ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Метрологічне забезпечення, інформація, вимірювання, метрологія: визначення і взаємозв’язок

Поняття "метрологічне забезпечення" виникло порівняно недавно і викликано необхідністю встановлення єдиного підходу до організації і проведення вимірювань, а також до єдиного розуміння їх результатів.

У широкому значенні під метрологічним забезпеченням розуміють установлення і застосування метрологічних норм і правил, а також розробку, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань.

Метрологічне забезпечення перетворилося в самостійну галузь техніки, яка має важливе практичне значення. Головними сферами його застосування є підвищення ефективності наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт, технічного обслуговування різних фізичних об’єктів і підтримання їх працездатного стану, зберігання матеріальних цінностей і енергетичних ресурсів, медицина, охорона навколишнього середовища і контроль умов життєдіяльності людей, підвищення вірогідності випробувань і контролю якості продукції тощо.

З визначення метрологічного забезпечення випливає, що центральне місце в ньому посідає поняття "вимірювання". Проте перед тим, як дати визначення "вимірюванню", введемо поняття "об’єкт вимірювання", "фізична величина" та "одиниця вимірювань", або "одиниця фізичної величини"(ОФВ).

Примітка. Терміни і визначення в главі 1 наведені згідно з ДСТУ 2681-94, хоча автор не завжди з ними згоден.

Об’єкт вимірювання − матеріальний об’єкт, одна або декілька властивостей якого підлягають вимірюванню.

Кожному об’єкту матеріального світу, до якого, зокрема, належать технічні об’єкти (елементи, пристрої, прилади, агрегати, системи, комплекси), речовини, явища і процеси (фізичні, хімічні, біологічні, технологічні та ін.), а також люди, притаманна безліч різних властивостей, на підставі яких можуть бути одержані певні відомості про стан об’єкта вимірювання (ОВ). Сукупність цих відомостей називається узагальненим поняттям інформація.

Властивості ОВ відрізняються якісними і кількісними ознаками, які відображаються в понятті "фізична величина" (рис. 1.1).

Під фізичною величиною (ФВ) розуміють властивість, загальну в якісному відношенні для багатьох об’єктів вимірювань, але в кількісному відношенні індивідуальну для кожного з них. Отже, якісні ознаки мають узагальнений характер, вони об’єднують однорідні властивості найрізноманітніших ОВ. Так, до фізичних величин належать, наприклад, маса, довжина, температура, струм, електрична напруга, частота тощо. Якісна ознака ФВ відображається в понятті "рід ФВ".



Рис. 1.1. Фізична величина та її характеристики

Фізичні величини, що підлягають вимірюванню, називають вимірюваними величинами. Інколи використовують термін "контрольовані параметри". Наприклад, вимірюваними величинами, або контрольованими параметрами, можуть бути напруга і частота джерела живлення, температура, тиск і вологість повітря атмосфери, частотні характеристики технічного об’єкта і т.д.

Найважливішими є відомості про кількісні характеристики властивостей ОВ, які одержують за допомогою вимірювань. Такі відомості розширюють наші знання, тобто знижують якоюсь мірою невизначеність знань про ОВ. Таким чином, вимірювання служать для одержання інформації про явища, технічні процеси, об’єкти тощо, тому вони вважаються інформаційним процесом. Основним інструментом одержання кількісної інформації є засоби вимірювальної техніки. Отже, вимірювальна техніка призначена для одержання експериментальної кількісної інформації про властивості різноманітних об’єктів матеріального світу. Таку інформацію одержують за допомогою процесів вимірювання, контролю, обліку, розпізнавання, виявлення, діагностики.

Інформацію про вимірювані величини та залежності між ними називають вимірювальною інформацією. Вона виникає під час взаємодії, принаймні, двох матеріальних об’єктів − об’єкта вимірювання і засобу вимірювальної техніки (ЗВТ). Отже, засіб вимірювальної техніки є джерелом вимірювальної інформації.

Індивідуальність фізичної величини в кількісному відношенні відображається в поняттях "розмір" і "значення фізичної величини".

Під розміром фізичної величини розуміють кількісний вміст фізичної величини в даному об’єкті вимірювання.

Значення фізичної величини − це відображення розміру фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням одиниці вимірювання.

Числове значення фізичної величини − число, яке дорівнює відношенню розміру вимірюваної фізичної величини до розміру одиниці вимірювань (одиниці цієї фізичної величини) або кратної (часткової) одиниці.

Одиниця вимірювань (одиниця фізичної величини) − фізична величина певного розміру, прийнята за згодою для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Таким чином, зміст понять "розмір" і "значення фізичної величини" полягає в тому, що кількість даної властивості одного ОВ може бути в певне число разів більше або менше від кількості аналогічної властивості іншого ОВ. Неправильно кількість властивості виражати терміном "величина", наприклад, "величина опору" або "величина напруги", оскільки і опір, і напруга є фізичними величинами.

Разом з тим між поняттями "розмір" і "значення фізичної величини" є відмінність. Розмір ФВ існує реально, об’єктивно і залишається незмінним. Оцінку розміру ФВ називають значенням фізичної величини, яке одержують вимірюванням цього розміру. Проте в практиці вимірювань поняття "розмір" і "значення фізичної величини" часто не відрізняють. Оскільки значення ФВ одержують експериментально, то в теперішній час віддають перевагу такому визначенню вимірювання.

Вимірювання − це відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту (а іноді обчислень) із застосуванням спеціальних технічних засобів.

Під спеціальними технічними засобами розуміють засоби вимірювальної техніки, визначення яких наведено в підп. 1.4.1.

Відрізняють істинне і умовно істинне (дійсне) значення ФВ.

Істинне значення фізичної величини − це значення фізичної величини, що ідеально відображає в якісному і кількісному відношенні відповідну властивість даного об’єкта вимірювання.

Проте через недосконалість вимірювань і ЗВТ істинне значення ФВ, яке існує об’єктивно, незалежно від його пізнавання нами, визначити експериментально в принципі неможливо. Тому для значення фізичної величини, знайденого шляхом вимірювання, застосовують терміни "умовно істинне (дійсне) значення" і "результат вимірювання".

Умовно істинне ( дійсне) значення фізичної величини − це значення фізичної величини, знайдене експериментально і настільки наближене до істинного значення, що може бути використано замість нього для даної мети.

Результат вимірювання − це значення фізичної величини, одержане шляхом її вимірювання. Результати вимірювань знаходять за показами засобів вимірювань (ЗВ) безпосередньо або після додаткових обчислень.

Показ засобу вимірювань − значення вимірюваної величини, відтворене за допомогою засобу вимірювань і подане сигналом вимірювальної інформації.

Поняття "засіб вимірювань" наведено в підп. 1.4.2.

При практичних вимірюваннях поняття "умовно істинне значення ФВ" і "результат вимірювання" вважаються ідентичними, і тільки при порівнянні показів двох ЗВ, на чому ґрунтується повірка та метрологічна атестація ЗВ (див. § 5.4), вони розрізняються. За умовно істинне (дійсне) значення приймають показ більш точного, зразкового ЗВ, а за результат вимірювання − показ ЗВ, що повіряється (атестується).

Сказане вище можна сформулювати у вигляді трьох постулатів вимірювань.

1. Існує істинне значення ФВ, яке підлягає вимірюванню. Це значення якнайкраще відображає в кількісному відношенні розмір відповідної властивості ОВ.

2. Істинне значення ФВ визначити неможливо через недосконалість різних елементів процесу вимірювання (див. § 1.3). Тому вимірюють умовно істинне (дійсне) значення ФВ, яке відрізняється від її істинного значення.

3. Істинне значення ФВ є постійним.

Математично результат вимірювання X (значення фізичної величини ) в загальному вигляді подають у формі запису, названого основним рівнянням вимірювання:

, (1.1)



де − числове значення вимірюваної фізичної величини (показ ЗВ);



− одиниця вимірювань (одиниця фізичної величини).



Основним дане рівняння названо тому, що воно повністю розкриває метрологічну суть вимірювань, яка полягає в порівнянні розміру вимірюваної ФВ Х з прийнятою одиницею цієї ФВ.



Таким чином, результат вимірювання виражають іменованим або неіменованим числом, яке становить співвідношення розміру вимірюваної ФВ з її одиницею. Приклади: 220 В, 36 оC − іменовані числа; відношення напруг 10,0, коефіцієнт підсилення 100 − неіменовані числа.

Якісна відміна результату вимірювання та умовно істинного (дійсного) значення вимірюваної ФВ від її істинного значення характеризується похибкою вимірювання (див. § 2.1). Похибка властива будь-якому вимірюванню і є досить важливим показником якості вимірювань. Тому, вказуючи результат вимірювання, необхідно наводити характеристику похибки, за якою він одержаний. Адекватним похибці є інший показник якості вимірювань − точність вимірювання, що, як і похибка, відображає міру близькості результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Крім похибки і точності вимірювань, для характеристики якості вимірювань використовуються й інші показники: правильність, збіжність і відтворюваність, а також невизначеність. Їх фізичний зміст розкрито в § 2.2.

Вимірюванням властива одна фундаментальна особливість, яка полягає в єдності методології оцінки ступеня досягнення поставленої мети. Ця методологія узагальнюється науковою дисципліною "метрологія".

Метрологія − це наука про вимірювання, яка включає теоретичні і практичні аспекти вимірювань в усіх галузях науки і техніки. Головним завданням метрології є забезпечення єдності і заданої (потрібної) точності вимірювань.

Єдність вимірювань − стан вимірювань, при якому їхні результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, похибки вимірювань відомі та з заданою ймовірністю не виходять за встановлені границі.

Забезпечення єдності вимірювань є необхідним для зіставлення результатів вимірювань, виконаних у різний час, у різних місцях, різними методами і засобами, різними експериментаторами.

1.2. Системи фізичних величин і одиниць вимірювань

**1.2.1. Системи фізичних величин**

Вимірювання фізичних величин, що характеризують той чи інший ОВ, дозволяють установити і кількісно виразити зв’язки, які існують між цими величинами. Саме так, наприклад, було встановлено математичний зв’язок між масою тіла, прискоренням і силою, яка його створює, відомий під назвою другого закону Ньютона.

Аналітичний зв’язок між фізичними величинами, що відображає різні властивості будь-якого ОВ, виражається рівнянням зв’язку, яке в загальному випадку має вигляд:

, (1.2)



де − фізичні величини, ;



− абстраговані додатні та від’ємні числа;



A − числовий коефіцієнт.

Сукупність фізичних величин, що розглядаються як узагальнені фізичні властивості і зв’язані між собою строгими функціональними залежностями, називається системою фізичних величин. Фізичні величини поділяють на основні та похідні.

Основна фізична величина − це фізична величина, що входить у дану систему фізичних величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи. Наприклад, до основних величин різних систем належать довжина, маса, час.

Похідна фізична величина − це фізична величина, що входить у дану систему фізичних величин і визначається через основні величини цієї системи.

Такою величиною, наприклад, є швидкість, якщо за основні величини системи вибрані довжина і час. Розмірність похідних величин визначається через розмірності основних величин.

Під розмірністю фізичної величини розуміють вираз, що відображає її зв’язок з основними величинами даної системи фізичних величин. Розмірність основної ФВ не залежить від інших величин, тобто формула розмірності основної величини збігається з привласненим їй умовним символом. Розмірність похідної фізичної величини є добутком розмірностей основних величин, піднесених до відповідних степенів.

Термін "розмірність" при записі позначають скороченням "dim" (від латинського слова dimension − розмір) або знаком [Х], а розмірність фізичних величин − великими літерами латинського алфавіту прямим шрифтом. Так, розмірності довжини l, маси m і часу t позначають відповідно L, M, T, а система фізичних величин, в якій ці величини взяті за основні, називається системою LMT (вона свого часу діяла в механіці). Наприклад, розмірність похідної величини швидкості може бути одержана з формули швидкості прямолінійного рівномірного руху і виражається співвідношенням



dim v = LM0T-1.

Запис М0 свідчить про відсутність цієї величини (в даному випадку маси) в розмірності.

Фізичні величини за видом розмірності поділяють на розмірнісні й безрозмірнісні.

Розмірнісна фізична величина − це величина, в розмірності якої хоча б одна з основних величин піднесена до степеня, що не дорівнює нулю.

Показники степеня, до якого піднесена розмірність основних величин, що входять до розмірності похідної фізичної величини, називають показниками фізичної величини.

Безрозмірнісна фізична величина − це величина, в розмірності якої всі степені розмірностей основних величин дорівнюють нулю.

Безрозмірнісними фізичними величинами є відносні і логарифмічні величини. Відносна величина являє собою відношення двох однорідних однойменних фізичних величин, наприклад, коефіцієнт гармонік, коефіцієнт форми, коефіцієнт амплітудної модуляції та ін. Логарифмічна величина являє собою логарифм відношення двох однорідних фізичних величин. Логарифмічні величини широко застосовуються для відображення підсилення і ослаблення потужності й напруги електричних сигналів у радіотехніці й техніці зв’язку та передавання інформації.

**1.2.2. Системи одиниць вимірювань**

Нагадаємо, що, згідно з основним рівнянням вимірювань (1.1), усі результати вимірювань подаються у загальноприйнятих одиницях вимірювань, або одиницях фізичних величин.

Для позначення одиниць вимірювань використовують їх умовні символи у вигляді літерних позначень, які можуть бути міжнародними (з латинського та грецького алфавітів) і українськими. Наприклад: m (м) − позначення метра, kg (кг) − позначення кілограма, s (с) − позначення секунди, V (В) − позначення вольта, (Ом) − позначення ома.



Одиниці вимірювань, їх найменування, позначення і правила застосування встановлюються державним стандартом.

Зв’язок між одиницями вимірювань установлює рівняння зв’язку, одержане з основного рівняння (1.1) і рівняння зв’язку (1.2) між ФВ. З урахуванням (1.1) рівняння зв’язку (1.2) записується у вигляді

. (1.3)



Воно є основою для одержання іншого виду рівняння зв’язку між числовими значеннями

. (1.4)



У цьому рівнянні символи позначають не конкретні величини (масу, довжину, силу і под.), а конкретні числа, які залежать від вибору одиниць відповідних ФВ. Наявність у формулі (1.4) числового коефіцієнта a, який залежить від вибору одиниць, є характерною ознакою рівнянь цього виду. До них, зокрема, належать усі емпіричні формули.

Розділивши рівняння (1.3) на (1.4), одержимо рівняння зв’язку між одиницями вимірювань:

, (1.5)



де b- числовий коефіцієнт: .



Одиниці вимірювань [Xi] можуть бути вибрані таким чином, щоб коефіцієнт A в рівнянні (1.3) дорівнював коефіцієнту a в рівнянні (1.4), тобто . Тоді коефіцієнт . Одиниці фізичних величин, які задовольняють цій умові, називають когерентними. Вони утворюють когерентну систему одиниць вимірювань, для яких рівняння зв’язку (1.4) між числовими значеннями має таку саму форму (включаючи коефіцієнт), що й рівняння зв’язку (1.3) між фізичними величинами.



Одиниці вимірювань, як і фізичні величини, об’єднуються в системи одиниць вимірювань, або одиниць фізичних величин, які застосовуються в окремих країнах або в міжнародних масштабах.

Система одиниць вимірювань (одиниць фізичних величин) − це сукупність одиниць певної системи фізичних величин.

Одиниці вимірювань поділяють на основні і похідні.

Основною називається одиниця основної фізичної величини, вибрана довільно при створенні системи одиниць, а похідною − одиниця похідної фізичної величини у певній системі одиниць. Рівняння для установлення похідних одиниць вимірювань можуть бути вибрані довільно, але на практиці перевага надається простим рівнянням, в яких фізичні величини зв’язані між собою операціями ділення і множення. Поряд із системними одиницями використовуються позасистемні одиниці вимірювань, тобто одиниці, які не входять у жодну систему. Прикладами таких одиниць можуть бути карат (одиниця маси), кінська сила (одиниця потужності), доба і місяць (одиниці часу) та ін. Виникнення цих одиниць пояснюється зручністю їх використання у повсякденній практиці і загальноприйнятими традиціями.

Одиниці вимірювань можна встановлювати досить довільно, що підтверджує історія метрології, якій відома безліч прикладів, коли одиниці довжини, площі, об’єму вибирались незалежно одна від одної. Проте в практичній діяльності людини це не викликало серйозних труднощів. Найбільш раціональним виявився вибір зв’язаних між собою одиниць вимірювань, серед яких тільки деякі одиниці вибираються довільно, а інші одиниці − на підставі закономірних зв’язків між фізичними величинами.

Уперше сукупність основних і похідних ОФВ, об’єднаних у систему МКС, запропонував у 1832 р. К.Ф. Гаус. За основні одиниці були прийняті метр − одиниця довжини, кілограм − одиниця маси, секунда − одиниця часу. Далі в різних країнах були введені інші системи ОФВ, які відрізнялися основними одиницями, але вони мали обмежене застосування в окремих галузях науки − механіці, електротехніці тощо. Зараз переважне розповсюдження у світі знаходить Міжнародна система одиниць − The International System of Units, скорочено SI. Вона ухвалена в 1960 р. Генеральною конференцією мір та ваг і рекомендована Міжнародною організацією законодавчої метрології. Її застосування в Україні обов’язкове. За рішенням Держстандарту України можуть бути допущені до застосування в Україні одиниці вимірювань, які не входять до SI.

Характеристики і параметри експортованих товарів (у тому числі ЗВТ) та послуг (у тому числі з вимірювань, метрології, атестації, повірки, калібрування і державних випробувань), що виконуються для іноземних держав, можуть бути подані в одиницях вимірювань, установлених замовником.

Система SI включає сім основних одиниць вимірювань (табл. 1.1).

# Таблиця 1.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фізична величина | Одиниця вимірювань  (ОФВ) | Скорочене позначення  одиниці | | Розмірність одиниці |
| міжнародне | українське |
| Довжина  Маса  Час  Сила електричного струму  Термодинамічна температура  Кількість речовини  Сила світла | метр  кілограм  секунда  ампер  кельвін  моль  кандела | m  kg  s  A  K  mol  cd | м  кг  с  А  К  моль  кд | L  M  T  I  Θ  N  J |

Крім того, SI включає дві додаткові одиниці вимірювань: плоского кута − радіан, тілесного кута − стерадіан.

Усі похідні одиниці SI виражаються через основні, їх кількість необмежена. У додатку 1 наведені найбільш поширені похідні одиниці SI, а в додатку 2 − деякі позасистемні одиниці вимірювань, що допускаються до використання нарівні з одиницями SI.

До головних достоїнств SI належать: універсальність, яка полягає в спільності цієї системи для всіх галузей науки і техніки; погодженість, обумовлена тим, що всі похідні одиниці вимірювань когерентні і створені за єдиним правилом, а це істотно спрощує розрахунки; можливість створення нових похідних одиниць вимірювань у міру розвитку науки і техніки на основі існуючих одиниць.

Для забезпечення зручності виконання вимірювань і обробки їх результатів уведені кратні і часткові одиниці вимірювань. Кратною називається одиниця, яка в ціле число разів більша за системну або позасистемну одиницю вимірювань. Наприклад: 1 км = 1000 м, 1 хв = 60 с,. Часткова одиниця у ціле число разів менша за системну або позасистемну одиницю вимірювань. Наприклад: 1 мкс = с, 1 мм = м.



Десяткові кратні й часткові одиниці від одиниць SI утворюються шляхом приєднання префіксів. У додатку 3 наведені множники і префікси для утворення десяткових кратних і часткових одиниць та їх найменування.

Префікс і його позначення (українське і міжнародне) пишуться разом з найменуванням одиниці або її позначенням. Наприклад: гігагерц (ГГц; GHz), кіловольт (кВ; kV), міліампер (мА; mA), мікрофарад (мкФ; μF).

При утворенні десяткових кратних і часткових одиниць від одиниць SI необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

* вибирати їх так, щоб розміри та одиниці ФВ не відрізнялись одні від одних на багато порядків, якщо це не є практично необхідним згідно з метою вимірювань;
* одночасно застосовувати мінімальне число кратних і часткових одиниць;
* вибирати одиниці так, щоб числові значення величин були зручними для безпосереднього практичного використання;
* при розрахунках усі величини виражати в одиницях SI, замінюючи префікси степенями числа 10, а кратні й часткові одиниці підставляти тільки в кінцевий результат.

Назви одиниць вимірювань, кратних і часткових від них, що застосовуються в Україні, позначення і правила їх написання встановлюються Держстандартом України.

Відтворення та зберігання одиниць вимірювань з метою передачі їх розмірів ЗВТ, які використовуються на території України, забезпечуються державними еталонами.

Безрозмірнісна відносна величина може бути виражена в безрозмірнісних одиницях або у відсотках (процентах).

Як одиниця безрозмірнісної величини найчастіше використовується бел (Б), який визначається рівнянням

,



де − значення енергетичних величин (енергії, електричної потужності, потоку, густини потужності і т.д.);



− значення силових величин (напруги, струму, напруженості електромагнітного поля і т.д.).



У практиці вимірювань звичайно застосовують часткову одиницю від бела − децибел (дБ), причому 1 дБ = 0,1 Б. У цьому разі

.



Так, при маємо , а при ‑



Знайдемо відношення , які відповідають 1 дБ:



.



Звідки

.



Крім одиниці децибел, у практиці також використовується безрозмірна одиниця непер , хоча вона менш зручна, ніж децибел, бо занадто велика і не зв’язана з десятковою системою числення. Співвідношення між непером і децибелом: 1 Нп = 8,686 дБ; 1 дБ = 0,115 Нп.



**1.3. Процес вимірювання**

**1.3.1. Визначення, основні елементи і підготовка процесу вимірювання**

Процес вимірювання − це складне, багатогранне явище, яке охоплює ряд елементів; його можна вважати складною ергатичною системою.

Якість результатів вимірювань, одержаних у процесі вимірювання, визначається низкою основних елементів, кожен з яких є невід’ємною частиною цього процесу. До таких елементів слід віднести: об’єкт вимірювання, вимірювану фізичну величину (ВВ) і одиницю цієї фізичної величини, метод вимірювання, засіб (або засоби) вимірювальної техніки, умови вимірювання, методику виконання вимірювань та оператора (суб’єкта), що здійснює вимірювання.

Підсумком процесу вимірювання є результат вимірювання, який одержують з певною похибкою. Взаємозв’язок елементів процесу вимірювання показаний у вигляді умовної структурної схеми на рис. 1.2.

На початковому етапі процесу вимірювання необхідно прийняти фізичну модель об’єкта вимірювання (ФМ ОВ), а точніше вимірюваної величини (ФМ ВВ). Вона вибирається, виходячи з мети вимірювання, і мусить відображати з множини властивостей реального ОВ тільки ті з них, які підлягають вимірюванню відповідно до поставленої технічної задачі і мети вимірювання. При цьому фізична модель об’єкта вимірювання (вимірюваної величини), як правило, не збігається з самим об’єктом вимірювання (вимірюваною величиною). У галузі електрорадіовимірювань вимірюваними величинами є характеристики і параметри електричних кіл і сигналів.

Приклад 1.1. Об’єкт вимірювання - довільне джерело змінної напруги, мета вимірювання − оцінка вихідної напруги джерела.

Вимірювана величина − середнє квадратичне значення вихідної напруги джерела; фізична модель об’єкта вимірювання (вимірюваної величини) може бути представлена різними варіантами. Наприклад, одна, найбільш загальна, модель − випадковий сигнал; інша, конкретна, модель − синусоїдний сигнал.

Приклад 1.2. Об’єкт вимірювання − електронний вольтметр, мета вимірювання − оцінка складових його вхідного опору в заданому частотному діапазоні.

Вимірювана величина − вхідний опір електронного вольтметра, фізична модель об’єкта вимірювання (вимірюваної величини) − повний опір, який складається із зосереджених активної і ємнісної складових.



Рис. 1.2. Структура процесу вимірювання

Один і той самий ОВ може бути поданий різними фізичними моделями (зважаючи на режим його роботи), що відбивається на характеристиках вимірюваної величини і на необхідному ступені наближення до неї фізичної моделі ОВ. Наприклад, опір резистора можна розглядати, по-перше, як лінійний у вузькому діапазоні значень струму, що проходить через нього, так і нелінійний у широкому діапазоні значень струму, а по-друге, − як активний опір у колах постійного і низькочастотного струму, так і повний опір у високочастотних колах, де починає впливати поверхневий ефект.

На другому етапі процесу вимірювання, після визначення ФМ ОВ, виконується вибір і обґрунтування методу вимірювання і засобу (засобів) вимірювальної техніки, виходячи з необхідності забезпечення потрібної похибки вимірювання.

Метод вимірювання − це сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювання для створення вимірювальної інформації.

Принцип вимірювання визначається суттю явища, на якому ґрунтується вимірювання. Наприклад: принцип вимірювання електричних величин на основі перетворення енергії електромагнітного поля в механічну, принцип вимірювання тиску на основі його перетворення в переміщення, принцип вимірювання температури на основі термоелектричного ефекту, тепловий принцип вимірювання потужності надвисоких частот і т.д.

Вимірювання здійснюються за методиками виконання вимірювань.

Методика виконання вимірювань − сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з потрібною точністю.

Методики виконання вимірювань підлягають атестації.

Атестація методики виконання вимірювань − процедура встановлення відповідності методики метрологічним вимогам, що ставляться до неї.

Взаємодія між ОВ і ЗВТ здійснюється за допомогою вимірювальних сигналів (див. підп.1.3.3), причому залежно від задачі вимірювання (або контролю) вимірювальний сигнал може не тільки подаватися на вхід ЗВТ з виходу ОВ, але й навпаки − з виходу ЗВТ на вхід ОВ.

Вимірювання виконуються, як правило, людиною-оператором (суб’єктом вимірювання), психофізіологічні якості котрої можуть вносити в результат вимірювання специфічну похибку через суб’єктивне сприймання показів ЗВТ. Вплив суб’єктивного фактора виключається при автоматизації знімання та оцінки результату вимірювання.

Процес вимірювання виконується за певних умов, під якими розуміють комплекс факторів, що впливають на метрологічні характеристики ЗВТ. Такі фактори об’єднуються поняттям "впливні величини".

Впливна величина − це фізична величина, що впливає на результат вимірювання через засоби вимірювальної техніки, але не є вимірюваною величиною.

До впливних величин можуть належати, наприклад, температура, вологість і тиск навколишнього середовища, механічні дії, зовнішнє електромагнітне поле, напруга живлення та ін. Таким чином, на ЗВТ діють як вимірювана величина, так і впливні величини. Засіб вимірювальної техніки з усієї множини діючих на нього величин мусить виділяти тільки вимірювану величину і не повинен реагувати на всі інші величини. Проте будь-який ЗВТ чутливий більшою чи меншою мірою до невимірюваних (впливних) величин, що впливають на його покази, а отже, і на результат вимірювання. Вплив цих величин на результат вимірювання мусить бути вивчений і врахований. До впливних величин належать також неінформативні параметри вхідних сигналів ЗВТ (див. підп. 1.3.3). Кожна з впливних величин, взагалі кажучи, може бути виміряна окремо і врахована, але в реальних умовах вимірювань їх дія призводить до похибки вимірювання.

Таким чином, процес вимірювання передбачає виконання таких основних етапів: визначення фізичної моделі об’єкта вимірювання; обґрунтований і взаємозв’язаний вибір методу вимірювання і засобу (засобів) вимірювальної техніки; виявлення впливних величин і, якщо потрібно, забезпечення їх допустимих значень; проведення експерименту для одержання результату вимірювання (з допустимою похибкою) за певною методикою виконання вимірювань, що включає в разі необхідності математичну обробку (обчислення) експериментальних даних (вимірювальної інформації).

**1.3.2. Про вибір фізичної моделі об’єкта вимірювання**

Правильний вибір фізичної моделі об’єкта вимірювання (вимірюваної величини) є найголовнішою передумовою обґрунтування методу вимірювання і ЗВТ, а отже, одержання результату вимірювання з допустимою похибкою. Прийнята фізична модель ОВ, з одного боку, мусить відображати певні реальні властивості цього об’єкта, а з другого боку, − відповідати меті вимірювання, тобто враховувати для вирішення якого завдання (технічного, наукового та ін.) проводяться вимірювання. Так, у прикладі 1.2 в прийнятій фізичній моделі ОВ враховані як реальні властивості вольтметра (активна і ємнісна складові вхідного опору), так і мета вимірювання − перевірка відповідності складових його вхідного опору заданим значенням. Якщо б мета вимірювання була іншою (наприклад, перевірка можливості застосування вольтметра для вимірювання в конкретному радіотехнічному колі), то і фізична модель ОВ була б іншою (зокрема, врахування паразитних індуктивностей і ємностей та їх розподілений характер).

Таким чином, фізичною моделлю ОВ може служити його приблизний опис, який дозволяє виділити параметр (або функцію параметрів моделі), що відображає властивість ОВ, необхідну для вирішення задачі вимірювання. Цей опис мусить досить добре відображати дві групи властивостей ОВ: першу групу складають властивості, для визначення яких проводиться вимірювання, а другу групу − властивості, які не представляють інтересу в даній задачі вимірювання, але можуть впливати на результат вимірювання, тобто призводять до похибок.

Моделювання ОВ, яке являє собою перший необхідний етап планування процесу вимірювання, найменш вивчена і мало відображена в науково-технічній літературі процедура серед усіх процедур, які проводяться при вимірюваннях. Основною проблемою моделювання ОВ є вибір таких моделей, які можна вважати (при передбачуваних якісних властивостях ОВ і при поставленій задачі вимірювання) адекватними ОВ. Так, у прикладі 1.2 фізична модель ОВ істотно поскладнішає, якщо вважати, що індуктивність і ємність вхідних ланцюгів є розподіленими параметрами.

Тут виникає парадоксальна ситуація. З одного боку, для того щоб вивчити певну властивість ОВ шляхом вимірювань, необхідно заздалегідь мати деяку (інколи значну) інформацію про його властивості, тобто початкову апріорну інформацію. Без неї неможливо встановити адекватну фізичну модель ОВ (вимірюваної величини) з усіма її властивостями, яку треба знати для вибору методу вимірювання і ЗВТ. Так, у прикладі 1.1 (з електричною напругою) перший варіант фізичної моделі ОВ (випадковий процес) настільки загальний, що завжди може вважатися адекватним. Але така модель не дозволяє вибрати метод вимірювання і ЗВТ, якщо її не конкретизувати. Потрібно додатково знати хоча б частотний спектр прийнятого випадкового сигналу і діапазон можливих значень амплітуди напруги, а також характер сигналу: стаціонарний чи нестаціонарний, ергодичний чи неергодичний. Тому, з другого боку, для одержання початкових даних про ОВ необхідно провести деякі спеціальні, попередні вимірювання, які, в свою чергу, також потребують початкових, менш строгих знань про ОВ.

Отже, адекватна фізична модель ОВ може встановлюватися тільки на основі початкової інформації про мету і об’єкт вимірювання. Звідси витікає, що потрібні, по-перше, методи установлення адекватних фізичних моделей ОВ на основі початкових даних і, по-друге, методи перевірки цієї адекватності. Відносно перших і других методів існує в основному якісне уявлення, але воно строго не формалізується. Установлення адекватних фізичних моделей ОВ – це поки що складна, творча, неформалізована задача. Її вирішення потребує високої кваліфікації, досвіду і, навіть, якоюсь мірою інженерної інтуїції, тобто установлення раціональних або найбільш простих фізичних моделей ОВ знаходиться десь на грані науки і майстерності. Одночасно треба розв’язувати дві важливі задачі:

1) фізична модель ОВ мусить адекватно відображати всі властивості цього об’єкта, дозволяючи вирішувати задачу вимірювання з необхідною точністю (тобто оцінити властивості ОВ, визначення яких необхідно для вирішення задачі вимірювання, та інші властивості ОВ, що можуть впливати на результати вимірювань);

2) фізична модель ОВ мусить бути по можливості простою, тобто утримувати мінімум параметрів як тих, що беруться за вимірювані величини, так і тих, які можуть небажано впливати на результати вимірювань (наприклад, неінформативні параметри вхідного сигналу ЗВТ).

Конкретні рекомендації для установлення фізичної моделі ОВ на теперішній час навряд чи можуть бути видані. Поки це визначається кваліфікацією і досвідом експериментатора, який мусить завжди пам’ятати, що можлива невідповідність вибраної вимірюваної величини потрібній властивості ОВ та невідповідність фізичної моделі ОВ реальному об’єкту обумовлюють деяку складову похибки вимірювання. При цьому можлива неадекватність вибору фізичної моделі вимірюваної величини переноситься в область неправильності одержаного при вимірюванні результату.

Узагальнюючи сказане вище про процес вимірювання, відзначимо велике значення підготовки до нього, яка насамперед включає:

* аналіз постановки вимірювальної задачі;
* вибір фізичної моделі ОВ;
* вибір методу вимірювання і ЗВТ;
* забезпечення необхідних умов для вимірювання;
* підготовку оператора (експериментатора).

Кваліфікований аналіз правильності формулювання вимірювальної задачі створює передумови для отримання вірогідних результатів вимірювання, тому що дозволяє виключити проведення некоректних вимірювань. При такому аналізі доцільно, передусім, з’ясувати два важливих питання:

1) які параметри ОВ (фізичні величини) підлягають вимірюванням;

2) з якою точністю (похибками) необхідно одержати результати вимірювань цих параметрів і в якій формі їх слід відобразити, щоб вони відповідали меті вимірювальної задачі.

З першим питанням тісно пов’язаний вибір фізичної моделі ОВ, яка повинна задовольняти вимоги адекватності і стабільності вимірюваних параметрів у часі. Строго кажучи, вимірювати можна тільки фізичні величини постійного розміру. Але реально це неможливо. Тому допускається деяка нестабільність вимірюваних ФВ (параметрів ОВ) під час вимірювання, але вона не повинна перевищувати приблизно 10 % від заданої похибки вимірювань.

Точність (похибка) вимірювань кожного з параметрів фізичної моделі ОВ залежить від методу вимірювань, ЗВТ і підтримання необхідних умов вимірювання, кваліфікації оператора. Зокрема, зрозуміло, що чим точніше ЗВТ, тим точніше (якісніше) результати вимірювань. Але з підвищенням точності ЗВТ зростає вартість вимірювань. У той же час одна з важливих умов планування вимірювального експерименту полягає в досягненні заданої точності вимірювань при обмежених витратах на них. Таким чином, ЗВТ неможливо розглядати автономно, поза зв’язком з ОВ, його фізичною моделлю, методом вимірювання, умовами проведення вимірювань і кваліфікацією оператора. Необхідно всі ці елементи процесу вимірювання розглядати комплексно при плануванні і підготовці вимірювального експерименту, який включає до того ж обґрунтування кількості вимірювань фізичної величини і методів обробки їх результатів [5,8,25].