат | 0.97 | 0.78 | 0.88 | 1.05 | 1.13 | 0.98 | 0.84 | 1.10 | 1.06 | 1.00 |
| Вимірювання | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Результат | 0.97 | 0.98 | 1.03 | 1.09 | 0.98 | 1.03 | 1.08 | 0.95 | 0.84 | 1.00 |
| Вимірювання | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| Результат | 1.10 | 1.02 | 0.95 | 1.05 | 0.92 | 0.91 | 1.18 | 1.21 | 1.03 | 0.96 |

1. Побудуємо залежність випадкової похибки від кількості вимірювань, використавши дані табл. 9.1.

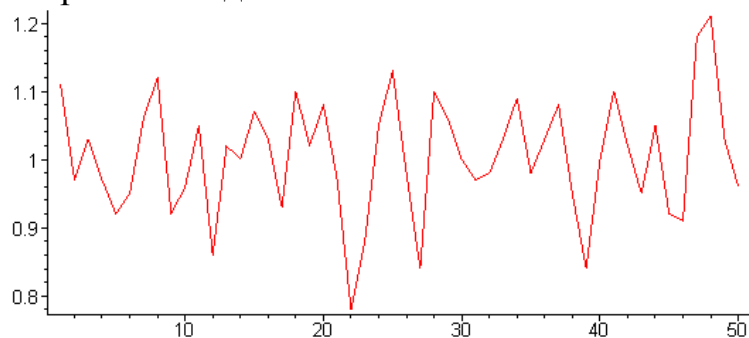


Рисунок 9.1 - Зміна випадкової похибки в часі

2. Знайдемо математичне очікування (середнє арифметичне) для масиву випадкових похибок

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} \Delta_i \approx 1.00(B)$$

і подамо отримане значення як дійсне.

3. Визначимо випадкові відхилення (абсолютну випадкову похибку)

$$\mathcal{G}_i = \Delta_i - \bar{\Delta}$$

Результати обчислень занесемо до табл. 9.2 і побудуємо залежність абсолютної випадкової похибки від кількості вимірювань (рис. 9.2).

Таблиця 9.2 - Випадкові відхилення (абсолютна випадкова похибка)

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вимірювання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Абсолютна похибка | 0.11 | -0.03 | 0.03 | -0.03 | -0.08 | -0.05 | 0.06 | 0.12 | -0.08 | -0.04 |
| Вимірювання | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Абсолютна похибка | 0.05 | -0.14 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 0.03 | -0.07 | 0.10 | 0.02 | 0.08 |
| Вимірювання | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Абсолютна похибка | -0.03 | -0.22 | -0.12 | 0.05 | 0.13 | -0.02 | -0.16 | 0.10 | 0.06 | 0.00 |
| Вимірювання | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Абсолютна похибка | -0.03 | -0.02 | 0.03 | 0.09 | -0.02 | 0.03 | 0.08 | -0.05 | -0.16 | 0.00 |
| Вимірювання | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| Абсолютна похибка | 0.10 | 0.02 | -0.05 | 0.05 | -0.08 | -0.09 | 0.18 | 0.21 | 0.03 | -0.04 |

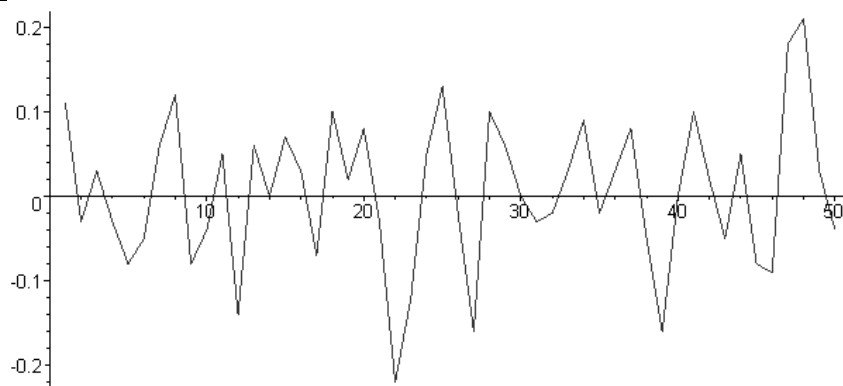


Рисунок 9.2 - Зміна абсолютної випадкової похибки в часі

4. Перевіримо, чи сума випадкових відхилень дорівнює нулю або близька до нуля

$$\sum_{i=1}^{50} \mathcal{G}_i = + 0.03(B).$$

5. Визначимо відносну випадкову похибку

$$\delta_i^o = \left| \frac{\mathcal{G}_i}{\bar{\Delta}} \right| \cdot 100\%.$$

Результати обчислень занесемо до табл. 9.3 і побудуємо залежність відносної похибки від кількості вимірювань (рис. 9.3).

Таблиця 9.3 - Відносна випадкова похибка

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вимірювання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Відносна похибка | 11% | 3% | 3% | 3% | 8% | 5% | 6% | 12% | 8% | 4% |
| Вимірювання | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Відносна похибка | 5% | 14% | 6% | 0 | 7% | 3% | 7% | 10% | 2% | 8% |
| Вимірювання | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Відносна похибка | 3% | 22% | 12% | 5% | 13% | 2% | 16% | 10% | 6% | 0 |
| Вимірювання | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Відносна похибка | 3% | 2% | 3% | 9% | 2% | 3% | 8% | 5% | 16% | 0 |
| Вимірювання | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| Відносна похибка | 10% | 2% | 5% | 5% | 8% | 9% | 18% | 21% | 3% | 4% |

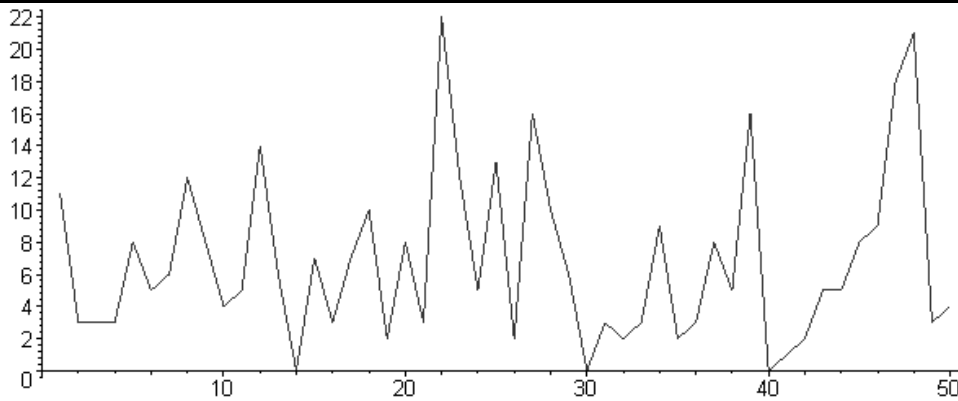


Рисунок 9.3 - Зміна відносної випадкової похибки в часі

6. Визначимо точність вимірювань

$$\theta_i = \left| \frac{1}{\delta_i} \right|,$$

де - δ_i відносна випадкова похибка, яка визначається

$$\delta_i = \left| \frac{g_i}{\Delta} \right|.$$

Результати обчислень занесемо до табл. 9.4 і побудуємо залежність точності від кількості вимірювань (рис. 9.4).

Таблиця 9.4 - Точність вимірювань

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вимірювання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Точність | 9 | 33 | 33 | 33 | 12.5 | 20 | 17 | 8 | 12.5 | 25 |
| Вимірювання | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Точність | 20 | 7 | 17 | 15 | 14 | 33 | 14 | 10 | 50 | 12.5 |
| Вимірювання | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Точність | 33 | 4.5 | 8 | 20 | 7 | 50 | 6 | 10 | 17 | 14 |
| Вимірювання | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Точність | 33 | 50 | 33 | 11 | 50 | 33 | 12.5 | 20 | 17 | 15 |
| Вимірювання | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| Точність | 10 | 50 | 20 | 20 | 12.5 | 11 | 5.5 | 4.75 | 33 | 25 |

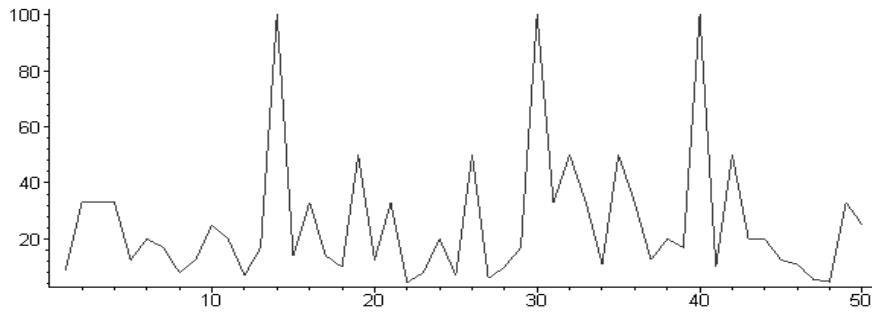


Рисунок 9.4 - Зміна точності вимірювання в часі

7. Знайдемо оцінку експериментального середнього квадратичного відхилення

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n g_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} g_i^2}{49}} = 0.6194(B).$$

8. Визначимо середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного

$$\overline{\sigma[\Delta]} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{1.0048}{\sqrt{50}} = 0.0876(B).$$

9. Знайдемо довірчі границі похибки вимірювання для нормального закону розподілу

$$\Delta_{\text{дов}} = \pm k_t \cdot \overline{\sigma_x},$$

де k_t - коефіцієнт Стюдента.

Цей коефіцієнт залежить від заданої ймовірності P і числа вимірювань n . При ймовірності $P = 0,9$ для $n = 12$ $k_t = 1,796$. Як правило, приймають $P = 0,95$. Якщо вимірювання повторити неможливо, то $P = 0,99$, а в особливо відповідальних випадках, коли вимірювання, що виконуються, пов'язані із створенням нових еталонів або мають значення для здоров'я людей, $P = 0,997$. Значення коефіцієнта Стюдента наведено в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Коефіцієнт розподілу Стюдента при P

| N | Коефіцієнт розподілу Стюдента при P | | | | |
|----|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 2 | 1,000 | 6,31 | 12,7 | 31,8 | 63,7 |
| 3 | 0,816 | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 9,92 |
| 4 | 0,765 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 |
| 5 | 0,741 | 2,13 | 2,78 | 3,75 | 4,60 |
| 6 | 0,727 | 2,02 | 2,57 | 3,37 | 4,03 |
| 7 | 0,718 | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 |
| 8 | 0,711 | 1,90 | 2,36 | 3,00 | 3,50 |
| 9 | 0,706 | 1,86 | 2,31 | 2,90 | 3,36 |
| 10 | 0,703 | 1,83 | 2,26 | 2,82 | 3,25 |
| 11 | 0,701 | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 |
| 12 | 0,700 | 1,80 | 2,20 | 2,72 | 3,11 |

Отже довірчий інтервал

$$\Delta_{\text{дов}} = \pm k_t \cdot \overline{\sigma}_x = \pm 1,796 \cdot 0,0876 = \pm 0,16, P = 0,95.$$

10. В табл. 9.6 занесемо розраховані раніше статистичні характеристики.

Таблиця 9.6 - Основні статистичні характеристики

| Найменування статистичної оцінки | Числове значення |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Кількість вимірних значень, n | 50 |
| 2. Мінімальне значення, Δ_{\min} | 0.78 |
| 3. Максимальне значення, Δ_{\max} | 1.21 |
| 4. Середнє арифметичне значення, $\bar{\Delta}$ | 1.00 |
| 5. Середнє квадратичне відхилення, $\overline{\sigma}[\bar{\Delta}]$ | 0.0876 |

11. За даними табл. 9.6 побудуємо криву нормального закону розподілу (рис. 9.5)

$$f(\Delta) = \frac{1}{\overline{\sigma}[\bar{\Delta}] \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta - \bar{\Delta}}{\overline{\sigma}[\bar{\Delta}]}\right)^2\right).$$

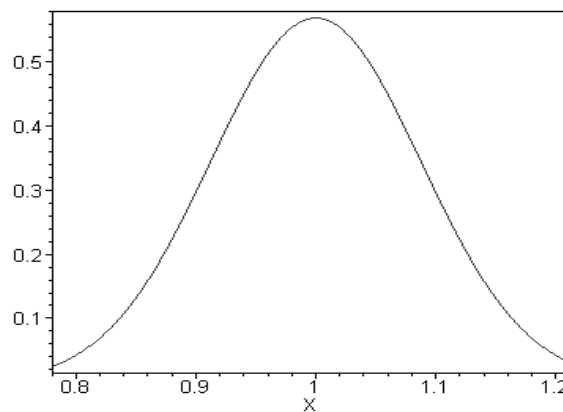


Рисунок 9.5 - Нормальний закон розподілу випадкової похибки

12. Наведемо результат у відповідності до другої стандартної форми подання результатів вимірювань

$$U = 1,00 \text{ В} \pm 0,16 \text{ В}, P = 0,95.$$

Завдання 2. Для отриманих 12 результатів спостережень при прямих рівноточних вимірюваннях визначити середнє арифметичне значення; середнє квадратичне відхилення (СКВ) випадкових похибок окремих результатів; оцінку СКВ результату вимірювання. Оцінити довірчі границі похибки для $P_{\text{дов}}$. Записати результат в стандартній формі. Ряд спостережень та значення $P_{\text{дов}}$ взяти з табл. 9.7.

Таблиця 9.7 – Дані до завдання

| В-г | Дані | | | | | | | | | | | | Р _{дов.} |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 1 | 1,45 | 1,51 | 1,52 | 1,44 | 1,58 | 1,53 | 1,50 | 1,52 | 1,46 | 1,58 | 1,44 | 1,51 | 0,90 |
| 2 | 2,44 | 2,53 | 2,43 | 2,48 | 2,41 | 2,59 | 2,47 | 2,41 | 2,45 | 2,54 | 2,47 | 2,54 | 0,95 |
| 3 | 3,65 | 3,69 | 3,69 | 3,68 | 3,57 | 3,59 | 3,56 | 3,61 | 3,59 | 3,55 | 3,69 | 3,57 | 0,99 |
| 4 | 4,99 | 4,82 | 4,88 | 4,92 | 4,85 | 4,93 | 4,81 | 4,93 | 4,90 | 4,90 | 4,88 | 4,82 | 0,90 |
| 5 | 5,94 | 5,96 | 5,98 | 5,93 | 5,91 | 5,94 | 5,91 | 5,96 | 5,93 | 5,90 | 5,91 | 5,97 | 0,95 |
| 6 | 6,34 | 6,25 | 6,33 | 6,23 | 6,30 | 6,28 | 6,26 | 6,31 | 6,26 | 6,31 | 6,33 | 6,34 | 0,99 |
| 7 | 7,85 | 7,83 | 7,76 | 7,90 | 7,81 | 7,98 | 7,78 | 7,88 | 7,77 | 7,72 | 7,76 | 7,85 | 0,90 |
| 8 | 8,98 | 8,96 | 8,85 | 8,90 | 8,95 | 8,84 | 8,81 | 8,89 | 8,93 | 8,90 | 8,90 | 8,93 | 0,95 |
| 9 | 9,00 | 9,07 | 9,11 | 9,12 | 9,09 | 9,14 | 9,02 | 9,02 | 9,17 | 9,11 | 9,08 | 9,09 | 0,99 |
| 10 | 10,47 | 10,35 | 10,34 | 10,43 | 10,44 | 10,39 | 10,39 | 10,46 | 10,40 | 10,44 | 10,43 | 10,36 | 0,90 |
| 11 | 11,43 | 11,48 | 11,46 | 11,54 | 11,53 | 11,50 | 11,56 | 11,42 | 11,57 | 11,42 | 11,39 | 11,40 | 0,95 |
| 12 | 12,05 | 12,09 | 12,12 | 12,17 | 12,09 | 12,08 | 12,07 | 12,11 | 12,08 | 12,16 | 12,15 | 12,13 | 0,95 |
| 13 | 13,91 | 13,93 | 13,84 | 13,86 | 13,84 | 13,95 | 13,94 | 13,90 | 13,90 | 13,94 | 13,89 | 13,87 | 0,90 |
| 14 | 14,70 | 14,79 | 14,75 | 14,70 | 14,76 | 14,67 | 14,82 | 14,70 | 14,76 | 14,75 | 14,75 | 14,81 | 0,95 |
| 15 | 15,14 | 15,19 | 15,17 | 15,20 | 15,14 | 15,19 | 15,11 | 15,13 | 15,17 | 15,19 | 15,13 | 15,15 | 0,99 |
| 16 | 16,72 | 16,75 | 16,73 | 16,84 | 16,79 | 16,82 | 16,79 | 16,78 | 16,79 | 16,79 | 16,83 | 16,86 | 0,90 |
| 17 | 17,26 | 17,29 | 17,28 | 17,29 | 17,26 | 17,23 | 17,21 | 17,22 | 17,21 | 17,28 | 17,26 | 17,26 | 0,95 |
| 18 | 18,07 | 18,09 | 18,11 | 18,15 | 18,12 | 18,12 | 18,07 | 18,15 | 18,09 | 18,05 | 18,08 | 18,16 | 0,99 |
| 19 | 19,65 | 19,67 | 19,69 | 19,75 | 19,65 | 19,65 | 19,70 | 19,69 | 19,67 | 19,64 | 19,74 | 19,66 | 0,90 |
| 20 | 20,98 | 20,99 | 20,96 | 20,87 | 20,89 | 20,89 | 20,97 | 20,85 | 20,89 | 20,85 | 20,88 | 20,95 | 0,95 |

9.1.3 Оцінювання випадкових похибок опосередкованих вимірювань

МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ

Оцінювання випадкових похибок опосередкованих вимірювань необхідно здійснювати за такою методикою:

1. Визначити для результатів прямих вимірювань \bar{x} і $\sigma[\bar{x}]$;
2. Визначити значення невідомої величини $\bar{q} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$;
3. Визначити «вагу» кожної часткової похибки опосередкованих вимірювань

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_i = \bar{x}_i};$$

4. Обчислити часткові випадкові похибки опосередкованих вимірювань

$$\bar{e}_{x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \sigma[\bar{x}_i];$$

5. Знайти оцінку СКВ результату опосередкованих вимірювань

$$\bar{\sigma}_q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2};$$

6. Знайти (табл. 9.5) коефіцієнт k_t Стюдента за заданою довірчою ймовірністю P і кількістю вимірювань n .

7. Знайти граничні значення випадкової складової похибки, яку приймають за похибку опосередкованого вимірювання

$$\Delta = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}_q;$$

8. Записати результат опосередкованого вимірювання:

$$q \pm \Delta, P.$$

В загальному випадку похибка функції декількох величин

$$q = f(x, y, \dots, w),$$

похибки яких незалежні і випадкові, знаходиться

$$\delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x} \delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial y} \delta y \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial q}{\partial w} \delta w \right)^2},$$

але сумарна похибка ніколи не перевищить значення

$$\delta q \leq \left| \frac{\partial q}{\partial x} \right| \delta x + \left| \frac{\partial q}{\partial y} \right| \delta y + \dots + \left| \frac{\partial q}{\partial w} \right| \delta w.$$

Приклад. Визначити результат та СКВ випадкової складової похибки опосередкованого вимірювання струму $I = U/R$ за даними прямих вимірювань напруги та опору з незалежними випадковими похибками, що розподілені за нормальним законом:

$$U = (1,00 \pm 0,01) \text{ В}; P = 0,99;$$

$$R = (10,0 \pm 0,1) \text{ Ом}; P = 0,997.$$

Записати результат згідно зі стандартною формою, вказавши довірчий інтервал, в який потрапить похибка результату опосередкованого вимірювання із встановленою ймовірністю $P=0,99$.

1. Знайти значення математичного очікування струму

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{R} = \frac{1,00}{10,0} = 0,1 (\text{А})$$

2. Визначити СКВ результату опосередкованого вимірювання струму

$$\bar{\sigma}_I = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial U} \right)^2 \sigma_U^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial R} \right)^2 \sigma_R^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R} \right)^2 \sigma_U^2 + \left(-\frac{U}{R^2} \right)^2 \sigma_R^2}.$$

За значеннями нормованої функції Лапласа $\Phi(z) = P/2$ (табл.9.8) знайти значення z та визначити СКВ результатів прямих вимірювань напруги $\bar{\sigma}_U$ і опору $\bar{\sigma}_R$.

Таблиця 9.8 - Значення нормованої функції Лапласа

| z | $\Phi(z)$ | z | $\Phi(z)$ | z | $\Phi(z)$ | z | $\Phi(z)$ |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 0.0 | 0.00000 | 1.0 | 0.34134 | 2.0 | 0.47725 | 3.0 | 0.49865 |
| 0.1 | 0.03983 | 1.1 | 0.36433 | 2.1 | 0.48214 | 3.1 | 0.49903 |
| 0.2 | 0.07926 | 1.2 | 0.38493 | 2.2 | 0.48610 | 3.2 | 0.49931 |
| 0.3 | 0.11791 | 1.3 | 0.40320 | 2.3 | 0.48928 | 3.3 | 0.49952 |
| 0.4 | 0.15542 | 1.4 | 0.41924 | 2.4 | 0.49180 | 3.4 | 0.49966 |
| 0.5 | 0.19146 | 1.5 | 0.43319 | 2.5 | 0.49379 | 3.5 | 0.49977 |
| 0.6 | 0.22257 | 1.6 | 0.44520 | 2.6 | 0.49534 | 3.6 | 0.49984 |
| 0.7 | 0.25804 | 1.7 | 0.45543 | 2.7 | 0.49653 | 3.7 | 0.49989 |
| 0.8 | 0.28814 | 1.8 | 0.46407 | 2.8 | 0.49744 | 3.8 | 0.49993 |
| 0.9 | 0.31594 | 1.9 | 0.47128 | 2.9 | 0.49813 | 3.9 | 0.49995 |

Для

$$\Phi(z_U) = \frac{P}{2} = \frac{0,99}{2} = 0,495 \Rightarrow z_U = 2,6; \bar{\sigma}_U = \frac{\Delta_U}{z_U} = \frac{0,01}{2,6} = 0,0038(B)$$

Для

$$\Phi(z_R) = \frac{P}{2} = \frac{0,997}{2} = 0,499 \Rightarrow z_R = 3,2; \bar{\sigma}_R = \frac{\Delta_R}{z_R} = \frac{0,1}{3,2} = 0,03125(Ом)$$

Значення СКВ опосередкованого вимірювання струму складає

$$\bar{\sigma}_I = \sqrt{\left(\frac{1}{10}\right)^2 \cdot (0,0038)^2 + \left(-\frac{1}{10^2}\right)^2 \cdot (0,03125)^2} \approx 5 \cdot 10^{-4}(A).$$

3. Визначити границі довірчого інтервалу для заданої ймовірності $P=0,99$. Для значення нормованої функції

$$\Phi(z_I) = \frac{P}{2} = \frac{0,99}{2} = 0,495$$

з табл.9.8 значення $z_i=2,6$.

Тоді границі довірчого інтервалу становлять

$$\Delta_I = \pm z_I \cdot \bar{\sigma}_I = \pm 2,6 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 0,0013(B).$$

4. Результат опосередкованого вимірювання струму

$$I = (0,1000 \pm 0,0013)A; P = 0,99.$$

ЗАВДАННЯ 3

Знайти результат і СКВ випадкової складової похибки непрямого вимірювання $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за даними прямих вимірювань із незалежними випадковими похибками, розподіленими за нормальним законом. Записати результат у стандартній формі, з вказанням довірчого інтервалу, у який потрапляє похибка результату непрямого вимірювання із заданою ймовірністю. Залежності $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ приведені в табл. 9.9. Результати прямих вимірювань для варіантів 1-10:

$$I = (1,12 \pm 0,01) \text{ А; } P = 0,9;$$

$$U = (10,1 \pm 0,2) \text{ В; } P = 0,95;$$

$$R = (500 \pm 5) \text{ Ом; } P = 0,99;$$

$$P = (100 \pm 1) \text{ Вт; } P = 0,997.$$

Результати прямих вимірювань для варіантів 11-20:

$$I = (5,75 \pm 0,05) \text{ А; } P = 0,95;$$

$$U = (50,1 \pm 0,5) \text{ В; } P = 0,99;$$

$$R = (100 \pm 1) \text{ Ом; } P = 0,997;$$

$$P = (350 \pm 3) \text{ Вт; } P = 0,9.$$

Таблиця 9.9 – Завдання

| | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------|---------------------|
| Варіант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ | $P = I^2 R$ | $R = \frac{U^2}{P}$ | $P = \frac{U^2}{R}$ | $R = \frac{U}{I}$ | $P = UI$ | $I = \frac{U}{R}$ |
| Варіант | 7 | | 8 | 9 | | 10 |
| $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ | $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ | | $I = \frac{P}{U}$ | $U = IR$ | | $R = \frac{P}{I^2}$ |

9.1.4 Абсолютна та відносна похибка опосередкованого вимірювання

Методика розв'язання

Вивести вирази абсолютної та відносної похибок опосередкованого вимірювання величини $y = f(x_1, x_2, x_3)$. Записати вирази похибок при заданих значеннях x_1, x_2, x_3 .

Нехай задані такі значення $x_1=6,9$; $x_2=2,2$; $x_3=4,7$; $y = x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)$

Абсолютну похибку опосередкованого вимірювання визначають через повний диференціал даного вимірювання

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial y}{\partial x_3} \Delta x_3.$$

Часткові похідні

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 1 - \frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2}; \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = \frac{2x_2}{x_3 + x_1}; \quad \frac{\partial y}{\partial x_3} = -\frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2};$$

Тоді

$$\Delta y = \Delta x_1 - \frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \Delta x_1 + \frac{2x_2}{x_3 + x_1} \Delta x_2 - \frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \Delta x_3;$$

Підставивши числові значення, отримаємо

$$\begin{aligned} \Delta y &= \Delta x_1 - \frac{2,2^2}{(4,7 + 6,9)^2} \Delta x_1 + \frac{2 \cdot 2,2}{4,7 + 6,9} \Delta x_2 - \frac{2,2^2}{(4,7 + 6,9)^2} \Delta x_3 = \\ &= \Delta x_1 - \frac{4,84}{134,56} \Delta x_1 + \frac{4,4}{11,6} \Delta x_2 - \frac{4,84}{134,56} \Delta x_3 = 0,964 \Delta x_1 + 0,379 \Delta x_2 - 0,036 \Delta x_3. \end{aligned}$$

Відносна похибки знаходиться за формулою

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{y}.$$

Тоді,

$$\begin{aligned} \delta_y &= \frac{\Delta x_1}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \Delta x_1}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} + \frac{\frac{2x_2}{x_3 + x_1} \Delta x_2}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \Delta x_3}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)}. \\ \delta_y &= \frac{\frac{x_1}{x_1} \Delta x_1}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \frac{x_1}{x_1} \Delta x_1}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} + \frac{\frac{2x_2}{x_3 + x_1} \frac{x_2}{x_2} \Delta x_2}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \frac{x_3}{x_3} \Delta x_3}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)}. \\ \delta_y &= \frac{x_1 \delta_{x_1}}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_1 x_2^2}{(x_3 + x_1)^2} \delta_{x_1}}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} + \frac{\frac{2x_2^2}{x_3 + x_1} \delta_{x_2}}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)} - \frac{\frac{x_2^2 x_3}{(x_3 + x_1)^2} \delta_{x_3}}{x_1 + x_2^2 / (x_3 + x_1)}. \end{aligned}$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\delta_y = 0,945 \delta_{x_1} - 0,034 \delta_{x_1} + 0,114 \delta_{x_2} - 0,023 \delta_{x_3} = 0,911 \delta_{x_1} + 0,114 \delta_{x_2} - 0,023 \delta_{x_3}.$$

Завдання 4

Вивести вирази абсолютної та відносної похибок опосередкованого вимірювання величини $y=f(x_1, x_2, x_3)$. Записати вирази похибок при заданих значеннях x_1, x_2, x_3 .

Варіанти завдань взяти з таблиці 9.10.

Таблиця 9.10 – Дані до завдання

| Варіант | $Y(X_1, X_2, X_3)$ | X_1 | X_2 | X_3 |
|---------|----------------------------------------|-------|-------|-------|
| 1 | $Y = X_1 + X_2^3 / \sqrt{X_3}$ | 1,2 | 2,1 | 5,2 |
| 2 | $Y = X_1 / X_2 + \sqrt{X_3}$ | 2,2 | 4,3 | 1,1 |
| 3 | $Y = X_1 + X_3 \sqrt{X_2}$ | 3,3 | 5,4 | 2,1 |
| 4 | $Y = X_2 \cdot X_3 / \sqrt{X_1}$ | 5,2 | 6,2 | 4,3 |
| 5 | $Y = X_1 / (X_2 + \sqrt{X_3})$ | 4,1 | 4,2 | 3,4 |
| 6 | $Y = X_1 / \sqrt{X_2 + X_3}$ | 2,0 | 5,3 | 2,2 |
| 7 | $Y = \sqrt{X_1 + X_2} / X_3$ | 3,3 | 2,2 | 1,3 |
| 8 | $Y = X_1 + X_3 / \sqrt{X_2}$ | 4,1 | 1,2 | 4,2 |
| 9 | $Y = \sqrt{X_1 \cdot X_2} / X_3$ | 7,2 | 4,3 | 3,3 |
| 10 | $Y = (X_1 + \sqrt{X_2}) / X_3$ | 2,1 | 7,0 | 2,0 |
| 11 | $Y = \sqrt[3]{X_1} + X_2 \cdot X_3$ | 5,3 | 6,3 | 1,2 |
| 12 | $Y = \sqrt[3]{X_3} + X_1 / X_2$ | 1,1 | 6,5 | 5,4 |
| 13 | $Y = \sqrt{X_1 / X_2} + X_3$ | 6,9 | 2,2 | 4,7 |
| 14 | $Y = X_1 + \sqrt{X_2} + \sqrt[3]{X_3}$ | 4,6 | 7,1 | 2,2 |
| 15 | $Y = (X_1 + X_2) / \sqrt{X_3}$ | 2,2 | 4,4 | 1,3 |
| 16 | $Y = X_1 / \sqrt{X_2 \cdot X_3}$ | 5,3 | 3,2 | 2,1 |
| 17 | $Y = \sqrt{X_1} / X_3 + X_2$ | 1,4 | 2,2 | 1,2 |
| 18 | $Y = \sqrt{X_1^3} + X_2 / X_3$ | 4,1 | 3,1 | 3,4 |
| 19 | $Y = \sqrt{X_1 + X_2} + X_3$ | 2,2 | 1,2 | 1,3 |
| 20 | $Y = \sqrt{X_1} + \sqrt{X_2} / X_3$ | 3,3 | 2,2 | 4,1 |

9.1.5 Електромеханічні і електричні вимірювальні перетворювачі

Методика розв'язання

Приклад 1. Визначити питомий протидійний момент пружини магнітоелектричного ЗВ, якщо відомо, що для струму $I=5$ мА рамка з кількістю витків $w=16$ відхилилася на кут 45^0 , 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 ЗВ має вигляд

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

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

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

Примітка. $\text{Рад} = \frac{\pi\alpha}{180}$; $\alpha = 45^0 = \frac{\pi}{4} \text{рад}$; $1 \text{см}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{м}^2$; $\text{Н} = \text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$; $\text{Тл} = \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \text{А}^{-1}$.

Приклад 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

$$R_{ш} = \frac{R_0}{n - 1},$$

де $n = I / I_0$.

Тоді, за умовою задачі

$$R_{ш} = \frac{R_0}{I / I_0 - 1} = \frac{1,9}{10 / 0,5 - 1} = 0,1 \text{ (Ом)}.$$

Приклад 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

$$U_0 = I_0 \cdot R_0 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^3 = 60 \text{ (В)}.$$

Опір додаткового резистора визначимо за формулою

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

де $q = U / U_0$.

$$R_d = R_v (U / U_0 - 1) = 30 \cdot 10^3 (600 / 60 - 1) = 270 \text{ кОм}.$$

Завдання 5.1

Є міліамперметр з внутрішнім опором R_0 та струмом повного відхилення I_0 . Щоб одержати амперметр з верхньою межею вимірювання I до нього підключили шунт з опором $R_{ш}$. Відомі та невідома величини задані в табл.9.11, згідно із заданим варіантомі.

Таблиця 9.11 - Шунти

| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
|-----|----------|---------|---------|---------|----|
| 1 | ? | 4,9 Ом | 200 мкА | 10 мА | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 2 | 0,01 Ом | 0,19 Ом | ? | 20 А | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 3 | ? | 2,78 Ом | 25 мА | 25 А | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 4 | 0,12 Ом | 2,4 Ом | 0,1 А | ? | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 5 | 0,1 Ом | ? | 200 мкА | 10 мА | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 6 | ? | 0,2 Ом | 5 мА | 1 А | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 7 | ? | 0,5 Ом | 100 мА | - | 3 |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 8 | 0,5 Ом | 9,5 Ом | ? | 150 мА | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 9 | 0,01 | ? | 25 мА | 5 А | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 10 | ? | 0,4 Ом | 250 мА | - | 5 |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 11 | 0,1 Ом | 2,78 Ом | 2,5 А | ? | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 12 | 0,1 Ом | 2,7 Ом | ? | 1000 мА | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 13 | ? | 0,05 Ом | 100 мА | - | 4 |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 14 | 0,1 Ом | 4,9 Ом | ? | 250 мА | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 15 | 0,1 Ом | 2,78 Ом | 0,1 А | ? | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 16 | ? | 1,9 Ом | 150 мкА | - | 20 |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 17 | 0,01 Ом | 4,9 Ом | ? | 2,5 А | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 18 | 0,05 Ом | 0,5 Ом | 50 мА | ? | - |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 19 | ? | 0,45 Ом | 50 мА | - | 10 |
| В-т | $R_{ш}$ | R_0 | I_0 | I | n |
| 20 | 0,005 Ом | 0,4 Ом | ? | 8,1 А | - |

Завдання 5.2

Для вольтметра, який має напругу U_0 і внутрішній опір R_V необхідно визначити опір додаткового резистора R_d для розширення верхньої межі вимірювання до U . Відомі та невідомі величини задані в табл.9.12, згідно із заданим варіантом.

Таблиця 9.12- Додаткові резистори

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

9.1.6 Вимірювальні мости

Методика розв'язання

У зрівноваженій мостовій схемі для вимірювання індуктивності (рис. 4.6,а) протилежне плече містить паралельно з'єднані ємність C_0 та резистор R_0 . Визначити величини 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

$$Z_x = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_0},$$

де

$$Z_x = R_x + j\omega L_x; Z_1 = R_1; Z_2 = R_2; Z_0 = \frac{R_0}{1 + j\omega R_0 C_0}.$$

Тоді умову рівноваги для даної мостової схеми подамо у вигляді

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_1 R_2}{R_0} \cdot (1 + j\omega R_0 C_0),$$

або

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_1 R_2}{R_0} + j\omega R_1 R_2 C_0.$$

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

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_0}$$

знаходимо величину активного опору індуктивності

$$R_x = 10 \text{ Ом},$$

а з рівності уявних частин

$$j\omega L_x = j\omega R_1 R_2 C_0$$

величину невідомої індуктивності

$$L_x = 0.01 \text{ Гн}.$$

Завдання 6

Номер завдання вибирається згідно із варіантом.

1. Одинарний міст постійного струму. Навести методику виведення умови рівноваги.

2. Подвійний міст постійного струму. Навести методику виведення умови рівноваги.

3. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і L_o , що з'єднані послідовно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги, визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 12 \text{ Ом}, L_o = 0,2 \text{ Гн}, R_1 = 12 \text{ кОм}, R_2 = 24 \text{ Ом}).$$

4. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і L_o , що з'єднані паралельно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги і визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 12 \text{ Ом}, L_o = 0,1 \text{ Гн}, R_1 = 150 \text{ Ом}, R_2 = 10 \text{ Ом}).$$

5. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і C_o , що з'єднані послідовно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги і визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 1,0 \text{ кОм}, C_o = 10 \text{ нФ}, R_1 = 150 \text{ Ом}, R_2 = 1,5 \text{ кОм}).$$

6. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і C_o , що з'єднані паралельно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги і визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 1 \text{ кОм}, C_o = 0,5 \text{ мкФ}, R_1 = 12 \text{ Ом}, R_2 = 24 \text{ Ом}).$$

7. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і C_o , що з'єднані паралельно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 12 \text{ Ом}, C_o = 0,05 \text{ мкФ}, R_1 = 10 \text{ кОм}, R_2 = 27 \text{ кОм}).$$

8. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і C_o , що з'єднані послідовно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 8,2 \text{ кОм}, C_o = 0,01 \text{ мкФ}, R_1 = 100 \text{ Ом}, R_2 = 820 \text{ Ом}).$$

9. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і L_o , що з'єднані паралельно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 8,2 \text{ кОм}, L_o = 0,1 \text{ мГн}, R_1 = 100 \text{ Ом}, R_2 = 820 \text{ Ом}).$$

10. Мостове коло зрівноважене зразковими R_o і L_o , що з'єднані послідовно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_o = 12 \text{ Ом}, L_o = 0,05 \text{ мГн}, R_1 = 10 \text{ кОм}, R_2 = 27 \text{ кОм}).$$

11. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і L_0 , що з'єднані послідовно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги, визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 20 \text{ Ом}, L_0 = 0,7 \text{ Гн}, R_1 = 255 \text{ кОм}, R_2 = 13 \text{ Ом}).$$

12. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і L_0 , що з'єднані паралельно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що також з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги, визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 12 \text{ Ом}, L_0 = 0,02 \text{ Гн}, R_1 = 275 \text{ Ом}, R_2 = 12 \text{ Ом}).$$

13. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані послідовно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги, визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 2,4 \text{ кОм}, C_0 = 21 \text{ нФ}, R_1 = 150 \text{ Ом}, R_2 = 2,4 \text{ кОм}).$$

14. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані паралельно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги, визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 2 \text{ кОм}, C_0 = 0,2 \text{ мкФ}, R_1 = 21 \text{ Ом}, R_2 = 15 \text{ Ом}).$$

15. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані паралельно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 22 \text{ Ом}, C_0 = 0,01 \text{ мкФ}, R_1 = 20 \text{ кОм}, R_2 = 18 \text{ кОм}).$$

16. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані послідовно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і L_x , що з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 5,1 \text{ кОм}, C_0 = 0,04 \text{ мкФ}, R_1 = 210 \text{ Ом}, R_2 = 740 \text{ Ом}).$$

17. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і L_0 , що з'єднані паралельно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 9,1 \text{ кОм}, L_0 = 0,3 \text{ мГн}, R_1 = 220 \text{ Ом}, R_2 = 650 \text{ Ом}).$$

18. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і L_0 , що з'єднані послідовно і ввімкнені в протилежне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги та визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 25 \text{ Ом}, L_0 = 0,07 \text{ мГн}, R_1 = 20 \text{ кОм}, R_2 = 54 \text{ кОм}).$$

19. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані послідовно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані послідовно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги і визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 2,1 \text{ кОм}, C_0 = 15 \text{ нФ}, R_1 = 100 \text{ Ом}, R_2 = 1,1 \text{ кОм}).$$

20. Мостове коло зрівноважене зразковими R_0 і C_0 , що з'єднані паралельно і ввімкнені в суміжне плече по відношенню до невідомих R_x і C_x , що також з'єднані паралельно. Необхідно навести мостову схему, вивести умову рівноваги і визначити невідомі параметри, якщо

$$(R_0 = 2 \text{ кОм}, C_0 = 0,09 \text{ мкФ}, R_1 = 24 \text{ Ом}, R_2 = 19 \text{ Ом}).$$

9.1.7 Цифрові вимірювальні прилади

Методика розв'язання

Приклад 1. Розробити структурну схему цифрового частотоміра середніх значень у діапазоні частот $10^5 \div 10^7$ Гц з похибкою 0,001% у режимі однократного вимірювання.

1. Записати умову завдання: $f_x = (10^5 \div 10^7)$ Гц або $T_x = (10 \div 0,1)$ мкс, $\delta = 0,001\%$

2. Вибрати структурну схему, обґрунтувати її вибір, навести часову діаграму її роботи.

Вибрана структурна схема цифрового частотоміра наведена на рис. 9.6. Опис навести самим.

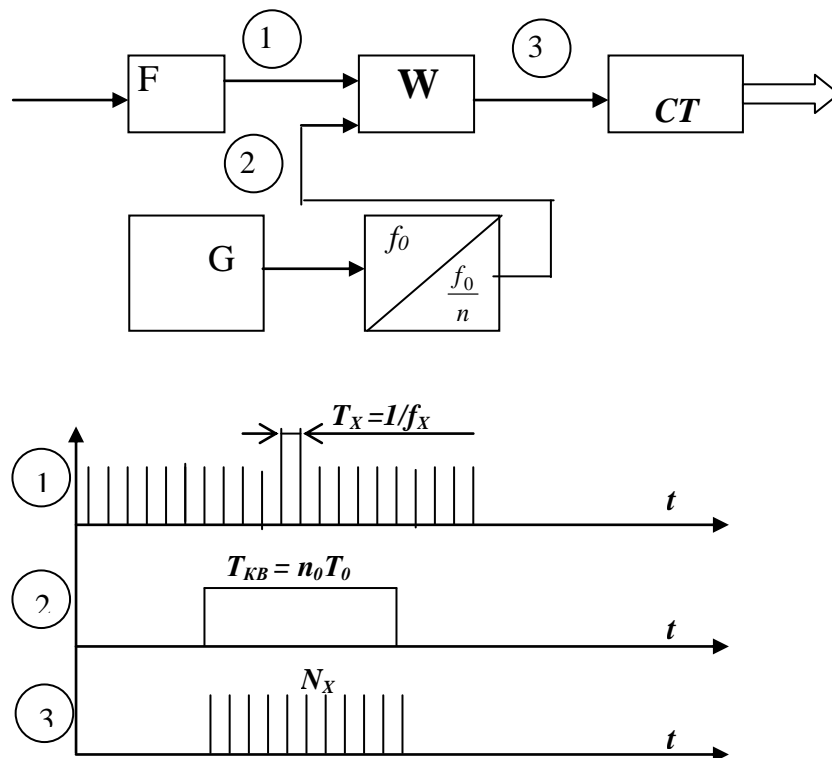


Рисунок 9.6 – Структурна схема та часові діаграми роботи цифрового частотоміра

3. Одержати рівняння перетвореного цифрового частотомера. Код N_X , який фіксується у лічильнику ЛТ, дорівнює

$$N_X = \frac{T_{KB}}{T_X} = T_{KB} f_X.$$

4. Одержати рівняння похибки перетворювача (похибки квантування)

$$\delta_K = \frac{1}{N_X} 100\% = \frac{100}{f_X T_{KB}}.$$

5. Визначити період квантування T_{KB}

$$T_{KB} = \frac{100}{f_X \cdot \delta_K} = \frac{100}{10^5 \cdot 0.001} = 1 \text{ [c]}.$$

6. Визначити максимальне значення коду N_X .

$$N_X = T_{KB} \cdot f = 1 \cdot 10^5 = 10^5.$$

7. Визначити кількість декад використовуваного лічильника СТ:

$$D = \log N_X = \log 10^5 = 5.$$

8. Задати частоту генераторів G . Виходячи з практичного досвіду і теоретичних положень, необхідно, щоб

$$f_0 \gg f_{KB} \quad \text{і} \quad T_0 \ll T_{KB}.$$

Тому найчастіше вибирають генератор з частотою $f_0 = 1 \text{ МГц}$ ($T_0 = 10^{-6} \text{ с}$).

9. Визначити коефіцієнт перерахування дільника частоти. Цей коефіцієнт дорівнює

$$n = \frac{T_{KB}}{T_0} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6.$$

Приклад 2. Розробити структурну схему цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення, діапазон вимірювання $1 \div 0,1 \text{ В}$, похибка вимірювання $\delta = 0,1\%$. Режим роботи – однократне вимірювання.

1. Записати умову завдання: $U = (1 \div 0,1) \text{ В}$; $\delta = 0,1\%$.

2. Вибрати структурну схему, обґрунтувати і навести часову діаграму її роботи. Вибрана структура цифрового вольтметра часо-імпульсного перетворення і часова діаграма її роботи показані на рис. 9.7.

3. Одержати рівняння перетворення цифрового вольтметра. Код N_X , який фіксується лічильником, дорівнює

$$N_X = \frac{T_X}{T_0} = T_X \cdot f_0.$$

Інтервал часу T_X сформований в момент рівності сигналу, що досліджується, і лінійно-змінної напруги $U_X = U_N$

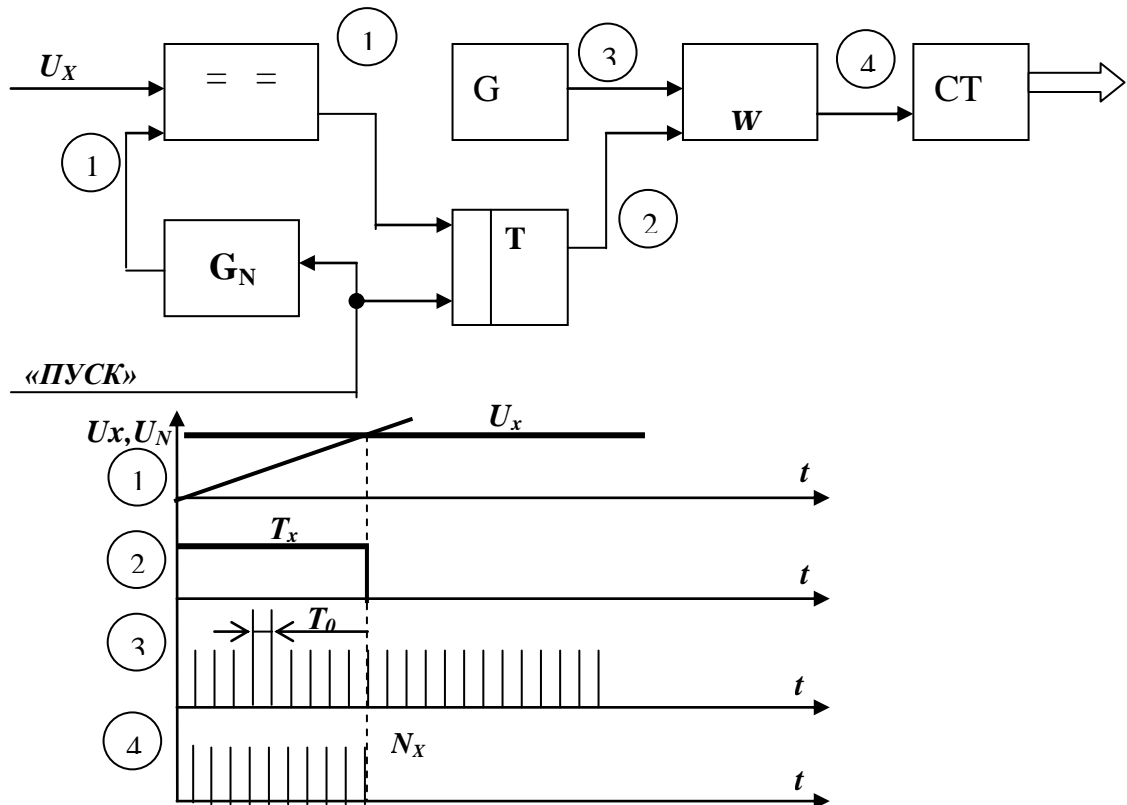


Рисунок 9.7 - Структурна схема та часові діаграми роботи цифрового вольтметра

Тому

$$T_x = \frac{U_N}{K} = \frac{U_x}{K},$$

де K - швидкість наростання лінійно-змінної напруги, рівна

$$K = \frac{\Delta U_N}{\Delta t} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Рівняння перетворення отримаємо у вигляді

$$N_x = \frac{U_x}{K} f_0.$$

4. Одержати рівняння похибки перетворення:

$$\delta = \frac{100}{N_x} = \frac{100 \cdot K}{U_x \cdot f_0}.$$

5. Визначити час вимірювання $T_{\text{вим}}$ і частоту f_0 можна з умови

$$T_{\text{вим}} = T_x.$$

Задамося швидкістю зростання лінійно-змінної напруги $K=10$ В/с;
тоді

$$T_{\text{вим}} = \frac{U_X}{K} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ с.}$$

Знаходимо частоту генератора G з (5.19):

$$f_0 = \frac{100 \cdot K}{U_X \cdot \sigma} = \frac{100 \cdot 10}{1 \cdot 0,1} = 10^4 \text{ Гц} = 10 \text{ кГц.}$$

6. Визначимо максимальне значення N_X , яке фіксується лічильником

$$N_X = \frac{U_X}{K} \cdot f_0 = \frac{0,1}{10} \cdot 10^4 = 10^3.$$

7. Визначимо кількість декад лічильника ЛГ:

$$D = \log N_X = \log 10^3 = 3.$$

Завдання 7.

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 частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти $f_x = 20$ кГц. Частота квантування $f_0 = 1$ МГц. Визначити нижню межу вимірювання $f_{x \text{ max}}$, якщо в структурній схемі частотоміра застосовано бінарний лічильник розрядністю $n = 16$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

3. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_0 = 10$ МГц. Визначити верхню межу вимірювання $f_{x \text{ max}}$, для якої відносна похибка квантування не перевищує $\delta_k \leq 0,1\%$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

4. 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 .

5. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання опору резистора R_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,2\%$. При цьому ємність конденсатора $C_0 = 10$ нФ, а частота квантування $f_0 = 1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача і визначити значення опору R_x .

6. Напругу $U_x=2$ В виміряно цифровим вольтметром часо-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0 = 5$ МГц, а коефіцієнт крутості 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.

7. 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%.

8. 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.

9. 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.

10. За допомогою частотоміра середніх значень проведено вимірювання частоти $f_x=15$ кГц. Частота зразкового генератора $f_0=10$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=500\ 000$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра і визначити відносну похибку квантування.

11. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти $f_x=25$ кГц. 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.

12. Цифровим частотоміром миттєвих значень здійснено вимірювання частоти f_x . Частота квантування $f_0=100$ МГц. Визначити верхню межу вимірювання $f_{x\ max}$, для якої відносна похибка квантування не перевищує $\delta_k \leq 0,05\%$. Навести структурну схему та часові діаграми роботи частотоміра.

13. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання ємності конденсатора C_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,2\%$. При цьому опір резистора $R_0=150$ Ом, а частота квантування $f_0=1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача. Визначити значення ємності C_x .

14. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання опору резистора R_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,5\%$. При цьому ємність конденсатора $C_0= 20$ нФ, а частота квантування

$f_0=1$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача і визначити значення опору R_x .

15. Напругу $U_x=5$ В виміряно цифровим вольтметром часо-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0=1$ МГц, а коефіцієнт крутості лінійно-змінної напруги $k=0.5$ с/В. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вольтметра. Визначити тривалість часового інтервалу, пропорційного вимірюваній напрузі та відносну похибку квантування.

16. Цифровим вольтметром послідовного наближення проведено вимірювання $U_x=2$ В. Навести структурну схему і часові діаграми роботи вольтметра. Визначити величину кроку квантування h , при якому відносна похибка квантування не перевищує 0.1%.

17. Цифровим фазометром миттєвих значень проведено вимірювання різниці фаз двох синусоїдних напруг з частотою $f_x=15$ Гц. Частота квантування $f_0=1$ МГц, а часовий інтервал t_x , пропорційний вимірюваному параметру дорівнює 15 мс. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

18. Цифровим фазометром середніх значень проведено вимірювання зсуву фаз двох синусоїдних напруг $\varphi_x = 12^\circ$. Час вимірювання $t_b = 0,5$ с, а частота квантування $f_0=20$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи фазометра і визначити відносну похибку квантування.

19. Цифровим вимірювачем параметрів електричного кола проведено вимірювання опору резистора R_x з відносною похибкою квантування $\delta_k = 0,1\%$. При цьому ємність конденсатора $C_0= 15$ нФ, а частота квантування $f_0=2$ МГц. Навести структурну схему та часові діаграми роботи вимірювача і визначити значення опору R_x .

20. Напругу $U_x=10$ В виміряно цифровим вольтметром часо-імпульсного перетворення. Частота квантування $f_0=5$ МГц, а коефіцієнт крутості 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.

9.1.8 Аналогові та цифрові засоби вимірювання

Методика розв'язання

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 як засіб 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

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

Завдання 8

Вибирається згідно із заданим варіантом

1. Розробити структурну схему цифрового вимірювача рівня рідини на базі ємнісного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

2. Розробити структурну схему цифрового приладу для вимірювання температури на базі терморезистивного перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

3. Розробити структурну схему цифрового тахометра середніх значень на базі фотоелектричного сенсора. Як АЦП використати цифровий частотомір середніх значень. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

4. Розробити структурну схему цифрового вимірювача тиску на базі п'єзоелектричного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр послідовного наближення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

5. Розробити структурну схему цифрового вологоміра. Як вимірювальний перетворювач використати ємнісний сенсор, а як АЦП – вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

6. Розробити структурну схему цифрового витратоміра на базі індукційного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

7. Розробити структурну схему цифрового вимірювача деформацій на базі тензорезистивного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

8. Розробити структурну схему цифрового тахометра миттєвих значень. Як сенсор використати фотоелектричний вимірювальний перетворювач, а як АЦП – цифровий частотомір миттєвих значень. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

9. Розробити структурну схему цифрового вимірювача товщини на базі ємнісного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

10. Розробити структурну схему цифрового термометра. Як вимірювальний перетворювач використати мідний термометр опору, а як АЦП - цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

11. Розробити структурну схему цифрового вимірювача кута повороту на базі фотоелектричного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий частотомір миттєвих значень. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

12. Розробити структурну схему цифрового вимірювача тиску на базі ємнісного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

13. Розробити структурну схему цифрового вимірювача рівня рідини на базі індуктивного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр послідовного наближення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

14. Розробити структурну схему цифрового термометра на базі п'єзоелектричного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий частотомір миттєвих значень. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

15. Розробити структурну схему цифрового тахометра середніх значень на базі фотоелектричного сенсора. Як АЦП використати цифровий частотомір середніх значень. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

16. Розробити структурну схему цифрового вимірювача тиску на базі п'єзоелектричного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр послідовного наближення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

17. Розробити структурну схему цифрового вологоміра. Як вимірювальний перетворювач використати ємнісний сенсор, а як АЦП –

вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

18. Розробити структурну схему цифрового витратоміра на базі індукційного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

19. Розробити структурну схему цифрового вимірювача деформацій на базі тензорезистивного вимірювального перетворювача. Як АЦП використати цифровий вимірювач параметрів електричного кола. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

20. Розробити структурну схему цифрового приладу для вимірювання температури на базі термопари. Як АЦП використати цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення. Вивести рівняння перетворення та похибки квантування.

9.2 Методика виконання контрольної роботи зі стандартизації

Методика розв'язання

Приклад 1. Необхідно встановити переважний ряд об'ємів 4-х циліндричних упаковок, якщо відомо, що діаметри d і висоти h цих упаковок задані ряди R10 і $h/d=1,25$.

Розв'язання

Відомо, що об'єм циліндра обчислюється за формулою

$$V = \pi r^2 h = \frac{\pi d^2}{4} h$$

Тоді запишемо ряди діаметрів d і висот h упаковок згідно з умовою і відповідні їм об'єми V .

| d | h | V |
|------|------|---|
| 1 | 1,25 | 1 |
| 1,25 | 1,6 | 2 |
| 1,6 | 2,0 | 4 |
| 2,0 | 2,5 | 8 |

За рядом R10 відзначаємо, що значення об'ємів V є членами ряду R10/3.

Приклад 2.

Ряд R10/3 одержаний шляхом вибору кожного третього члена основного ряду R10: 1; 2; 4; 8; ...

Розв'язання

Ряд R10/4(1,6) одержаний шляхом вибору кожного четвертого члена основного ряду R10 починаючи з 1,6: 1,6; 4,0; 10; 25; ...

Ряд 100R5(1,6) одержаний з основного ряду R5 починаючи з 1,6 і помножений на 100: 160; 250; 400; ...

Завдання

Визначити за яким рядом переважних чисел (РПЧ) будуть змінюватися об'єми 5-ти прямокутних упаковок, якщо сторони а-в-с змінюються за вказаними РПЧ (див. табл. 9.13).

Таблиця 9.13 – Вибіркові ряди

| В-т | а | в | с |
|-----|---------------|-------------|--------------|
| 1 | R5 | R5(1,6) | R10/2(1,25) |
| 2 | R10/3 | 2a | R10/3(1,25) |
| 3 | R5/3(4,0) | R10/3 | 2b |
| 4 | R5 | R10/2 | R10(2,0) |
| 5 | R5/2(25,0) | 2a | 10R/3 |
| 6 | 10R5 | R10(5,0) | 10R10(1,6) |
| 7 | R5 | R10/3(2,0) | 2a |
| 8 | R5/2 | R10(2,0) | R10/3 |
| 9 | 100R5 | 10R10(2,5) | 2b |
| 10 | R10/2 | 10R5 | 2a |
| 11 | R5(1,6) | 2c | R10/2(1,6) |
| 12 | 10R5 | R10(1,25) | R10/3 |
| 13 | R5/3 | 2a | 10R10(1,25) |
| 14 | R5 | R10/4(1,25) | R10/3 |
| 15 | 10R5 | 10R10/3 | R10/6(5,0) |
| 16 | R10(5,0) | R5/3(4,0) | 2a |
| 17 | 2b | R5(10,0) | 10R10/3 |
| 18 | 10R5(4,0) | R10/4(4,0) | 10R10 |
| 19 | 10R10/5(20,0) | 2a | 2b |
| 20 | 100R5 | 10R10(5,0) | R10/10(10,0) |

9.3 Методика виконання контрольної роботи зі сертифікації

Аналітичний огляд національних систем сертифікації в економічно розвинутих країнах світу.

В сучасних умовах значна увага приділяється міжнародній стандартизації і сертифікації як організаційно-технічній основі співпраці країн в найрізноманітніших галузях науки, техніки, економіки і промисловості. В результаті збільшилися не тільки масштаби і об'єми робіт в цих областях, але і розширилися межі самих понять “міжнародний стандарт”, “міжнародна стандартизація”, “міжнародна сертифікація”.

Міжнародна стандартизація і сертифікація є одночасно і наслідком, і інструментом управління науково-технічним та економічним розвитком країн. Це значно збільшило інтерес до співпраці в галузях стандартизації і

сертифікації як на національному (фірмовому), так і на міжнародному (урядовому і неурядовому) рівнях.

Із загального числа чотирьох з лишнім тисяч міжнародних (всесвітніх і регіональних) організацій, діючих в сучасному світі, більше 400 тією чи іншою мірою займаються питаннями стандартизації або сертифікації. І хоча розробки більшості з них такі, як і стандарти ІСО, вони є рекомендованими для використання країнами, які входять в ці організації. Вивчення і впровадження їх в національну практику є не тільки економічно доцільними, але і необхідною умовою прискорення науково-технічного прогресу в цих країнах.

Тому є доцільним в самостійній роботі студентів виконати аналітичний огляд національних систем сертифікації в одній із економічно розвинутих країн світу.

В огляді рекомендується висвітлити такі питання:

- діяльність як основних організацій, які спеціалізуються в області стандартизації і сертифікації, так і діяльність ряду науково-технічних і загальноекономічних організацій;
- структуру, задачі і методи роботи організацій, які займаються питаннями стандартизації і сертифікації в міжнародному, регіональному і національному масштабах;
- участь в роботі технічних комітетів і підкомітетів таких міжнародних організацій, як ІСО, МЕК, МОЗМ;
- вклад окремих країн в діяльність міжнародних організацій із стандартизації і сертифікації;
- об'єкти стандартизації;
- порядок розробки, впровадження та державний нагляд за дотриманням вимог стандартів;
- порядок застосування міжнародних (регіональних) стандартів інших країн;
- порядок проведення сертифікації продукції в окремій країні. Національний знак відповідності;
- гармонізацію нормативно-правових актів із підтвердження відповідності з міжнародними та європейськими актами;
- участь окремої країни в міжнародному співробітництві у сфері підтвердження відповідності.

Завдання

Для огляду взяти одну із країн, відповідно до варіанта:

1. США;
2. Японію;
3. Великобританію;
4. Францію;
5. Німеччину;

6. Італію;
7. Грецію;
8. Канаду;
9. Данію;
10. Швецію;
11. Норвегію;
12. Фінляндію;
13. Швейцарію;
14. Португалію;
15. Австралію;
16. Китай;
17. Індію;
18. Бразилію;
19. Польщу.
20. Італію

Література

1. Бичківський Р.В. та ін. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2002. – 560 с.
2. Винокуров В.И. и др. Электрорадиоизмерения. - М.: Высшая школа, 1986.
3. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
4. Гриневиц Ф.Б. Измерение невидимок.- К.: Наукова думка, 1988.
5. Грохольский А.Д. Основы авиационной метрологии: Учебное пособие. - К.: КИИГА, 1983
6. Драхслер Р. Основы электроизмерительной техники. - М.: Энергоиздат, 1982.
7. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.
8. ДСТУ 3412-96. Акредитація в Системі УкрСЕПРО.
9. Дудыкевич В.Б. и др. Реализация функции измерения частоты в микропроцессорных системах //Микропроцессорные средства и системы. - 1988. - № 4. - С. 73.
10. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений: Учебное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
11. Котельников Р.Б. Анализ результатов наблюдений. -М.: Энергоатомиздат, 1986.
12. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. - 711с.
13. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. - М.: Радио и связь, 1985.
14. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
15. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. - М.: Юрайт-М, 2001. – 268с.
16. Маликов В.Т., Поджаренко В.А. Современные методы и средства измерительной техники: Учебное пособие. - К.: УМК ВО, 1988.
17. Мирский Г.Я. Встроенная микропроцессорная система - основа современного средства измерения //Микропроцессорные средства и системы. - 1986. - № 1. - с. 47.
18. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. - М.: Радио и связь, 1984.

19. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985 – 321 с.
20. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. - К.: Вища школа, 1983.
21. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). - К.: Вища школа, 1986.
22. Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. – К.: ІСДО, 1994. – 160 с.
23. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов (Под ред. Е.М. Душина). - Л.: Энергоатомиздат, 1987.
24. Поджаренко В.О. Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. Навчальний посібник. – К.: УМК ВО, 1991 – 239 с.
25. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація та управління якістю: Підручник. – К.: Либідь, 1993. – 256 с.
26. Сертифікація в Україні. Нормативні акти та інші документи. – Т1,Т2. – Держстандарт України, 1998. – 416 с.
27. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений: Учебное пособие. - Л.: Энергоатом-издат, 1987.
28. Сурикова Е.И. Погрешности приборов и измерений. -Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975.
29. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. - М.: Мир, 1985.
30. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації. Підручник. – К.: Вид-во Європ.ун-ту, 2002. - 174 с.
31. Шрюфер Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів: Підручник/ За ред. В.П. Бабака. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.
32. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин (Под ред. Б. С. Полищука). - К.: Вища школа, 1984.
33. Электрические измерения: Учебное пособие (Под ред. В.Н. Малиновского). - М.: Энергоатомиздат, 1985.
34. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие (Под ред. В.И. Винокурова). - М.: Высшая школа, 1986.

Навчальне видання

Володимир Олександрович Поджаренко,
Павло Ігорович Кулаков, Олександр Григорович Ігнатенко,
Олеся Петрівна Войтович

Основи метрології
та вимірювальної техніки

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 ¼
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ