

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

Кафедра інформаційних технологій та кібербезпеки, факультет № 4

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

**з навчальної дисципліни «Метрологія та вимірювання»
обов'язкових компонент
освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

125 – Кібербезпека (безпека інформаційних та комунікаційних систем)

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 25.01.21 № 1

СХВАЛЕНО

Вченою радою факультету № 4
Протокол від 20.01.21 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з *технічних дисциплін*

Протокол від 20.01.21 № 1

Розглянуто на засіданні кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки
протокол від 14.01.21 № 1

Розробники:

1. *Старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки
ХНУВС, Пересічанський В.М.*

Рецензенти:

1. Професор кафедри ОТП НТУ «ХПІ», доктор технічних наук, професор
Кучук Г.А.
2. Професор кафедри ЕОМ ХНУРЕ, доктор технічних наук, доцент
Коваленко А.А.

**1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами
(денна форма навчання)**

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин, відведених на вивчення навчальної дисципліни						Література, сторінки	Вид контролю
	Всього	з них:						
		лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота		
Семестр № 3								
Тема № 1 Основи метрології та вимірювання (назва теми)	46	10		6	4	24	Л 8,9,10	екзамен
Тема № 2 Вимірювання параметрів елементів електричних і неелектричних величин. (назва теми)	44	12		8	4	22	Л 8,9,10	
Всього за семестр № 3:	90	22		14	8	46		

**2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами
(заочна форма навчання)**

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин, відведених на вивчення навчальної дисципліни						Література, сторінки	Вид контролю
	Всього	з них:						
		лекцій	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота		
Семестр № 3								
Тема № 1 Основи метрології та вимірювання (назва теми)	48	2		2		44	Л 8,9,10	екзамен
Тема № 2 Вимірювання параметрів елементів електричних і неелектричних величин. (назва теми)	42	2			4	36	Л 8,9,10	
Всього за семестр № 3:	90	4		2	4	80		

Практичне заняття №1

Тема: «Обробка результатів вимірювань. Похибки вимірювань.»

Навчальні питання:

Вступ. Загальні поняття

1. Класифікація та принципи оцінювання похибок вимірювань.
2. Класифікація складових похибок.
3. Особливість та визначення систематичної складової похибки, методи її усунення.

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
2. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
3. Державні стандарти України.
4. Метрологія та вимірювання. Навчальний посібник. Ю.В.Гнусов, В.В. Тулупов, В.М.Пересічанський. Харків, ХНУВС, 2019, 125с.
5. Слайдпроектор.

Місце проведення – навчальна аудиторія, кількість годин – 2 год.

I. Вступ. Загальні поняття

Результати вимірювання будь-якої фізичної величини за допомогою засобів вимірювання являють собою приблизну оцінку її значення, так як результат вимірювань у загальному залежить від використаного методу та засобу вимірювань, від самої фізичної величини та експериментатора.

Якість результатів вимірювання (РВ) та якість засобів вимірювання (ЗВ) прийнято характеризувати показом їхніх похибок. У загальному, **похибка вимірювань** – це критерій якості проведених вимірювань і, являє собою відхилення результату вимірювання фізичної величини від її істинного значення. Поняття похибки використовується для оцінки характеристик як ЗВ так і РВ.

ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ПОХИБОК: недосконалість методів та засобів вимірювання, зміна умов проведення експерименту, яка може впливати на саму фізичну величину та засоби вимірювання і самого експериментатора. Кожна з наведених причин виникнення похибок зумовлена впливом багатьох чинників, які формують основні складові загальної похибки вимірювання.

Різноманітним є також і характер прояву похибок. Похибки розподіляють на види і їх існує біля 30. Персонал, що зв'язаний із вимірюваннями, повинен чітко засвоїти їхню термінологію.

У першу чергу, потрібно відрізнити **ПОХИБКУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ** та **ПОХИБКУ РЕЗУЛЬТАТУ** вимірювань. Ці поняття

не ідентичні.

Похибка результату вимірювань Δ_{PB} - це число, яке показує можливі межі невизначеності значення вимірюваної величини, тобто, Δ_{PB} оцінює відхилення результату $X_{вим}$ вимірювання фізичної величини певним ЗВ від її істинного (дійсного) значення $Q_{дійсн}$ в об'єкті.

Похибка засобу вимірювання $\Delta_{ЗВ}$ - це певна властивість ЗВ, для визначення якої необхідно використовувати відповідні правила метрологічної атестації або повірки.

Історично частина назва виду похибок закріпилась за засобами вимірювань, друга частина - за похибками результатів вимірювань, а деякі використовуються по відношенню як перших, так і других. Тому, розглядаючи в подальшому ці терміни, будемо звертати увагу на межі їхні використання.

II. Основна частина занять.

1.Класифікація та принципи оцінювання похибок вимірювань

Похибки вимірювань (класифікують) систематизують по ряду ознак.

1.1. За першою ознакою (способом числового вираження) розрізняють два види похибок: **абсолютні** та **відносні**, а також різновид відносних - **приведені**.

- **АБСОЛЮТНОЮ ПОХИБКОЮ ВИМІРЮВАННЯ ΔX** називається різниця між результатом вимірювання (показом приладу) $X_{вим}$ та істинним (дійсним) значенням $Q_{іст}$ вимірюваної величини («виміряне мінус істинне») і надається в одиницях вимірюваної величини:

$$\Delta X = X_{вим} - Q_{іст} = X_{вим} - Q_{дійс}. \quad (2.1)$$

Так як істинне значення Q вимірюваної величини не відоме, то не відома й похибка вимірювання. Тому для одержання, хоча б приблизних відомостей про неї у формулу (2.1) підставляють $Q_{дійс}$ вимірюваної величини.

Абсолютна похибка не може в повній мірі використовуватись як показник точності проведених вимірювань, так як одне й теж її значення, наприклад,

$\Delta X = 0.05\text{мм}$ при $Q_{дійс} = 100\text{мм}$ – відповідає відносно високій точності вимірювань, а при $Q_{дійс} = 1\text{мм}$ – низькій. Тому введено поняття відносної похибки.

- **ВІДНОСНОЮ ПОХИБКОЮ ВИМІРЮВАНЬ γ_s** називається похибка, яка визначається як відношення абсолютної похибки вимірювань до істинного $Q_{іст}$ чи дійсного $Q_{дійс}$ значення вимірюваної величини у відповідній точці і подається в долях одиниці або у відсотках (%):

$$\begin{aligned} \gamma_s &= (\Delta / Q_{дійс}) * 100\% = [(X_{вим} - Q_{іст}) / Q_{іст}] * 100\% = \\ &= [(X_{вим} - Q_{дійс}) / Q_{дійс}] * 100\% . \end{aligned} \quad (2.2)$$

При використуванні поняття відносної похибки, для першого випадку (при високій точності вимірювань) $\gamma_s = (0,05/100) * 100 = 0,05\%$, а для другого

$$\gamma_s = (0,05/1) * 100 = 5\%.$$

Але така наглядна характеристика точності РВ не завжди придатна для нормування похибок ЗВ, так як дійсне значення вимірюваної величини може

= 0. У цьому випадку відносна похибка приймає значення безмежності, а характер зміни її по діапазону вимірювання має вигляд гіперболи.

У зв'язку із цим, для показу й нормування похибок ЗВ, використовується різновид відносної похибки – приведена похибка.

- **ПРИВЕДЕНОЮ ПОХИБКОЮ** (відноситься тільки до ЗВ) γ_{np} називається відношення абсолютної похибки до розмаху N шкали ЗВ (або до діапазону D), виражене в долях одиниці або відсотках:

$$\gamma_{np} = (\Delta X / N) * 100\% = (\Delta X / D) * 100\%. \quad (2.3)$$

При постійній абсолютній похибці по діапазону вимірювання, приведена похибка теж постійна й дорівнює відносній похибці в кінці діапазону.

1.2. Принципи оцінювання похибок та математична модель похибки.

Оцінювання похибок проводиться з метою отримання об'єктивних даних про точність результату вимірювання.

Оцінюють похибку приблизно з точністю, яка відповідає меті вимірювання. Реальні значення похибки РВ повинні бути і не завищені, і не занижені. Надмірна точність веде до недоцільної витрати коштів на точні ЗВ та часу на вимірювання, а недостатня – може привести до хибного рішення, наприклад, визнанню придатним до використання практично не придатного для цього або ЗВ, або виробу, або продукту.

Оцінювання похибки може бути апіорне (проводиться до вимірювання), та апостеріорне (після вимірювання).

Апіорна оцінка похибки – це перевірка можливості забезпечення необхідної точності вимірювань, які проводяться в заданих умовах вибраним методом та за допомогою конкретного ЗВ. Вона проводиться у випадках:

- вибору ЗВ для вирішення конкретної вимірювальної задачі;
- при нормуванні метрологічних характеристик ЗВ;
- при виборі методик проведення вимірювань.

Апостеріорна оцінка похибки – проводиться у випадках:

- метрологічної атестації ЗВ або його повірці;
- коли апіорна оцінка незадовільна із-за неврахування індивідуальних властивостей використаного ЗВ. Її необхідно розглядати як корекцію апіорної оцінки похибки.

Похибка вимірювань описується певною математичною моделлю. Вибір моделі опису ґрунтується на отриманих апріорних відомостях про джерела похибок, а також даних, що отримані при проведенні вимірювань.

2. Класифікація складових похибок.

2.1. Класифікація складових похибки за закономірностями прояву.

У загальному випадку за багаторазових вимірювань математичну модель абсолютної похибки Δ вимірювань надають у вигляді декількох складових, а в мінімумі як суму двох складових, які розрізняються за закономірностями прояву:

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_v, \quad (2.4)$$

де Δ_c та Δ_v систематична (ССП) та випадкова (ВСП) складові похибки. Кожна із цих складових обумовлена дією різних чинників і може складатись у свою чергу ще з декількох складових. При такому додаванні ВСП повинна бути визначена як довірча межа інтервалу невизначеності і відповідати певній довірчій ймовірності.

А) Випадкова складова похибки (ВСП) Δ_v - це складова похибки вимірювань, яка змінюється за повторних вимірювань однієї і той же величини ФВ випадковим чином, і в появі різних значень якої на вдається визначити будь-яку закономірність. ВСП - це похибка, яка непередбачувана ні по знаку, ні по розміру, або недостатньо вивчена. ВСП визначаються сукупністю причин, які важко проаналізувати. Чинники, які визивають ВСП, з'являються нерегулярно і зникають несподівано, або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. Присутність випадкової похибки легко визначається при повторних вимірах незмінної ФВ і проявляється у вигляді деякого розкиду результатів вимірювань.

Головна особливість ВСП при вимірюванні є її непередбачуваність від одного виміра до іншого і не завжди можна встановити причину її виникнення. Тому величину ВСП характеризують показом закону розподілу її ймовірності, або показом параметрів цього закону, розроблених в теоріях ймовірності та математичної статистики.

Б) Однією із різновидностей ВСП є промах – надмірна ВСП. Промах, або груба похибка – це похибка окремого результату вимірювань (РВ), яке входить в ряд вимірювань, що за даних умов різко відрізняється від інших РВ цього ряду. Основне джерело їх виникнення – це різкі зміни умов проведення вимірювань або похибка оператора (різка зміна напруги живлення мережі, неправильний відлік по шкалі приладу або його запис). При одноразових вимірюваннях визначити промах неможливо. Для зменшення його появи проводять 2-х – 3-х разові вимірювання, а за результат приймають середнє значення. При багаторазових вимірюваннях для визначення промахів використовуються статистичні критерії. Промахи не враховуються при обробці результатів вимірювань.

В) Під систематичною складовою похибки (ССП) Δ_c розуміється

складова загальної похибки, яка залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і той же фізичної величини.

До чинників першого виду, які обумовлюють появу систематичних похибок належать: 1) неправильне градування ЗВ; 2) зміщення нуля ЗВ (приладу). Коли налаштовують ЗВ, то кажуть, що його "налаштували на нуль". У процесі роботи ЗВ це налаштування поступово збивається, тобто, з'являється похибка, яка закономірно змінюється в часі, і яку часто називають ще функціональною, так як її зміну в часі можна записати у вигляді математичної функції;

Прикладом систематичної похибки є похибка термoeлектричного термометра, що закономірно змінюється внаслідок зміни температури вільних кінців термопар.

Прикладом другого виду систематичних похибок – є більшість додаткових похибок, які є незмінними в часі функціями різних факторів (температури навколишнього середовища, напруги живлення, вологості і т. п..

У процесі вимірювання значення фізичної величини, з урахуванням дії багатьох чинників проявляються одночасно обидві складові похибки абсолютної похибки Δ вимірювання: як випадкова ВСП (Δ_v) так і систематична ССП (Δ_c). Випадкова похибка характеризує відхилення окремого результату вимірювання від певного центра її групування, а систематична – характеризує зміщення цього центру відносно істинного значення вимірюваної величини.

У загальному випадку абсолютна похибка Δ вимірювань – є випадковою функцією часу і не можна сказати, яке значення вона матиме в певний момент часу. Можна лише говорити про ймовірність появи її значення в тому чи іншому інтервалі.

Г) По закономірності прояву розрізняють також **ПРОГРЕСУЮЧІ (ДРЕЙФОВІ)** похибки - це похибки, які повільно (поступово) змінюються в часі і визиваються як правило старінням деталей ЗВ. Особливість - вони можуть бути скориговані введенням поправки, але тільки на деякий час, а потім вони знову монотонно зростають. Чи Чим менше необхідне значення прогресуючої похибки, тим частіше необхідно проводити її корекцію.

2.2. За місцем виникнення похибки вимірювань поділяють на МЕТОДИЧНІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ.

Методичні похибки - складові похибки вимірювання, які виникають через недосконалість методу вимірювання та граничними межами точності значень використаних фізичних констант і припущень в розрахункових формулах.

Наприклад, вимірювання опору резистора методом амперметра й вольтметра за формулою $R = U/I$ для двох схем. У схемах виникає методична похибка із – за їх недосконалості. В одному випадку похибка

виникає за завищеного показу вольтметра на значення спаду напруги на амперметрі, а в другому – за завищеного показу амперметра на значення струму, що протікає крізь амперметр. Тому в обох випадках обчислення опору за приведеною формулою дає неточні результати.

Інструментальні похибки - це складові похибки вимірювання фізичної величини, які залежать від похибки використаних засобів вимірювання.

Вони визначаються конструктивними, технологічними або схемними недоліками ЗВ. Інструментальні систематичні похибки виявляють шляхом повірки засобу вимірювання по зразковому ЗВ більш високої точності.

2.3. За наявністю бо відсутністю функціонального між похибкою вимірювання та значенням вимірюваної величини розрізняють адитивну та мультиплікативну складові похибок вимірювання. Ці терміни служать опису смуги похибок ЗВ.

АДИТИВНА (від лат. Additivus – додавання) – це похибка, значення якої не залежить від вимірюваної величини (похибка додавання до нуля). Адитивна похибка має сталі значення по всій характеристиці перетворення ЗВ або по всій шкалі приладу. Це поняття однаково використовується як для випадкових, так і для систематичних похибок.

Прикладом систематичної адитивної похибки є неточність налаштування приладу на нуль, тобто, похибка зміщення нуля приладу, яка приводить до того, що реальна статична характеристика приладу зміщується по відношенню до його номінальної характеристики на величину систематичної адитивної похибки Δ_{ca} . Ще приклад – наявність постійної додаткової ваги на чашках ваговимірювального пристрою. Для усунення таких похибок в багатьох ЗВ, передбачений механічний або електричний пристрій для встановлення нуля (коректор нуля).

Прикладом випадкових адитивних похибок – є тертя в опорах вимірювального приладу, граничні межі якої утворюють на характеристиці перетворення приладу смугу постійної ширини величиною в граничне значення випадкової похибки $\Delta_{ва}$. Це також похибка наведення змінної Е.Р.С. на вхід приладу, похибка теплового шуму чи ненадійного контакту при вимірюванні опору.

У разі суто адитивної смуги похибок абсолютна похибка вимірювань Δ по діапазону вимірювання приладу залишається незмінною для будь-яких значень вимірюваної фізичної величини.

МУЛЬТИПЛІКАТИВНА (від лат. Multiplicatio – множення) – це похибка, яка прямо пропорційно залежить від значення вимірюваної величини (її ще називають похибкою чутливості). Теж може бути випадковою або систематичною.

Причини виникнення – зміна чутливості ЗВ, що зв'язана зі зміною, наприклад, коефіцієнта підсилення підсилювача, або зі зміною жорсткості мембрани чутливого елемента манометра, або протидіючої пружини електромеханічного приладу.

Оскільки в разі суто мультиплікативної смуги похибок абсолютна

похибка Δ вимірювань збільшується пропорційно поточному значенню X вимірюваної ФВ, то відносна похибка $\gamma_s = \frac{\Delta(x)}{X} 100\%$ є постійною за будь-якого значення X вимірюваної величини.

3. Особливість та визначення систематичної складової похибки, методи її усунення

3.1. Особливості систематичних похибок.

1) Присутність деяких ССП (особливо при малих значеннях) важко визначити і вони довгий час можуть бути невиявленими. Такі похибки виявляють шляхом вимірювання величини декількома незалежними методами з використанням первинних вимірювальних перетворювачів, побудованих із використанням різних фізичних явищ;

2) ССП завжди мають знак: «+» чи «-».

3) Якщо закон зміни систематичної похибки відомий, то її вплив легко врахувати у вигляді поправок, або усунути одним із методів автоматичного коригування;

4) єдиний спосіб виявлення ССП полягає в повірці нуля та чутливості ЗВ шляхом повторної його атестації по зразковим мірам.

Систематичні похибки, які змінюються по певному закону, виявляють статистичними методами за допомогою спеціальних статистичних критеріїв.

У реальних умовах повністю усунути систематичну складову похибки (ССП) неможливо. Завжди залишаються не усунуті рештки, які треба враховувати, щоб оцінити їхні границі. Невиявлена ССП більш небезпечна, чим випадкова складова (ВСП). Якщо ВСП визиває розкид результатів вимірювань, який називають варіацією, то ССП визиває їх стійке спотворення, зміщення.

У будь-якому випадку відсутність чи не значимість ССП, з метою нехтування, потрібно доказувати.

Так як причини, які приводять до появи ССП на протязі тривалого терміну часу змінюються за звичаєм по випадковому закону, то випадковою є також і систематична похибка. Тому, у загальному випадку, і систематична похибка описується з використанням теорії ймовірності та математичної статистики.

3.2. Визначення систематичної похибки

Для визначення складових похибки вимірювання, як для випадку вимірювання фізичної величини, так і для випадку повірки чи атестації засобів вимірювання, проводяться багаторазові (для першого випадку) вимірювання фізичної величини, або багаторазові вимірювання зразкової міри, значенням X_{oi} , для другого випадку.

Отримавши ряд n результатів вимірювання $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ (загалом

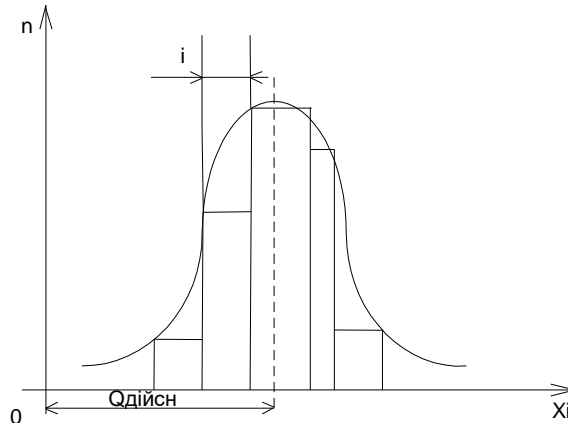
прийнято, щоб їх було не менше 20), для визначення систематичної складової похибки Δc , необхідно вирахувати середнє арифметичне X_{cp} цього ряду результатів вимірювання:

$$X_{cp} = 1/n * (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

та порівняти його з істинним чи дійсним значенням вимірюваної величини, або зразковою мірою.

Результати окремих вимірювань будуть згруповані біля X_{cp} по Закону ймовірності, як показано на рисунку.

Різниця $X_{cp} - X_{oi} = \Delta c$ – визначає значення ССП, яка притаманна даному засобу вимірювань.



Відхилення середнього значення від дійсного значення чи зразкової міри характеризує систематичну ССП похибку Δc . Її ще інколи називають середньою арифметичною похибкою, або середнім арифметичним відхиленням. І, що дуже важливо, систематична похибка ССП завжди має знак відхилення "+" чи "-".

3.3. Методи усунення систематичної похибки

Для усунення ССП використовуються наступні методи:

Метод поправок - базується на результатах попередніх експериментальних випробовувань, де досліджується дія зовнішніх спливаючих факторів (температури, тиску, зміни напруги живлення і ін..) на засіб вимірювання. По їхнім результатам знаходять різні поправочні формули або таблиці поправок, які використовують потім при експлуатації ЗВ.

Внесення поправок в результат вимірювання - є найбільш поширеним способом виключення ССП.

Поправка q чисельно дорівнює ССП, але має протилежний знак ССП ($q = \mp | \pm \Delta c |$).

Метод двохразового вимірювання – ґрунтується на проведенні такого досліді, при якому похибка від впливаючого фактору входить в результат вимірювання один раз зі знаком «+», а другим разом – зі знаком «-» Загальний результат вимірювання одержують як середнє із двох

вимірювань.

Метод заміщення – ґрунтується на попередньому вимірюванні ФВ засобом вимірювання і отриманні результату у вигляді:

$$X_{ЗВ} = X_{Вим} + \Delta c ,$$

де $X_{ЗВ}$ – покази ЗВ; $X_{Вим}$ – вимірювана ФВ.

Далі, нічого не змінюючи в ЗВ, до його входу відмикають замість вимірюємо ФВ $X_{Вим}$ регульовану міру $X_{оі}$ і підбирають її значення, за якого досягається попередній результат показу ЗВ:

$$X_{ЗВ} = X_{оі} - \Delta c .$$

Порівнюючи обидва результати, отримуємо: $X_{Вим} = X_{оі}$.

Якщо ССП визначена і усунена методом введення поправки, то отримують відкориговані результати вимірювань:

$$X_{кор} = X_{ЗВ} + q .$$

При виключені систематичної похибки, вимірювана величина A складається з коригованого значення результату вимірювань $X_{кор}$ та випадкової похибки Δv і стає випадковою величиною:

$$A = X_{кор} \pm \Delta v .$$

3.4 Визначення випадкової складової похибки

Визначення випадкової похибки дещо складніше. Для випадкової похибки, як і для випадкової події, характерно, що вони можуть відбутися, а може і ні. У теорії ймовірності для цього використовують поняття "ймовірності" (P), яке використовується для числової характеристики ступені можливості появи події в тих чи інших умовах, при чому подія може повторитись необмежене число разів.

Завжди, коли приводять числове значення випадкової похибки, то вказують її ймовірність. Імовірність указує на деякий ризик, що, наприклад, в окремих випадках вимірювання наведена в паспорті приладу похибка, буде більшою. Так, якщо вказано, що випадкова похибка ЗВ $\Delta v = 0,020$ кг із ймовірністю 0,95, то в цьому випадку ризик дорівнює 0,05, тобто, із 100 вимірів може бути, а може і ні, що в 5-ти вимірах випадкова похибка буде більшою ніж 0,020 кг.

Для вимірювань характерно те, що в загальному випадку значення випадкової похибки теоретично може дорівнювати безмежності як зі знаком «+» так і «-» . Але така подія малоймовірна, тобто, практично не можлива, але теоретично може відбутись.

Для визначеної систематичної похибки можна констатувати, що для цієї події ймовірність $P = 1$, тобто, подія (виникнення систематичної похибки) відбувається завжди, коли виконується вимірювання.

Якщо ймовірність $P = 0$, то подія практично не відбудеться ніколи.

Таким чином, числова характеристика ступені можливості появи події, тобто, ймовірність P знаходиться в межах від 0 (подія практично неможлива) до 1 (подія достовірна). $0 \leq P \leq 1$.

У зв'язку з тим що ймовірність появи випадкової похибки (ВП) того чи іншого значення можуть змінюватись в широких межах, то для оцінювання ВП у метрології з теорії ймовірності запозичено й використовується поняття **законів розподілу випадкових величин**. Під **законом розподілу** розуміється закон, який оцінює кількісно ймовірність частоти прояву випадкової похибки у вигляді функції від можливого її значення (розміру). Якщо така функціональна залежність установлена, то говорять, що ВП підпорядкована даному закону розподілу. Розрізняють інтегральний та диференціальний закони розподілу ВП.

III. Заключна частина занять

1. Підвести підсумки занять за рахунок короткого опитування студентів та видати домашнє завдання для самоконтролю.
2. Завдання для самоконтролю.

Практичне заняття № 2

Тема: «Метрологічні повірочні схеми».

Навчальні питання:

Вступ. Калібрування засобів вимірювальної техніки та акредитацію на право проведення державних випробувань.

1. Законодавчі вимоги до застосування засобів вимірювальної техніки, вимірювань і результатів вимірювань.
2. Метрологічні ланцюги. Повірочна схема.
3. Методики виконання вимірювань.

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
2. ДСТУ 2708:2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення .
3. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
4. Державні стандарти України.
5. Метрологія та вимірювання. Навчальний посібник. Ю.В.Гнусов, В.В. Тулупов, В.М.Пересічанський. Харків, ХНУВС, 2019, 125с.
6. Слайдпроектор.

Місце проведення – навчальна аудиторія, кількість годин – 2 год.

Вступ.

Калібрування ЗВТ – це визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Калібруванню підлягають ЗВТ під час випуску з виробництва, які

повинні пройти державні приймальні випробування і на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Необхідність проведення калібрування при експлуатації ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, визначається їх користувачем.

Калібрувальні лабораторії, які проводять калібрування ЗВТ для інших підприємств і для громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, повинні бути акредитовані.

Калібрування та оформлення їх результатів проводяться в порядку, встановленому ДСУ.

Для проведення державних випробувань, повірки і калібрування ЗВТ, вимірювань, атестації методик виконання вимірювань необхідно отримати акредитацію Держстандарту України або його територіальних органів, що мають на це право.

Акредитація на право проведення державних випробувань, повірки і калібрування ЗВТ, вимірювань, атестації методик виконання вимірювань здійснюється Держстандартом України, його метрологічними центрами і територіальними органами.

Держстандарт України здійснює акредитацію:

- метрологічних центрів Держстандарту – на право проведення державних приймальних випробувань ЗВТ;
- територіальних органів Держстандарту – на право проведення державних приймальних і контрольних випробувань та повірки ЗВТ;
- метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій – на право проведення державних приймальних випробувань та повірки ЗВТ;
- калібрувальних лабораторій метрологічних служб або інших організаційних структур підприємств і організацій – на право проведення калібрування ЗВТ для інших підприємств, організацій і громадян – суб'єктів підприємницької діяльності;
- повірочних (калібрувальних) лабораторій іноземних виробників – на право проведення повірки (калібрування) ЗВТ, що поставляються в Україну.

Територіальними органами Держстандарту України здійснюється акредитація вимірювальних лабораторій підприємств і організацій:

- що не належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади;
- що належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади (якщо це передбачено законодавством), на право проведення вимірювань у сфері поширення державного метрологічного нагляду.

Вимірювальна лабораторія – це організація чи окремий підрозділ організації або підприємства, який здійснює вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і продукції.

Акредитація лабораторій здійснюється відповідно до вимог, що

встановлюються центральними органами виконавчої влади та об'єднаннями підприємств за узгодженням з Держстандартом України.

Метрологічні центри Держстандарту та уповноважені ним територіальні органи здійснюють акредитацію метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій на право проведення атестації методик виконання вимірювань, на які поширюється державний метрологічний нагляд.

Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій здійснюють акредитацію калібрувальних і вимірювальних лабораторій підприємств і організацій, що належать до сфери їх управління.

Ці служби здійснюють акредитацію:

- калібрувальних лабораторій підприємств і організацій – на право проведення повірки і калібрування ЗВТ для власних потреб цих підприємств і організацій;

- вимірювальних лабораторій підприємств і організацій – на право проведення вимірювань (за винятком лабораторій, на які поширюється державний метрологічний нагляд). У цьому випадку акредитація вимірювальних лабораторій здійснюється за обов'язковою участю територіальних органів Держстандарту.

За позитивними результатами акредитації видається атестат акредитації. Спори, пов'язані з відмовою у видачі атестата акредитації, розглядаються в судовому порядку.

1. Законодавчі вимоги до застосування засобів вимірювальної техніки, вимірювань і результатів вимірювань

Застосування, ввезення, виробництво, ремонт, продаж і прокат ЗВТ повинні відповідати таким вимогам Закону України “Про метрологію і метрологічну діяльність”:

1. ЗВТ можуть використовуватися, якщо вони відповідають вимогам точності, встановленим для цих засобів у певних умовах їх експлуатації. Порядок установлення приналежності технічних засобів до ЗВТ визначається Держстандартом України.

2. ЗВТ, на які поширюється державний метрологічний нагляд, дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та у продаж і видавати напрокат лише за умови, якщо ці ЗВТ пройшли повірку або державну метрологічну атестацію.

3. ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, дозволяється випускати з виробництва лише за умови, якщо ці ЗВТ пройшли калібрування або метрологічну атестацію.

4. Увезення на територію України ЗВТ партіями може здійснюватися, якщо типи цих засобів занесені до Державного реєстру ЗВТ, допущених до застосування в Україні. Порядок увезення ЗВТ на територію України встановлюється Кабінетом Міністрів України.

5. Підприємства, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності, які займаються застосуванням, увезенням, виробництвом, ремонтом, продажем і прокатом ЗВТ, повинні письмово повідомити про свою діяльність відповідні територіальні органи Держстандарту України.

Вимірювання, що здійснюються у сфері поширення державного метрологічного нагляду, можуть виконуватися, по-перше, вимірювальними лабораторіями за умови їх акредитації на право виконання вимірювань і, по-друге, згідно з атестованими методиками вимірювань.

Результати вимірювань можуть бути використані за умови, якщо відомі відповідні характеристики похибок вимірювань.

2. Метрологічні ланцюги

Передавання розмірів одиниць вимірювань (одиниць фізичних величин) робочим ЗВТ – важлива і відповідальна функція, направлена на забезпечення єдності вимірювань у країні. Засоби, методи і точність передавання розмірів одиниць вимірювань від еталона до зразкових і робочих ЗВТ установлюється повірочною схемою.

Для кожної фізичної величини (для кожного параметра об'єкта вимірювань) може встановлюватися метрологічний ланцюг (рис.1), який являє собою повірочну схему, доповнену зв'язками між вимірюваною фізичною величиною (параметром об'єкта вимірювань) і відповідним державним еталоном.

У метрологічному ланцюзі виділяють метрологічні зв'язки і метрологічні ланки.

Метрологічний зв'язок – це умовна лінія метрологічного ланцюга, яка зв'язує вимірювану фізичну величину (параметр) з відповідним ЗВТ.

Метрологічна ланка – сукупність вимірюваної величини і засобу (засобів) вимірювальної техніки, за допомогою якого (яких) вимірюється (контролюється) фізична величина (параметр).

Побудова метрологічної ланки супроводжується оцінкою дотримання умов точності передавання розміру одиниці вимірювань фізичної величини. Для цього використовуються коефіцієнти точності, які являють собою відношення допуску на параметр до найбільшого допустимого значення похибки вимірювання.

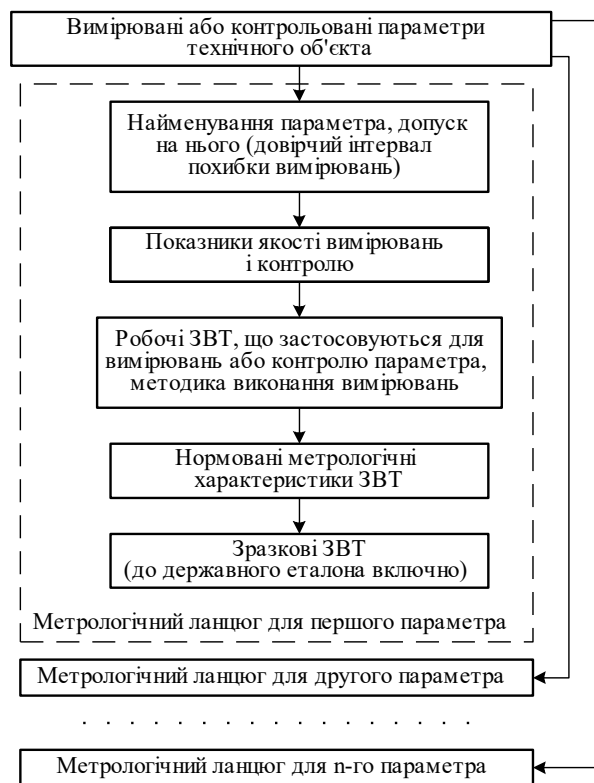


Рис.1. Структурна схема метрологічного ланцюга.

Повірочна схема регламентує методи, засоби, точність вимірювань і підпорядкування ЗВТ при передаванні розмірів однієї або декількох взаємозв'язаних одиниць вимірювань фізичних величин від еталонів робочим ЗВТ, а саме: від первинних еталонів – робочим, від робочих еталонів – зразковим ЗВТ, а від них – робочим ЗВТ. Передавання розміру одиниць через кожний ступінь повірочної схеми супроводжується якоюсь втратою точності, проте багатосхідчастість дозволяє зберігати еталони і одночасно передавати розмір одиниці вимірювань усім робочим ЗВТ.

Розробка повірочної схеми передбачає науково-технічні обґрунтування оптимальної структури, необхідного числа ступенів передавання, видів вторинних еталонів (якщо вони використовуються), розрядів зразкових ЗВТ і методів передавання розміру одиниці вимірювань фізичної величини та оптимального співвідношення похибок ЗВТ суміжних ступенів повірочної схеми.

Повірочні схеми ЗВТ розділяють на державні, відомчі і локальні. Державна повірочна схема поширюється на всі ЗВТ даної фізичної величини, які використовуються в країні. Відомчі повірочні схеми діють у рамках міністерства (відомства), а локальні повірочні схеми – в даному (конкретному) метрологічному органі (на підприємстві, в організації).

Вершиною повірочних схем є еталони, правила створення, зберігання і застосування яких установлюються державними стандартами.

Еталони можуть об'єднуватися в групи і створювати груповий еталон, що дозволяє зменшити його випадкову складову похибки за рахунок статистичної обробки їх вихідних величин за аналогією з багаторазовими

вимірюваннями.

Зразкові ЗВТ поступаються точністю еталонам і затверджуються державною або відомчою метрологічною службою для перевірки інших зразкових і робочих ЗВТ. Відповідно до повірочних схем зразкові ЗВТ залежно від їхньої похибки (класу точності) поділяють на розряди, кількість яких установлюється різною для різних видів вимірювань. Присудження розряду зразковим ЗВТ проводиться за результатами їх метрологічної атестації органом Держстандарту. Повірочні схеми для електрорадіотехнічних величин мають здебільшого два розряди зразкових ЗВТ. Робочі ЗВТ, які відзначаються високою точністю, можуть атестуватися на певний час як зразкові. Після закінчення цього терміну зразкові ЗВТ, які не пройшли чергової атестації, переводяться в робочі.

Між розрядами зразкових ЗВТ існує метрологічне підпорядкування: найбільш точні належать до 1-го розряду і перевіряються по еталонах, як правило, робочих. Похибки зразкових ЗВТ 2-го і подальших розрядів зростають, а повіряються вони по зразкових ЗВТ попередніх розрядів (зразкові ЗВТ 2-го розряду – по зразкових ЗВТ 1-го розряду і т.д.).

Зразкові ЗВТ у даному метрологічному органі за призначенням поділяють на вихідні і підпорядковані. До вихідних зразкових ЗВТ належать ті з них, які забезпечують передавання розміру одиниці вимірювань з найвищою точністю в цьому підрозділі. Підпорядковані зразкові ЗВТ служать для передавання розміру одиниці вимірювань від вихідних зразкових ЗВТ до робочих ЗВТ або безпосередньо, або через інші зразкові ЗВТ.

Зразкові ЗВТ застосовують в органах державної і відомчої метрологічних служб, яким в установленому порядку надано право перевірки певної номенклатури ЗВТ.

Через велику роль зразкових ЗВТ, яка надається їм у системі забезпечення єдності вимірювань у країні, забороняється їх використовувати для технічних вимірювань. Вони підлягають ретельному зберіганню в установлених і суворо дотримуваних умовах; періодичність їх перевірки вибирають такою, щоб гарантовано забезпечувались точність і вірогідність результатів вимірювань. Застосовувати зразкові ЗВТ як робочі дозволяється тільки в надзвичайних випадках і з дозволу органів метрологічної служби.

Оскільки зразкові ЗВТ експлуатуються приблизно в однакових (нормальних) умовах, то для них установлюються єдині міжповірочні інтервали в масштабах усієї країни. Умови експлуатації робочих ЗВТ неоднакові, а тому міжповірочні інтервали для них можуть варіюватися за рішенням органів державної або відомчої метрологічних служб. При цьому дозволяється корегування міжповірочних інтервалів за результатами періодичних повірок.

Повірочні схеми мають багатосхідчастий характер (не менше двох ступенів). Головною вимогою до повірочних схем є співвідношення похибок при переході від одного ступеня до іншого, включаючи похибку передавання розміру одиниці вимірювань між суміжними ступенями. Точність більш

високого ступеня повірочної схеми встановлюється звичайно в 3...5 разів вищою за точність наступного ступеня. Таке ж співвідношення має бути між тим ЗВТ, що повіряється, і найближчим до нього зразковим ЗВТ.

Мета, завдання і зміст метрологічного забезпечення технічних об'єктів

Основною метою метрологічного забезпечення технічних об'єктів (ТО) є:

- досягнення високої якості і потрібної ефективності застосування ТО;
- підтримання технічних та експлуатаційних властивостей ТО, забезпечення високої ефективності робіт з технічного обслуговування та ремонту ТО;
- постійне підвищення ефективності науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт, виробництва та випробування ТО.

Метрологічне забезпечення ТО (пристроїв, приладів, агрегатів, систем, комплексів) на етапах їх життєвого циклу (розробка, виробництво, випробування, експлуатація та ремонт) вирішує низку загальних специфічних завдань.

Загальним завданням метрологічного забезпечення ТО є розробка і розвиток його наукових, технічних, нормативних та організаційних основ. Серед найважливіших конкретних завдань метрологічного забезпечення ТО слід виділити:

- цільове програмне планування метрологічного забезпечення ТО, пов'язане з розвитком науки і техніки, національної економіки;
- створення, збереження та вдосконалення еталонів і вихідних ЗВТ, стандартних зразків речовин і матеріалів;
- розробка та впровадження ефективних методів і засобів передавання розмірів одиниць вимірювань фізичних величин робочим ЗВТ, які застосовують під час контролю параметрів ТО;
- розробка, виробництво та забезпечення підприємств, організацій і установ робочими ЗВТ, які необхідні для розробки, виробництва, випробувань, експлуатації та ремонту ТО;
- обґрунтування вимог до метрологічного забезпечення ТО, що розроблюються або модернізуються, та контроль за їх виконанням;
- установлення вимог до ЗВТ, які застосовують під час створення й експлуатації ТО та до нормування їхніх метрологічних і експлуатаційних характеристик;
- розробка методик вибору й обґрунтування ЗВТ, які використовуються під час розробки, виробництва, випробувань, експлуатації та ремонту ТО;
- стандартизація, уніфікація та сертифікація ЗВТ;
- установлення оптимальних рядів ЗВТ і стандартних зразків властивостей та складу речовин і матеріалів;
- проведення державних випробувань, метрологічної атестації, повірки і калібрування ЗВТ, а також метрологічної атестації методик виконання вимірювань;

- метрологічне обслуговування ТО;
- здійснення метрологічного контролю і нагляду за станом метрологічного забезпечення ТО;
- проведення метрологічної експертизи і метрологічного супроводження розробки та експлуатації ТО;
- розробка методик аналізу й оцінки рівня стану метрологічного забезпечення ТО та їх проведення;
- розробка і впровадження нормативних документів щодо забезпечення єдності вимірювань, у тому числі й метрологічного забезпечення ТО;
- нагляд за станом ЗВТ, за дотриманням термінів їх повірки і ремонту;
- нагляд за правильним застосуванням ЗВТ при технічному обслуговуванні ТО в процесі їх експлуатації;
- розробка при необхідності методів і методик повірки ЗВТ, умонтованих у технічні об'єкти;
- заміна морально застарілих ЗВТ новими типами ЗВТ, які випускаються промисловістю.

Ефективна організація метрологічного забезпечення на всіх етапах створення і експлуатації ТО, особливо тих, що відрізняються конструктивною складністю і важливістю вирішуваних завдань, є найзначнішою умовою досягнення високих показників якості (в тому числі надійності) цих об'єктів. Недооцінка метрологічного забезпечення ТО, де б вона не допускалась, призводить до зниження якості об'єктів, зростання експлуатаційних витрат, порушення правил їх експлуатації і навіть до аварійних ситуацій.

З метою підвищення якості метрологічного забезпечення ТО і потрібної точності вимірювань їх параметрів, правильного і раціонального вибору методів вимірювань та контролю ЗВТ проводиться метрологічна експертиза.

Під метрологічною експертизою розуміють поглиблений (експертний) контроль і оцінку правильності прийнятих рішень з метрологічного забезпечення технічних об'єктів при їх проектуванні, виробництві, випробуваннях і експлуатації.

Основним змістом метрологічної експертизи є оцінка єдності та вірогідності вимірювань і контролю параметрів технічних об'єктів.

Метрологічне забезпечення ТО має законодавчі, наукові, нормативні, технічні та організаційні основи.

Законодавчою основою метрологічного забезпечення ТО є закони України, укази Президента України, декрети та постанови Кабінету Міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань у державі.

Науковою основою метрологічного забезпечення ТО є метрологія.

Головні наукові завдання сучасної метрології:

- розвиток загальної теорії метрології та вимірювальної техніки, теорії похибок вимірювань і методів обробки результатів вимірювань;
- подальше підвищення точності відтворення, зберігання і передавання розмірів одиниць вимірювань ФВ;

- розширення номенклатури вимірюваних ФВ, підвищення точності і розширення діапазонів їх вимірювань;
- розробка методів оцінки адекватності фізичних моделей об'єктів вимірювань реальним об'єктам;
- розробка методів оптимізації систем передавання розмірів одиниць вимірювань ФВ;
- підвищення ефективності метрологічного забезпечення вимірювань у країні та розробка методів її оцінки.

Нормативною основою метрологічного забезпечення ТО є державні та галузеві стандарти, доповнення до них, інші нормативні документи державної системи забезпечення єдності вимірювань, системи загальних технічних вимог до різних видів ТО, системи їх розробки, постановки на виробництво і контролю якості.

Таким чином, законодавчі та нормативні основи (їх іноді об'єднують поняттям “правові основи”) метрологічного забезпечення ТО складають комплекс взаємозв'язаних і взаємообумовлених загальних правил, вимог і норм, а також інші питання, які потребують регламентації і контролю з боку держави, направлені на забезпечення єдності вимірювань. Загальні правила і норми метрологічного забезпечення встановлюються державним стандартом України (ДСТУ).

Стандарти – це комплекс нормативно-технічних документів, що встановлюють єдину номенклатуру взаємозв'язаних правил, положень, вимог і норм, які визначають організацію і методику проведення робіт для оцінки та забезпечення єдності вимірювань у країні.

Основні об'єкти стандартизації в галузі метрологічного забезпечення:

- терміни і визначення метрології та вимірювальної техніки;
- одиниці вимірювань фізичних величин; державні еталони і повірочні схеми; методи і засоби передавання розмірів одиниць вимірювань фізичних величин; методи та засоби атестації, повірки і калібрування ЗВТ;
- номенклатура нормованих метрологічних характеристик ЗВТ; норми точності вимірювань; методики виконання вимірювань; способи відображення та форми подання результатів вимірювань і показників точності вимірювань; методи нормування та оцінки показників точності вимірювань і метрологічних характеристик ЗВТ; вимоги до стандартних зразків властивостей, складу речовин і матеріалів;
- організація і порядок проведення державних випробувань, метрологічної атестації, повірки і калібрування ЗВТ, метрологічної експертизи нормативно-технічної, проектної, конструкторської та технологічної документації, експертизи і атестації даних про властивості речовин і матеріалів; порядок затвердження типів ЗВТ;
- вимоги до метрологічного забезпечення ТО та методи оцінки його ефективності.

До ДСТУ, крім основних стандартів, входять також частинні державні стандарти на державні еталони й державні повірочні схеми, на методики повірки, калібрування й атестації ЗВТ, на норми точності для окремих видів

вимірювань і на типові методики виконання вимірювань.

До системи забезпечення єдності вимірювань органічно входить й інша нормативно-технічна документація, зокрема методичні вказівки, інструкції, правила, типові положення Держстандарту та методики метрологічних інститутів.

Відомча нормативно-технічна документація (галузеві стандарти, стандарти підприємств, галузеві керівні документи з метрологічного забезпечення) розробляється за ДСТУ з урахуванням особливостей характеру роботи відомств і окремих підприємств.

Технічну основу метрологічного забезпечення ТО складають:

- системи відтворення, зберігання і передавання розмірів одиниць вимірювань фізичних величин, у тому числі еталони і зразкові ЗВТ;
- робочі ЗВТ, які використовують під час розробки, виробництва, випробування, експлуатації та ремонту ТО;
- система державних випробувань ЗВТ;
- система метрологічної атестації, калібрування і повірки ЗВТ;
- система стандартних довідкових даних про фізичні константи і властивості речовин і матеріалів;
- система стандартних зразків.

Організаційною основою метрологічного забезпечення ТО є державна та територіальні метрологічні служби, в тому числі підприємств, організацій і установ, які займаються розробкою, виробництвом і ремонтом ТО.

До відомчих метрологічних служб, згідно з ДСТУ 26-94 “Метрологічне забезпечення: основні положення”, належать:

- підрозділи міністерств (відомств), на які покладені функції метрологічної служби;
- метрологічні служби об'єднань підприємств;
- метрологічні служби, інші підрозділи, посадові особи в підприємствах і організаціях, незалежно від форм власності, на які в установленому порядку покладені роботи з метрологічного забезпечення.

Роботи з метрологічного забезпечення на підприємствах і організаціях відносять до основних видів робіт.

Права та обов'язки відомчих метрологічних служб визначаються їх керівниками за узгодженнями з відповідними органами ДМС.

Розглянемо функції відомчих МС.

Підрозділи міністерств (відомств), які виконують функції метрологічної служби, здійснюють наступні функції:

- визначення основних напрямів розвитку робіт з метрологічного забезпечення розробки, виробництва, випробувань і експлуатації продукції на підпорядкованих підприємствах та організаціях;
- аналіз стану вимірювань на підпорядкованих підприємствах та організаціях;
- установлення раціональної номенклатури ЗВТ, що використовуються;
- розробка та впровадження державних і галузевих стандартів з питань метрологічного забезпечення;

- розвиток відомчої метрологічної служби, координацію діяльності головних і базових організацій МС;
- організацію розробки та виробництва зразкових ЗВТ, необхідних для повірки ЗВТ, що випускаються;
- організацію проведення робіт, необхідних для забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань на підпорядкованих підприємствах та організаціях, у тому числі відомчої повірки, калібрування та метрологічної атестації ЗВТ;
- організацію та проведення відомчого метрологічного контролю;
- організацію підготовки та підвищення кваліфікації кадрів у галузі метрології;
- роботи з міжнародного співробітництва в галузі метрології.

Метрологічні служби, інші підрозділи, посадові особи в об'єднаннях підприємств, підприємствах і організаціях, незалежно від форм власності, на яких в установленому порядку покладені роботи з метрологічного забезпечення, здійснюють наступні функції:

- роботи із забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань, підвищення рівня метрологічного забезпечення;
- аналіз стану вимірювань;
- створення та впровадження сучасних ЗВТ і методів вимірювань;
- розробку та атестацію методик виконання вимірювань;
- метрологічну атестацію ЗВТ;
- метрологічну експертизу технічних завдань, проектної, конструкторської, технологічної документації, проектів стандартів та інших нормативних документів, методик виконання вимірювань;
- відомчий метрологічний контроль за розробкою, виробництвом, станом, застосуванням, ремонтом і збереженням ЗВТ, за впровадженням та додержанням метрологічних норм і правил;
- організацію та проведення повірки, калібрування та ремонту ЗВТ, що знаходяться в експлуатації;
- упровадження державних і галузевих стандартів з питань метрологічного забезпечення;
- розробка та впровадження стандартів підприємств та інших документів, що регламентують питання метрологічного забезпечення розробки, виробництва, випробувань та експлуатації продукції;
- оцінювання метрологічних характеристик ЗВТ і характеристик похибок методик виконання вимірювань.

Керівники підприємств та організацій незалежно від форм власності несуть відповідальність за стан метрологічного забезпечення та виконання метрологічних норм і правил на цих підприємствах та організаціях, а громадяни-суб'єкти підприємницької діяльності - у здійснюваній ними діяльності.

3. Методики виконання вимірювань

Важливою умовою забезпечення єдності вимірювань є не тільки

однаковість ЗВТ, але й використання стандартних методик виконання вимірювань (МВВ), що пройшли метрологічну атестацію. Мета стандартизації і атестації МВВ полягає в регламентуванні вимог до методик, засобів і алгоритмів виконання вимірювань, застосування яких у певних умовах забезпечить задані значення показників точності цих вимірювань.

Метрологічна атестація МВВ – це дослідження, направлене на визначення значень показників точності вимірювань, які виконуються згідно з даною методикою.

Атестацію МВВ і оформлення атестатів проводять організації Держстандарту і територіальних метрологічних служб. Атестація виконується за програмою, затвердженою керівником організації, що її проводить.

МВВ необхідно відмежовувати від методів виконання вимірювань, які є основою для розробки МВВ.

МВВ поділяють на робочі й типові. Робочі МВВ установлюють певну послідовність дій, що повинен виконати оператор при підготовці і проведенні вимірювань. Типові МВВ містять у собі набір початкових вимог, якими необхідно керуватися при розробці робочої МВВ. У типовій МВВ можуть бути вимоги до точності вимірювань, застосування певних типів ЗВТ і певних методів виконання вимірювань. Робочу МВВ необхідно розроблювати у двох випадках:

- якщо вимірювання виконуються методом безпосередньої оцінки, а в технічній документації ЗВТ немає даних про показники точності вимірювань або вказівок про їх розрахунок;
- якщо вимірювання виконуються будь-яким іншим методом, для якого необхідно розробити алгоритм розрахунку результату і показників точності вимірювань.

Розробка МВВ складається з чотирьох етапів:

1. Аналіз вимірювальної задачі. Цей етап містить:

- уточнення вимірюваної величини з метою уникнення різного тлумачення оператором і споживачем вимірювальної інформації (наприклад, при вимірюванні змінної напруги уточнюється, яке її значення вимірюється);
- вибір форми подання похибки вимірювань;
- рішення про вид розроблюваної МВВ – робоча чи типова;
- складання ТЗ на розробку МВВ.

2. Розробка проекту МВВ і оцінка похибки вимірювань.

3. Перевірка відповідності похибки вимірювань установленим вимогам, а при необхідності підвищення точності вимірювань. Якщо під час перевірки виявляється невідповідність похибки вимірювань установленим нормам, то проводиться корекція МВВ з метою застосування більш точних методів вимірювань і ЗВТ. І це повторюється, доки не буде досягнута потрібна точність вимірювань.

4. Атестація МВВ, яка проводиться метрологічною службою і являє собою самостійне дослідження.

Крім розробки нових методик, актуальним є завдання перегляду і

переатестації діючих МВВ. Це пов'язано з тим, що діючі МВВ в основному розраховані на оперування метрологічними характеристиками ЗВТ, установленими згідно з морально застарілим ГОСТ 8.009-84, і оцінками “зверху” характеристик похибки вимірювань. Тому при впровадженні нових ЗВТ і використанні діючих МВВ доводиться здійснювати перехід від метрологічних характеристик ЗВТ, регламентованих ГОСТ 8.009-84, до метрологічних характеристик, установлених державними стандартами України.

Практичне заняття №3

Тема: «Електронні вольтметри».

Навчальні питання:

Вступ. Загальні поняття

1. Електронні вольтметри постійного струму.
2. Електронні вольтметри змінного струму та середньо випрямлених значень.
3. Універсальні електронні вольтметри.

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
2. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
3. Метрологія та вимірювання. Навчальний посібник. Ю.В.Гнусов, В.В. Тулупов, В.М.Пересічанський. Харків, ХНУВС, 2019, 125с.
4. Державні стандарти України.
5. Слайдпроектор, електронні вольтметри різних типів.

Місце проведення – навчальна аудиторія, кількість годин – 2 год.

Вступ.

Засобом вимірювальної техніки називають технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. Засобами вимірювань є вимірювальні прилади, прилади що реєструють, вимірювальні канали, вимірювальні установки, вимірювальні системи, кодові засоби вимірювань.

Цифрові засоби вимірювальної техніки виникли внаслідок потреби практики в суттєвому підвищенні точності, швидкодії та чутливості. У свою чергу, їх висока швидкодія та точність привели до нагромадження великих масивів даних про результати вимірювань, що стимулювало здійснення повної автоматизації складних процедур прямих, опосередкованих, сукупних і сумісних вимірювань на основі засобів обчислювальної техніки.

Сьогодні цифрові засоби охоплюють практично всі вимірювані в промисловості та наукових дослідженнях фізичні величини. З метою уніфікації елементної бази та забезпечення зручності в користуванні

фізичним носієм вимірювальної інформації у них вибрані електричні сигнали, найчастіше напруга постійного струму, які мають ряд незаперечних переваг порівняно з рештою сигналів, а саме: універсальність, дистанційність, наявність добре розроблених методів та засобів опрацювання, можливість реєстрації швидкоплинних процесів, простота узгодження із засобами цифрової обчислювальної техніки (комп'ютерами).

Структурною схемою вимірювального кола засобу вимірювань називається схема, що відображає його основні функціональні частини (структурні елементи), їх призначення та взаємозв'язки. Ступінь диференціації структурної схеми на структурні елементи, що зображуються переважно прямокутниками, визначається призначенням схеми. Краще за все вивчення та аналіз дії засобу вимірювань слід проводити за структурними схемами. Структурні елементи вимірювального кола можуть бути з'єднані послідовно, паралельно, зустрічно – паралельно, змішано.

Найбільш поширене пряме перетворення, характерне тим, що передача вимірювальної інформації здійснюється тільки в одному напрямку – від входу до виходу без зворотного зв'язку між ними. При цьому потрібно виділяти первинний та вторинний перетворювачі на структурній схемі, яка зображена на рисунок 1, де:

1 – пристрій первинного перетворення вимірювальної величини Z в проміжний параметр Y ;

2 – пристрій проміжного (внутрішнього) перетворення параметра Y в переміщення X ;

3 – чутливий елемент, який перетворює переміщення X в первинний електричний сигнал $U_{\text{пер}}$;

4 – функціональний перетворювач;

5 – вихідний пристрій, який остаточно формує уніфікований вимірювальний сигнал U_y .

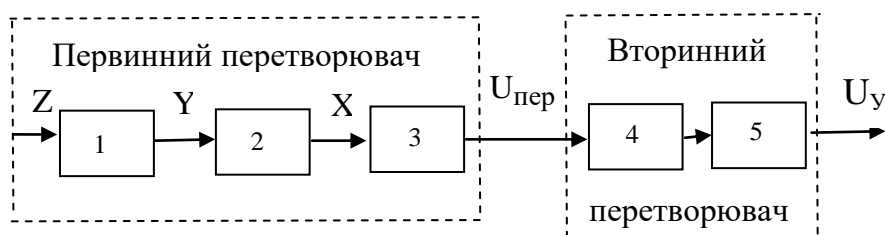


Рисунок 1 – Структурна схема прямого послідовного

Склад первинного перетворювача може бути різним залежно від методу вимірювальних перетворень. Функціями вторинного перетворювача є: випрямлення, лінеаризація, гальванічне розв'язування і таке інше та формування вихідного уніфікованого вимірювального сигналу необхідної потужності.

Електронні аналогові вимірювальні прилади

Прилад вимірювальний аналоговий (АВП) – вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та вказівника.

Електронними аналоговими вимірювальними приладами називають АВП, в яких вимірювальна інформація перетворюється за допомогою аналогових електронних пристроїв, вимірювальних підсилювачів, функціональних перетворювачів інформації, перетворювачів змінного струму в постійний, тощо.

Вихідний сигнал таких приладів є неперервною функцією вимірювальної величини і відображається за допомогою шкали та вказівника.

Внаслідок застосування електронних вузлів істотно розширюються функціональні можливості приладів і забезпечується високий рівень метрологічних характеристик, зокрема, підвищується чутливість, розширюється діапазон вимірювання (особливо в бік малих значень вимірюваних величин), зменшується споживання потужності від вимірювального кола, розширюється частотний діапазон тощо.

Їх застосовують для вимірювань практично всіх електричних величин: напруги, струму, опору, потужності, частоти, кута фазового зсуву тощо.

Залежно від способу перетворення вимірювального сигналу електронні АВП діляться на прилади: прямого, зрівноважувального, змішаного перетворення.

Особливо поширені електронні АВП прямого перетворення, (рис. 2), основними функціональними частинами яких є вимірювальна схема, що містить електронні вузли, і в якій відбувається перетворення вимірюваної величини x в проміжну величину X (здебільшого X - це сила або напруга постійного струму), перетворювач проміжної величини X в просторове переміщення вказівника α та відліковий пристрій, що відображає результат спостереження x .

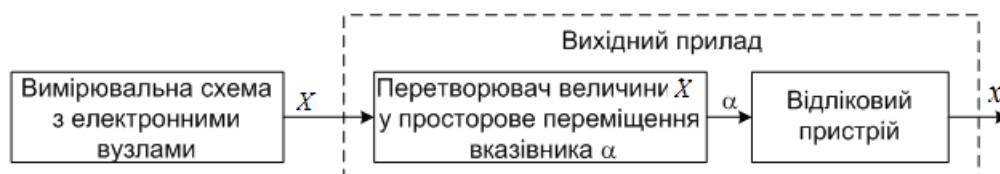


Рис. 2. Структурна схема електронного АВП прямого перетворення

Електронні АВП поділяють на дві великі групи:

- електронні АВП без електромеханічних вимірювальних механізмів,
- електронно-механічні АВП.

Електронні АВП без електромеханічних вимірювальних механізмів - АВП з електронними відліковими пристроями є :

- електронно-променеві осцилографи,
- аналізatori спектра сигналів,
- оптоелектронні прилади.

Електронно-механічні вимірювальні прилади являють собою поєднання вимірювальної схеми з електронними вузлами і магнітоелектричного вимірювального приладу, градуйованого в одиницях вимірюваної величини X .

За формою відліку АВП діляться на:

на ті що показують, які дають змогу здійснювати тільки відлік показів;
що реєструють, в яких передбачена реєстрація показів.

1. Електронні вольтметри постійного струму

Найбільш поширеною групою електронно-механічних вимірювальних приладів є електронні вольтметри постійного струму та вольтметри змінного струму, зокрема, вольтметри : середніх, середньоквадратичних та амплітудних значень змінних сигналів.

Електронні вольтметри постійного струму зазвичай будують за структурною схемою, зображеною на рис. 3. Вимірювана постійна напруга U_x подається на вхідний пристрій, який являє собою багато граничний високоомний подільник напруги. З подільника напруги сигнал надходить на підсилювач постійного струму, потім - на магнітоелектричний вимірювальний прилад.

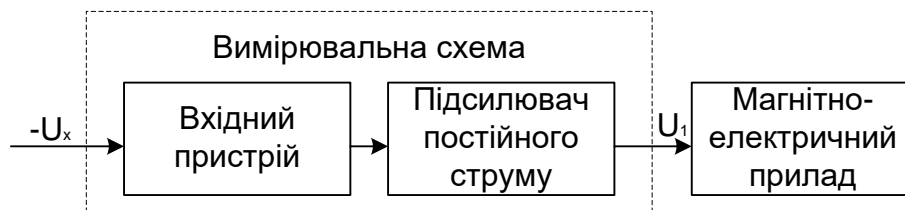


Рис.3. Структурна схема електронного вольтметра постійного струму

За допомогою подільника напруги та підсилювача постійного струму встановлюють такий рівень сигналу U_1 , який необхідний для нормальної роботи магнітоелектричного приладу.

Функція перетворення електронного вольтметра постійного струму

$$\alpha = k_{\text{пн}} k_{\text{п}} S_U U_x = k_U U_x$$

де $k_U = k_{\text{пн}} k_{\text{п}} S_U$ коефіцієнт перетворення електронного вольтметра ;

$k_{\text{пн}}$ номінальний коефіцієнт поділу вхідного подільника напруги ;

$k_{\text{п}}$ коефіцієнт підсилення підсилювача постійного струму;

S_U чутливість магнітоелектричного приладу до напруги.

Послідовне з'єднання вхідного подільника напруги та підсилювача постійного струму дає змогу побудувати вольтметри високочутливими та багато граничними за рахунок зміни коефіцієнта перетворення вольтметра у широких межах. Якщо напруга U_x більша від межі вимірювання магнітоелектричного приладу, то її необхідно поділити, якщо ж значно менша - то необхідно підсилити. Коефіцієнт підсилення підсилювача може змінюватися залежно від діапазону вимірювання. Одночасно підсилювач забезпечує узгодження вихідного опору вхідного кола з опором магнітоелектричного приладу.

Вхідний опір електронного вольтметра постійного струму досягає десятків мегаОм, що дає змогу виконувати вимірювання у високо омних колах практично без споживання потужності від джерела сигналу. Діапазон вимірюваних напруг - від одиниць нановольт до тисяч вольт. Чутливість 0,1 нВ/под. Електронні вольтметри постійного струму мають класи точності:

0,5; 1,0; 1,5.

Електронні аналогові амперметри як окремі прилади не виготовляються.

Струм I_x визначають опосередковано, вимірюючи спад напруги U на зразковому резисторі із відомим опором R і обраховуючи $I_x = U / R$. У зв'язку з цим електронні вольтметри, побудовані за схемою рис. 3 зазвичай входять до складу універсальних приладів, призначених для вимірювань як напруги, так і струму.

2..Електронні вольтметри змінного струму

Електронні вольтметри змінного струму будують за двома структурними схемами:

1)спочатку напруга змінного струму перетворюється в постійну, а потім підсилюється постійна напруга (рис. 4, а);

2)спочатку напруга змінного струму підсилюється, а потім перетворюється у постійну (рис. 4, б).

Кожна з цих схем має переваги та недоліки.

Вольтметри, побудовані за схемою рис. 4,а, мають широкий частотний діапазон (від 10 Гц до 1000 МГц), недостатньо високу чутливість і не можуть використовуватись для вимірювань напруг, менших від 0,2.. .0,3 В, оскільки перетворювачі змінного струму в постійний працюють за досить високих рівнів сигналів.

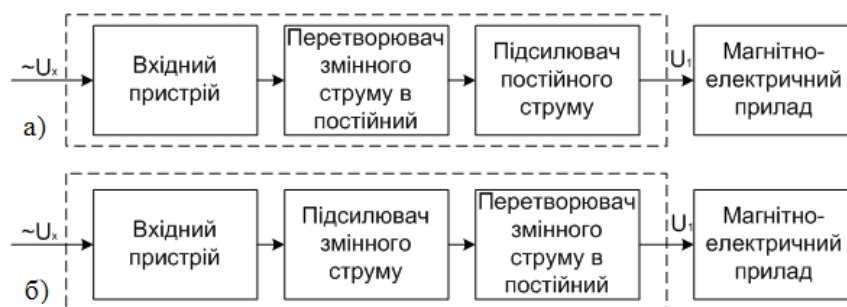


Рис.4. Структурні схеми електронних вольтметрів змінного струму

Вольтметри, побудовані схемою рис. 4,б, мають високу чутливість (нижня межа вимірювання становить одиниці мікр вольт), але вузький частотний діапазон, оскільки частотний діапазон підсилювача змінного струму важко зробити достатньо широким.

В електронних вольтметрах змінного струму для перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму застосовують перетворювачі середньо випрямлених, середньоквадратичних та амплітудних значень, які детально описані в лекціях.

Відповідно до цього розрізняють вольтметри:

- середньо випрямлених,
- середньоквадратичних,
- амплітудних значень змінних сигналів.

Слід зазначити, що в літературних джерелах вольтметри *середньо випрямлених значень* часто називають вольтметрами *середніх значень* і на шкалі приладу роблять напис U_{cp} .

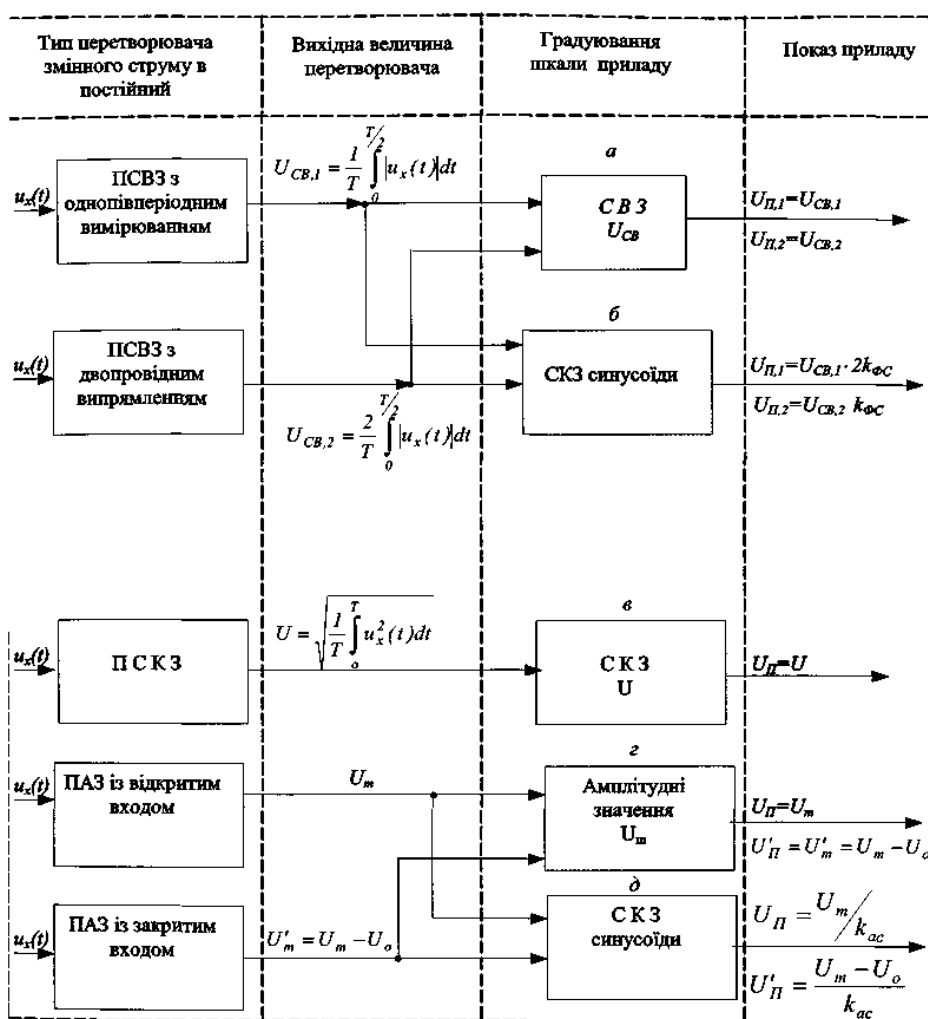


Рис. 5. Структурні схеми побудови найпоширеніших аналогових електронних вольтметрів змінного струму: ПСВЗ - перетворювач середньо

випрямлених значень; ПСКЗ - перетворювач середньоквадратичних (діючих) значень; ПАЗ - перетворювач амплітудних значень; $k_{\text{фс}} = 1,11$ - коефіцієнт форми синусоїди; $k_a = -\sqrt{2}$ - коефіцієнт амплітуди синусоїди; U_m і U — амплітуда і стала складова сигналу $u(t)$

Основні структурні схеми побудови електронних вольтметрів змінного струму, призначених для вимірювань середньо випрямлених, середньоквадратичних амплітудних значень змінних сигналів, зображені на рис. 5. Здебільшого шкали вольтметрів градуують у значеннях вихідної величини відповідного перетворювача змінного струму в постійний. Однак іноді сигнали приладів з перетворювачами середньо випрямлених і амплітудних значень градуують в середньоквадратичні значення синусоїди.

Вольтметри середньо випрямлених значень включають перетворювачі середньо випрямлених значень (ПСВЗ), побудовані за схемами з одно- та двох періодними перетворювачами двох полярного змінного сигналу $u_X(t)$ в одно полярний (рис.6).

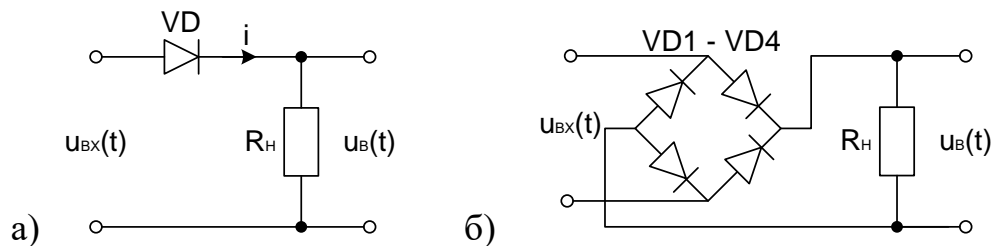


Рис.6. Схема одно періодного (а) та двох періодного (б) пасивних випрямлячів

У разі одно періодного випрямлення показ вольтметра дорівнює:

$$U_{CB1} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_{BX}(t) dt ,$$

а у разі двох періодного:

$$U_{CB2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_{BX}(t) dt ,$$

де U_{CB1} і U_{CB2} - відповідно середньо випрямлені значення вимірюваної напруги $u_X(t)$.

У вольтметрах середньоквадратичних (діючих) значень застосовують перетворювачі середньоквадратичних значень (ПСКЗ), а показ вольтметра дорівнює:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2(t) dt} ,$$

де U - середньоквадратичне (діюче) значення вимірюваної напруги $u_X(t)$

У вольтметрах амплітудних значень використовують перетворювачі амплітудних значень (ПАЗ) з відкритим та закритим входами. Пасивні ПАЗ

являють собою діодно - конденсаторні випрямні схеми з одно півперіодним випрямленням, які будують із відкритим та закритим входами. Принципова різниця між цими схемами полягає в тому, що схема із відкритим входом пропускає сталу складову вхідного сигналу $u_X(t)$, а із закритим входом - не пропускає.

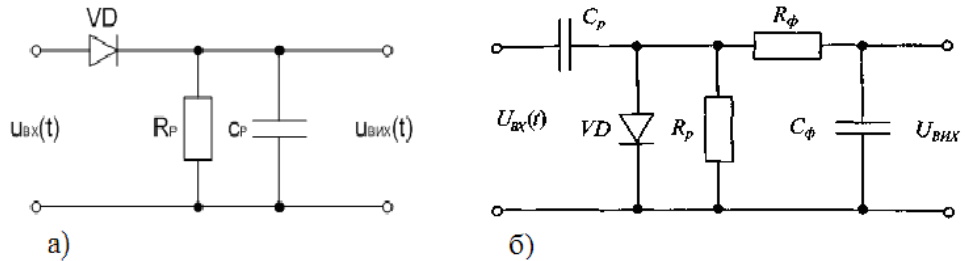


Рис.7. Схема пасивного ПАЗ з:

а) відкритим входом, б) закритим входом

Для ПАЗ з відкритим входом показ вольтметра дорівнює

$$U_{II} = U_m.$$

Для ПАЗ із закритим входом показ вольтметра дорівнює

$$U_{II} = U'_m = U_m - U_0,$$

де U_m - амплітуда сигналу $u_X(t)$;

U_0 - стала складова сигналу $u_X(t)$;

U'_m - амплітуда змінної частини сигналу $u_X(t)$;

Однак часто шкали вольтметрів з ПСВЗ і ПАЗ градуують в *середньоквадратичних (СКЗ) (діючих) значеннях синусоїдального сигналу*, який є найпоширенішим вимірювальним сигналом в галузі вимірювань електричних і магнітних величин.

Покази вольтметрів з ПСВЗ, градуйованих в СКЗ синусоїди (рис.5,б) для одно півперіодного випрямлення

$$U_{II,1} = 2 \cdot k_{\Phi C} \cdot U_{CB,1},$$

для двох півперіодного випрямлення

$$U_{II,2} = k_{\Phi C} \cdot U_{CB,2},$$

де: $K_{\Phi} = U / U_{CB} = 1.11$ - коефіцієнт форми синусоїди,

U_{CB1} і U_{CB2} - відповідно середньо випрямлені значення вимірюваної напруги $u_X(t)$.

Покази вольтметрів з ПАЗ, градуйованих в СКЗ синусоїди для ПАЗ із відкритим входом

$$U_{II} = \frac{U_m}{k_{ac}},$$

для ПАЗ із закритим входом

$$U'_{\Pi} = \frac{U'_m}{k_{ac}} = \frac{U_m - U_0}{k_{ac}},$$

де: $k_{ac} = U_m / U = \sqrt{2} = 1.41$ - коефіцієнт амплітуди синусоїди;

U_m, U, U_0 - амплітуда, діюча і стала складова сигналу $u(t)$.

Похибка від впливу форми кривої сигналу виникає при вимірюванні СКЗ сигналу не синусоїдної форми за наявності в складі електронного вольтметра ПСВЗ

$$\delta_{\phi} = \frac{U_{\Pi} - U}{U} \cdot 100\% = \frac{k_{\phi C} - k_{\phi x}}{k_{\phi x}} \cdot 100\%,$$

за наявності в складі електронного вольтметра ПАЗ

$$\delta_{\phi} = \frac{U_{\Pi} - U}{U} \cdot 100\% = \frac{k_{ax} - k_{ac}}{k_{ac}} \cdot 100\%,$$

де: U_{Π} - показ приладу;

U - СКЗ вимірюваного сигналу;

$k_{\phi C}, k_{ac}$ - коефіцієнти форми та амплітуди синусоїдного сигналу;

$k_{\phi x}, k_{ax}$ - коефіцієнти форми та амплітуди вимірюваного сигналу.

Якщо форма вимірюваного сигналу відома, то похибку δ , від впливу форми кривої сигналу можна виключити, коректуючи результат вимірювання. Для цього СКЗ сигналу не синусоїдної форми U за відомого показу вольтметра U_{Π} визначають формулами:

$$U = U_{\Pi} \cdot \frac{k_{\phi x}}{k_{\phi C}} \text{ або } U = \frac{U_{\Pi}}{1 - \delta_{\phi}},$$

де: δ_{ϕ} — значення похибки, виражене у відносних одиницях і з урахуванням знака.

3. Універсальні електронні вольтметри

Поширені у вимірювальній практиці *універсальні електронні вольтметри* призначені для вимірювань у колах постійного та змінного струму. Зазвичай, крім напруги, вони дають змогу вимірювати струм та електричний опір. Типова структурна схема універсального вольтметра зображена на рис. 8.

Під час вимірювання напруги постійного струму (перемикач роду роботи S в положенні "=") вимірювана величина U_{-} надходить на вхідний пристрій, який зазвичай являє собою подільник напруги, та підсилювач постійного струму, навантаженням якого є магнітоелектричний вимірювальний прилад. Під час вимірювання напруги змінного струму (перемикач роду роботи S в положенні "~")

вимірювана величина U_{\sim} надходить на вхідний пристрій, який зазвичай являє собою частотонезалежний подільник напруги, а потім на перетворювач змінного струму в постійний, вихідна величина якого вимірюється вольтметром постійного струму.

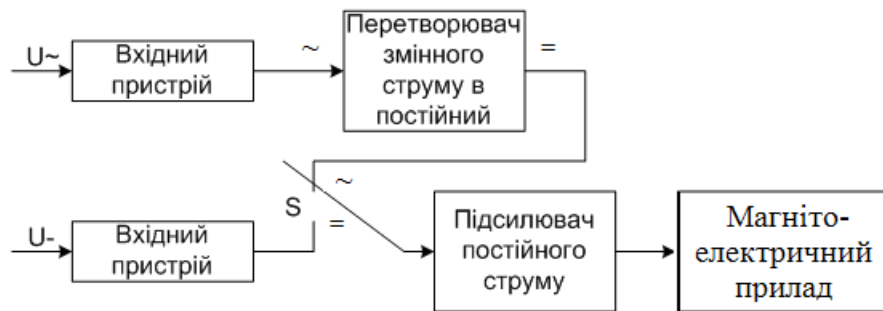


Рис. 8. Структурна схема універсального вольтметра

В універсальних вольтметрах для перетворення змінного струму в постійний застосовують переважно пасивні ПАЗ із закритим виходом (рис. 7,б), завдяки чому забезпечують незалежність показів вольтметра від сталої складової напруги на вході, широкий частотний діапазон ($10^8 \dots 10^9$ Гц) та високий вхідний опір.

Основні метрологічні характеристики електронних вольтметрів

Основними метрологічними характеристиками електронних вольтметрів, які визначаються переважно схемою та параметрами вхідного пристрою і схемою та параметрами перетворювача змінного струму в постійний, є: основна та додаткові інструментальні похибки, вхідний опір, діапазон вимірювання, частотний діапазон та методична похибка, зумовлена впливом форми кривої сигналу на покази приладу.

Межа допустимої основної зведеної похибки електронних вольтметрів γ , яка числове дорівнює класу точності приладу, визначають за формулою

$$\gamma_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{x_N} \cdot 100\% = \pm k\% .$$

Серійні електронні вольтметри переважно мають один із таких класів точності: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5.

Серед додаткових інструментальних похибок електронних вольтметрів переважають температурна δ_θ , частотна δ та похибка від впливу зовнішнього магнітного поля δ .

Вхідний опір електронних вольтметрів складається із активної складової $R_{вх}$ та реактивної складової, зумовленої вхідною ємністю приладу $C_{вх}$ та індуктивністю $L_{вх}$ струмопровідних провідників. На частоті 20 Гц є суто активним, становить 10...1000 МОм і залишається практично сталим до частоти сигналу 1 МГц .

При частотах $f > 1$ МГц він зменшується через збільшення дії шунтування вхідної ємності $C_{вх}$, опір якої зменшується із зростанням частоти сигналу.

Нормальний частотний діапазон більшості вольтметрів становить 40 Гц...100 кГц, а робочий - 10 Гц...30 МГц, однак може бути розширений до 1000 МГц.

Переваги

- висока чутливість (за рахунок застосування електронних підсилювачів)
- широкий діапазон вимірювання напруг - від одиниць мілівольт до сотень вольт;
- широкий частотний діапазон вимірюваних напруг - від одиниць герц до тисячі мегагерц
- слабка залежність показів від частоти вимірюваної напруги в робочому діапазоні частот;
- нехтовно мале власне споживання потужності, оскільки вони мають великий вхідний опір $R_{вх} = 10... 10^3 \text{ МОм}$ і малу вхідну ємність $C_{вх} = 1...4 \text{ пФ}$.

Недоліки електронних вольтметрів

- порівняно велика основна похибка (0,5...2,5 %)
- вплив зміни окремих елементів схеми на градування вольтметра
- необхідність допоміжного джерела живлення
- різке збільшення основної похибки (до 25 %) при частотах сигналів більше ніж 1 ГГц.

Практичне заняття № 4

«Основи фізичних вимірювань».

Навчальна мета заняття: Ознайомитись з принципами вимірювань деяких фізичних величин, їх еталонами та елементами теорії помилок.

Кількість годин __2 год._ **Місце проведення:** навчальна аудиторія

Навчальні питання:

1. Вивчення принципу вимірювань деяких фізичних величин.
2. Порівняння технічних характеристик та методик роботи різних типів засобів вимірювання.
3. Підбір засобів вимірювання для вимірів об'ємного тіла правильної геометричної форми.
4. Обчислення середньої, абсолютної і відносної похибок кожного розміру і вимірювання

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. Трофімова Т.И. Курс фізики. – « Вища школа», 2002.
2. Захаров І.П. Теоретична метрологія. - Харків, видавництво ХТУРЕ, 2000 .
3. Шабалін С.О. Виміри для всіх.: Видавництво стандартів, 1992

4. Волькенштейн В.С. Збірник задач по загальному курсу фізики. - Видавництво «Наука», 1990.
5. Танигин В.А.. Основи стандартизації та управління якістю.; Видавництво стандартів -1989.
6. Метрологія та вимірювання. Навчальний посібник. Ю.В.Гнусов, В.В. Тулупов, В.М.Пересічанський. Харків, ХНУВС, 2019, 125с.

1. Теоретичний матеріал

Основним методом пізнання, у тому числі і в фізиці, є дослід. Узагальнення результатів дослідів приводить к встановленню універсальних об'єктивних закономірностей - фізичних законів, які встановлюють зв'язок між фізичними величинами.

Фізична величина є загальна властивість об'єктів, яка для кожного з них визначається кількісно вимірюванням.

Вимірювання - це процес порівняння за допомогою технічних засобів невідомої фізичної величини з однорідною їй величиною, що прийнята за одиницю виміру (еталон). У вимірюванні бере участь міра (наприклад, гиря, шаблон, тощо) або вимірювальний прилад - технічний засіб, що "зберігає" одиницю вимірів (наприклад, вольтметр, термометр).

Всі вимірювання можна робити тільки з певним ступенем точності.

Точність - це найменша частина одиниці міри, до якої з упевненістю можна провести вимірювання.

Похибка вимірювань - це різниця між істинним та вимірним значеннями величини. Похибки розрізняють систематичні та випадкові.

Систематичні похибки при повторенні вимірювань не змінюються або змінюються за певним законом.

Випадкові похибки хаотично змінюються при повторенні вимірювань.

Самим простим способом підвищення точності вимірювань є виключення випадкових похибок усередненням багатьох результатів. При цьому вимірювання деякої величини A проводять n разів і розраховують її середнє арифметичне:

$$A_{\text{ср}} = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) / n \quad (1)$$

Наступні величини вважаються:

1) $\Delta A_1 = |A_{\text{ср}} - A_1|$ - абсолютною похибкою виміру A_1 .

2) $\Delta A = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n}{n}$ - середньою абсолютною похибкою виміру A

3) $\Delta A / A_{\text{ср}}$ - середня відносна похибка виміру, виражається у відсотках (%).

Істинне значення A лежить у межах

$$A_{\text{ср}} - \Delta A < A < A_{\text{ср}} + \Delta A,$$

$$\text{або коротше } A = A \pm \Delta A. \quad (2)$$

Для обчислення точності результату при непрямих вимірюваннях користуються формулами таблиці 2.

При невеликій кількості прямих вимірювань ($n < 30$) випадкові похибки оцінюють *статистичним методом*. Значення похибки з потрібною ймовірністю α визначається за формулами

$$\Delta A = \frac{\sigma_{A,n}}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

де $t_{\alpha,n}$ - коефіцієнт Стюдента, що визначається за ймовірністю α з табл.3;

σ - середня квадратична похибка,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta A_i^2}{n-1}} \quad (4)$$

Грубі похибки виникають або в результаті помилки, або при поганих умовах спостереження. Якщо вимірювання відрізняється від середнього арифметичного (1) більше ніж 3σ , це значення вважається промахом та виключається з результатів вимірів.

Таблиця 1 Множники для утворення кратних та часткових одиниць у системі СІ.

Част ка	Префікс, позначення			Мно жник	Префікс, позначення (укр./міжнар.)		
10^{-9}	п	п	p	10^1	де	да	da
10^{-6}	н	н	n	10^2	ге	г	h
10^{-3}	м	м	u	10^3	кі	к	k
10^{-2}	м	м	m	10^6	ме	М	M
10^{-1}	с	с	c	10^9	гіг	Г	G
	д	д	d		те	Т	T

Таблиця 2 Вирази для абсолютних та відносних похибок результатів обчислень

Формула	Абсолютна	Відносна похибка
$A \pm B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{ A \pm B }$
$A \times B$	$A \Delta B + B \Delta A$	$\frac{\Delta A}{ A } + \frac{\Delta B}{ B }$

$AxBxC$	$AB\Delta C + AC\Delta B + BC\Delta A$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$
$\frac{A}{B}$	$\frac{B\Delta A + A\Delta B}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{ A } + \frac{\Delta B}{ B }$
$\sqrt[n]{A}$	$\frac{1}{n} A^{\frac{1-n}{n}} \Delta A$	$\frac{1}{n} \frac{\Delta A}{ A }$
A^n	$n A^{n-1} \Delta A$	$\frac{n\Delta A}{ A }$

Таблиця 3 Коефіцієнти Стьюдента

	$\alpha=0.90$	$\alpha=0.95$	$\alpha=0.99$
	6.31	12.7	63.7
	2.92	4.30	9.92
	2.35	3.18	5.84
	2.13	2.78	4.60
	2.01	2.57	4.03
	1.94	2.45	3.71
	1.89	2.36	3.50
	1.86	2.31	3.36

2. План проведення заняття.

Приклад вимірів та розрахунків

1. Визначимо об'єм прямокутного паралелепіпеда непрямим методом. Виміряємо довжину, ширину і висоту паралелепіпеда (рис. 1).

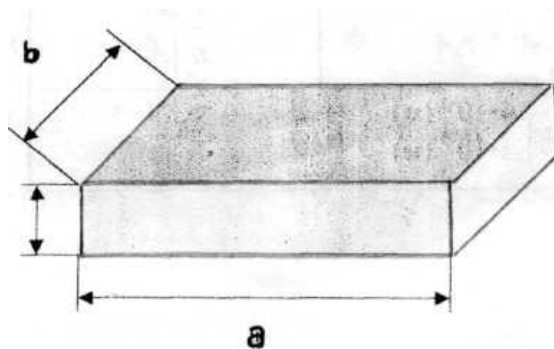


Рис.1. Схема вимірювань

2. Результати вимірювань занесемо в таблицю № 4.

Таблиця № 4 Результати вимірювань.

a довжина (м)	b ширина (м)	c висота (м)
-------------------------	------------------------	------------------------

0,1030	0,0608	0,0075
0,1040	0,0609	0,0080
0,1033	0,0608	0,0070

3.3 В таблицю № 5 будемо заносити результати обчислень середніх значень вимірювань та їх абсолютні і відносні похибки за відповідними формулами, що наведені у таблиці № 2.

Знайдемо середнє значення кожного з параметрів :

$$a_{cp.} = (a_1 + a_2 + a_3) / 3 = (0,1030 + 0,1040 + 0,1033) / 3 \approx 0,10343 \text{ м}$$

Аналогічно й для інших вимірів:

$$b_{cp.} = (0,0608 + 0,0609 + 0,0608) / 3 \approx 0,06086 \text{ м}$$

$$c_{cp.} = (0,0075 + 0,0080 + 0,0070) / 3 \approx 0,0075 \text{ м}$$

Визначимо абсолютну похибку кожного виміру:

$$\Delta a_n = |a_{cp.} - a_n|$$

$$\Delta a_1 = |0,10343 - 0,1030| = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\Delta a_2 = |0,10343 - 0,1040| = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\Delta a_3 = |0,10343 - 0,1033| = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Аналогічно й для інших вимірів:

$$\Delta b_1 = |0,06086 - 0,0608| = 6 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$$

$$\Delta b_2 = |0,06086 - 0,0609| = 4 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$$

$$\Delta b_3 = |0,06086 - 0,0608| = 6 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$$

$$\Delta c_1 = |0,0075 - 0,0075| = 0 \text{ (м)}$$

$$\Delta c_2 = |0,0075 - 0,0080| = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\Delta c_3 = |0,0075 - 0,0070| = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Знаходимо середні значення абсолютних похибок за формулою.

$$\Delta a = (\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n) / n$$

$$\Delta a = (0,00043 + 0,00057 + 0,00013) / 3 \approx 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Аналогічно й для інших вимірів:

$$\Delta b = (6 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} + 6 \cdot 10^{-5}) / 3 \approx 0,53 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\Delta c = (0 + 5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-4}) / 3 \approx 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Тепер обчислимо відносні середні похибки вимірювань у відсотках:

$$\Delta a / a \cdot 100\% = 3,77 \cdot 10^{-4} / 0,10343 \cdot 100\% \approx 0,36\%$$

Аналогічно й для інших вимірів:

$$\Delta b/b \cdot 100\% = 0,53 \cdot 10^{-4} / 608,6 \cdot 10^{-4} \cdot 100\% \approx 0,09\%$$

$$\Delta c/c \cdot 100\% = 3,33 \cdot 10^{-4} / 75 \cdot 10^{-4} \cdot 100\% \approx 4,44\%$$

Використовуючи абсолютні похибки запишемо значення розмірів паралелепіпеда у стандартному вигляді:

$$a = 0,10343 \pm 0,000377 \text{ м}$$

$$b = 0,06086 \pm 0,000053 \text{ м}$$

$$c = 0,0075 \pm 0,00033 \text{ м}$$

$$\text{Визначимо об'єм } V = a \cdot b \cdot c = 0,10343 \cdot 0,06086 \cdot 0,0075 = 4,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Знайдемо абсолютну похибку об'єму:

$$\Delta a \cdot b \cdot c = a \cdot b \cdot \Delta c + a \cdot \Delta b \cdot c + \Delta a \cdot b \cdot c = (1034,3 \cdot 608,6 \cdot 3,33 + 1034,3 \cdot 0,53 \cdot 75 + 3,77 \cdot 608,6 \cdot 750) \cdot 10^{-12} \approx 0,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Отже, об'єм складає:

$$V = 4,72 \cdot 10^{-5} \pm 0,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Знайдемо відносну похибку об'єму за формулою :

$$\Delta V = \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{3,77}{1034} + \frac{0,53}{608} + \frac{3,33}{75} \right) \cdot 100\% \approx 4,89\%$$

Використовуючи відносну похибку, запишемо об'єм

$$V = 4,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \pm 4,87\%$$

Таблиця № 5 Середні значення вимірювань та обчислень.

Розмір	Значення, м $\times 10^{-4}$	Абсолютна похибка, м $\times 10^{-4}$	Відносна похибка, %	Об'єм, м^3	Абсолютна похибка об'єму, м^3	Відносна похибка об'єму, %
a	1034	3,77	0,36	$4,72 \cdot 10^{-5}$	$0,23 \cdot 10^{-5}$	4,89
b	608	0,53	0,09			
c	75	3,33	4,44			

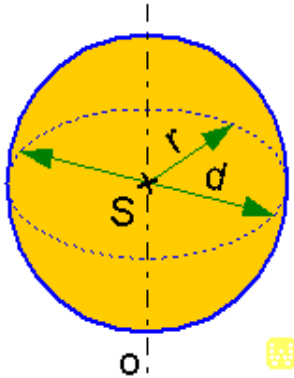
Оцінимо похибку розміру а статистичним методом з довірливою ймовірністю 95 %. За нашими умовами коефіцієнт Ст'юдента (табл.1.4) для трьох вимірювань

$t_{0,95;3} = 4,3$. Тоді середня квадратична похибка дорівнює.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta a_1^2 + \Delta a_2^2 + \Delta a_3^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,3^2 + 5,7^2 + 1,3^2}{2}} = 5,1 \cdot 10^{-4} (\text{м})$$

$$\Delta a = \frac{\sigma t_{a,n}}{\sqrt{n}} = \frac{5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 4,3}{\sqrt{3}} = 12,9 \cdot 10^{-4} (м)$$

Аналогічно визначаються похибки інших розмірів, а саме при обчисленні



Об'єм кулі $V = 1/6 \pi \times d^3 = 4/3 \pi \times r^3 [m^3]$

Знаходиться радіус та об'єм кулі, та відносна та абсолютна похибки.

Практичне заняття № 5

Тема: «Структурні схеми аналогових вимірювачів. Осцилографи».

Навчальні питання:

Вступ. Загальні поняття

1. Аналогові осцилографи.
2. Цифрові осцилографи

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
2. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
3. Метрологія та вимірювання. Навчальний посібник. Ю.В.Гнусов, В.В. Тулупов, В.М.Пересічанський. Харків, ХНУВС, 2019, 125с.
4. <http://oscillograf.com.ua/cat/stati/>
5. <http://oscillograf.com.ua/cat/stati/>
6. Державні стандарти України.
7. Слайдпроектор, аналогові та цифрові осцилографи.

Місце проведення – навчальна аудиторія, кількість годин – 2 год.

Вступ.

Осцилограф (лат. oscillo — гойдаюся і graph — пишу) – контрольно-вимірний прилад для дослідження і візуалізації електричних сигналів, а також визначення їх параметрів в реальному часі. Осцилограф, дозволяє проводити візуальний контроль таких характеристик, як форма, період, амплітуда, полярність або тривалість сигналу.

Електронно-променеві (електронні) осцилографи призначені для:

- візуального спостереження,
- вимірювання,
- реєстрації електричних сигналів.

Можливість *спостереження* сигналів, що змінюються в часі, робить осцилографи унікальними приладами при дослідженні різних параметрів досліджуваних сигналів. Осцилографи можна вважати одними з найбільш поширених контрольно-вимірювальних приладів в багатьох технічних галузях виробництва і наукових досліджень.

Класифікація осцилографів можлива по декількох параметрах, наприклад

- за способом обробки вхідного сигналу, вони діляться на:

- аналогові,
- цифрові;

- по частотному діапазону на:

- низькочастотні,
- універсальні (імпульсні),
- високочастотні

- по кількості променів на:

- однопроменеві,
- двопроменеві і так далі.

N-променевий осцилограф має N сигнальних входів і може одночасно відображати на екрані N графіків.

Цифрові осцилографи у свою чергу діляться на:

- що запам'ятовують,
- люмінофорні,
- стробоскопічні.

1.Аналогові осцилографи

Прилади цього типу вважаються класичними представниками загального поняття про осцилограф як контрольно-вимірювальний прилад. У загальному випадку, будь-який аналоговий осцилограф складається з наступних функціональних складових: вхідний дільник напруги ВПН, підсилювач вертикального відхилення ПВВ, схема синхронізації СС, підсилювач горизонтального відхилення ПГВ, джерело живлення (на схемі не показано) і електронно-променева трубка ЕПТ (рисунок 1.).

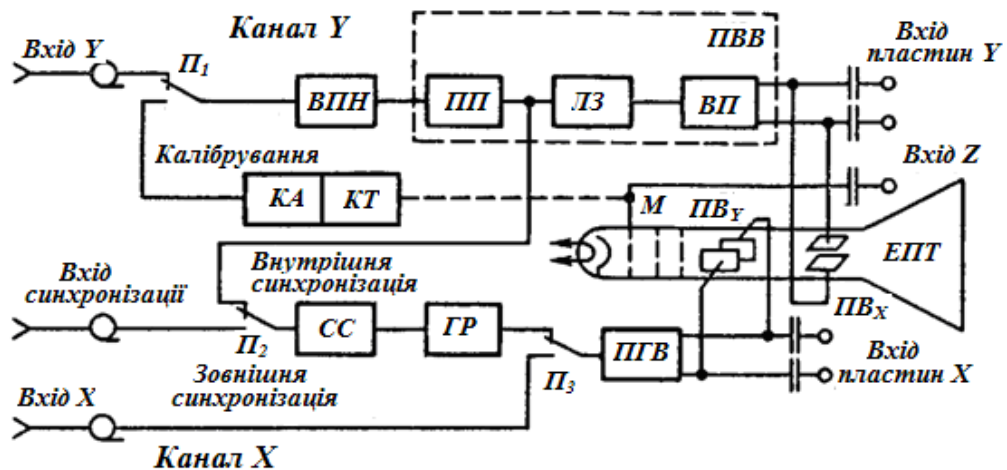


Рисунок 1 - Структурна схема аналогового осцилографу

У осцилографах застосовують електронно-променеві трубки з електростатичним відхиленням, на відміну від телевізорів і моніторів, де використовується магнітне відхилення. Електронно-променеві трубки з електростатичним відхиленням, хоча і складніші у виготовленні, мають набагато більший частотний діапазон.

Система електронно-променевої трубки, що відхиляє, складається з двох пар пластин, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах (рис.1). Пластини, що відхиляють промінь у вертикальному ПВу і горизонтальному напрямі ПВх, називають відповідно пластинами (електродами) вертикального або горизонтального відхилення. Якщо до якої-небудь пари пластин прикласти змінну напругу, то промінь прокреслить на екрані пряму лінію, що світиться.

Канал вертикального відхилення (канал Y) призначений для посилення (ослаблення) досліджуваної напруги до значення, при якому зображення на екрані зручно для візуального спостереження. Канал Y включає аттенюатор (вхідний дільник напруги ВДН) і підсилювач вертикального відхилення ПВВ, вихід якого підключається до пластин Y електронно-променевої трубки. До пластин X через підсилювач горизонтального відхилення ПГВ підводиться напруга, що лінійно змінюється, від генератора лінійної розгортки ГР. Схема синхронізації СС управляє запуском ГР, використовуючи для цього синхронізуючий сигнал, що поступає від ПВВ або від зовнішнього джерела залежно від положення перемикача.

Якщо змінну напругу прикласти одночасно до обох пар пластин, що відхиляють, то електронний промінь під дією двох взаємно перпендикулярних полів прокреслюватиме на екрані деяку складну криву. Форма складної кривої, що буде отримана, залежить від форми, зсуву фаз і співвідношення амплітуд і частот напруги, прикладеної до пластин. При відношенні частот, що виражається раціональним числом, результуюча крива замкнута і представляється на екрані у вигляді нерухомого зображення (фігури Ліссажу).

При необхідності проведення досліджень за допомогою фігур Ліссажу перемикач Π_3 переводиться в нижнє положення. При цьому ГР і СС відключаються і на пластини Х через ПГВ поступає напруга, що подана на вхід Х.

Блок допоміжних пристроїв включає калібратор амплітуди КА і калібратор триваліст КТ, що використовуються при вимірюваннях амплітудних і часових параметрів досліджуваних сигналів. Підключення КА на час калібрування чутливості каналу Y проводиться за допомогою перемикача Π_1 . При визначенні масштабу осцилограми по осі часу КТ управляє яскравістю променя з допомогою дії на електронну гармату трубки.

Чутливість електронно-променевих трубок порівняно невелика, тому необхідний підсилювач у каналі Y. Основні вимоги, що пред'являються до підсилювача:

- а) мінімум амплітудних і фазових спотворень в можливо ширшому діапазоні частот: це означає, що коефіцієнт посилення підсилювача при зміні частоти в широких межах не повинен значно відхилятися від свого номінального значення, а фазове зрушення, що створюється підсилювачем, повинне змінюватися пропорційно частоті;
- б) лінійна залежність між вихідною і вхідною напругою при зміні останньої в заданих межах;
- в) високий вхідний опір.

При дотриманні цих умов можна достатньо точно відтворити на екрані осцилографа криву вхідної напруги і досліджувати той або інший процес без помітного споживання потужності від джерела досліджуваних сигналів.

Використання підсилювачів підвищує чутливість осцилографа до напруги до значень приблизно одиниць і десятків сантиметрів на вольт. При цьому треба мати на увазі, що коефіцієнт посилення ПБВ зазвичай багато більше коефіцієнта посилення ПГВ. Це пояснюється тим, що рівень напруги, що створюється в ГР, достатньо великий і значного його посилення не вимагається.

Для низькочастотних осцилографів смуга частот, що пропускаються підсилювачем, лежить в межах від одиниць герц до 1—5,5 МГц. У осцилографах, призначених для дослідження сигналів в широкому діапазоні частот і для імпульсних вимірювань, застосовуються підсилювачі з верхньою межею смуги пропускання приблизно 50 МГц. Вхідний опір підсилювачів дорівнює 1—50 МОм, вхідна ємність 30—40 пФ.

Одним з найважливіших вузлів електронного осцилографа є генератор лінійної розгортки ГР. Для створення горизонтального переміщення точки, що світиться, застосовується напруга, яка періодично рівномірно зростає до деякого певного значення і потім за дуже короткий проміжок часу повертається до початкового значення (рис. 2). Спадаючі ділянки напруги,

що лінійно змінюється, на рисунку відповідають зворотному ходу точки в горизонтальному напрямі по екрану. Час зворотного ходу $t_{зб}$ повинен складати вельми малу частину повного періоду коливань T .

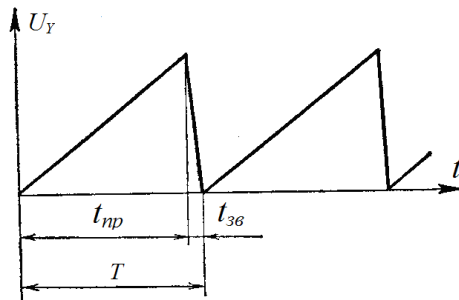


Рисунок 2 - Вид напруги лінійної часової розгортки

Якщо тривалість одного повного горизонтального переміщення променя дорівнює періоду напруги, прикладеної до електродів вертикального відхилення, то на екрані з'явиться крива, відповідна одному періоду коливань. Якщо частота розгортаючої напруги в n разів менше частоти напруги, що досліджується, то крива на екрані охопить n періодів (рис. 3). При відношенні частот, що виражається відношенням двох цілих чисел, зображення буде нерухомим, інакше воно буде переміщатися по екрану.

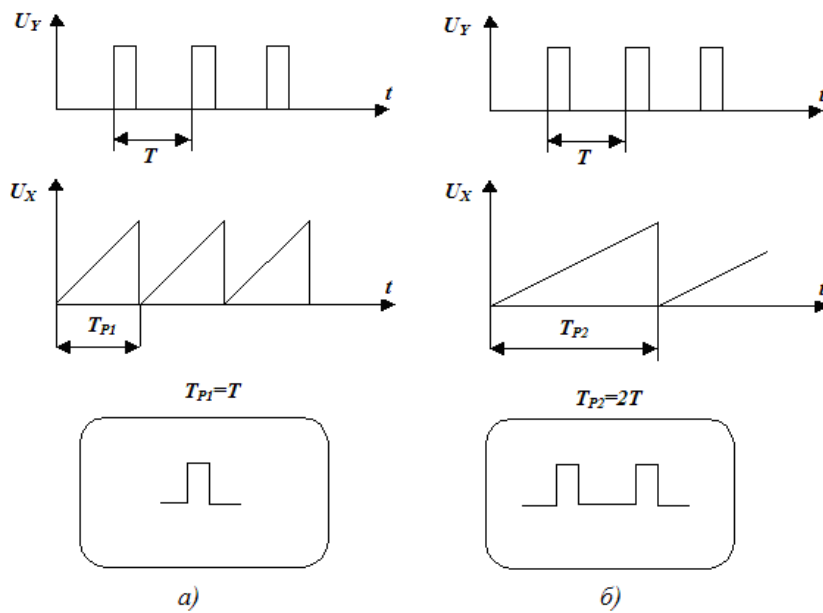


Рисунок 3 - Схема роботи генератора розгортки

У схемах генераторів передбачається можливість регулювання частоти коливань в широких межах. Міняючи частоту генератора розгортки, добиваються синхронізації частот, тобто такого співвідношення частот розгортки і сигналу, при якому зображення виходить нерухомим. При роботі з генераторами лінійної розгортки така настройка здійснюється двома ступенями — грубою і точною синхронізацією.

Для підтримки стабільності настройки додатково застосовується примусова синхронізація шляхом подачі до схеми розгортки в момент, що передуює початку зворотного ходу, частини посиленої досліджуваної напруги, яка приводить в дію схему якраз при амплітудному значенні досліджуваної напруги. Така синхронізація називається внутрішньою синхронізацією.

За допомогою перемикача синхронізації Π_2 (рис.1) замість внутрішньої можна проводити зовнішню синхронізацію, при якій до генератора розгортки підключається зовнішня синхронізуюча напруга.

При використанні лінійної розгортки застосовуються так звані схеми гасіння зворотного ходу променя, які забезпечують включення променя тільки протягом робочої частини періоду напруги розгортки, що лінійно змінюється. Це робиться для того, щоб зворотний хід точки по екрану не накладався на картину явища, що спостерігається.

Генератор розгортки може працювати в режимі безперервної або одноразової (тобто яка чекає сигнал вимірювання) розгортки .

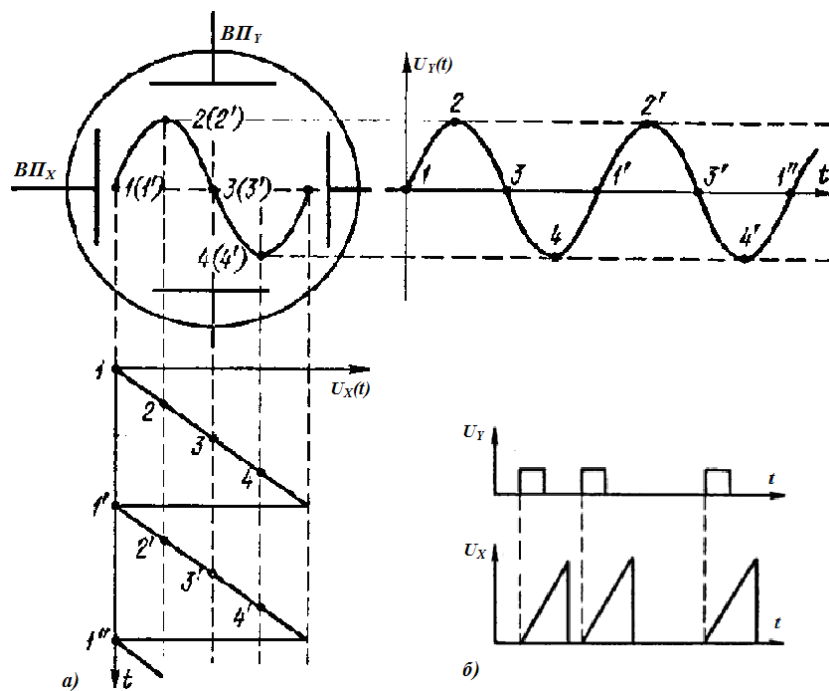


Рисунок 4 - Схема роботи розгортки: а – безперервної, б – що чекає

При дослідженні коротких імпульсів або імпульсів, що йдуть один за одним з великими інтервалами, що змінюються, необхідно користуватися розгорткою, що чекає. Розгортка, що чекає, є різновидом лінійної розгортки, запуск якої здійснюється процесом, що досліджується.

Під час вступу імпульсу який запускає, починається робочий хід розгортки зі встановленою тривалістю. Повторення робочого ходу відбудеться тільки під час появи нового чого імпульсу. Синхронізація розгортки і досліджував-

ного сигналу, таким чином, відбувається автоматично (рисунок 4,б).

Два режими роботи — безперервний і такий, що чекає — можуть бути здійснені або зміною роботи генератора безперервної лінійної розгортки, або з застосуванням двох генераторів розгортки — безперервного і такого, що чекає.

Істотним недоліком звичайних електронних осцилографів є неможливість одночасного спостереження декількох процесів. Цей недолік усувається застосуванням багатопроменевих трубок, які мають не одну, а декілька систем фокусуючих і відхиляючих електродів.

Дослідження декількох напруг можна проводити і за допомогою одного променевого осцилографа, застосовуючи спеціальні електронні перемикачі, що підключають на вхід осцилографа по черзі досліджувані сигнали. Якщо частота перемикання сигналів вища за частоту досліджуваного процесу, то на екрані виходить пунктирне зображення декількох процесів одночасно.

Якщо запуск генератора розгортки, що чекає, здійснюється досліджуваною напругою, то відбувається запізнювання розгортки і початкові стадії одноразового процесу залишаються поза спостереженням. Для виключення цього в канал ПВВ вводиться лінія затримки ЛЗ, що забезпечує надходження досліджуваного сигналу на пластини Y за часом пізніше почала розгортки. У універсальних осцилографах є лінія затримки змінної тривалості. Підбираючи витримку часу за допомогою лінії затримки і змінюючи швидкість розгортки, можна детально спостерігати бажану ділянку досліджуваного процесу (рис.1).

Часто буває зручно пускові імпульси, що включають досліджуваний процес і розгортку, виробляти в самому осцилографі. Цим забезпечується надійна синхронізація розгортки і спостережуваних коливань. Сучасні високоякісні осцилографи містять генератор пускових імпульсів.

Універсальні (імпульсні) осцилографи мають додатковий канал Z для управління яскравістю точки. Канал Z, так само як і канали Y і X осцилографа, має свій підсилювач і вхідні затиски (на рис. 1 не показані). Зміна яскравості точки на екрані дозволяє вносити додаткову інформацію до осцилограми, наприклад відзначати які-небудь характерні моменти в досліджуваній кривій. Велику зручність дає використання каналу Z при вимірюванні за допомогою осцилографа частоти або фази електричних коливань.

Масштаб по каналах Y і X визначається за допомогою калібраторів КА і КТ. Калібратором амплітуди є генератор напруги прямокутної форми і стабільної амплітуди. При подачі цієї напруги на вхід ПВВ на екрані з'являються дві горизонтальні паралельні лінії. Відстань між лініями, пропорційна по-

двійній амплітуді напруги, що калібрується, може регулюватися. Порівнюючи амплітуди напруги, що калібрується і досліджуваного сигналу, можна проводити вимірювання останнього.

Масштаб часу осцилограми задається генератором міток часу КТ, що є в більшості випадків генератором синусоїдальних коливань стабільної частоти, синхронізованим з напругою розгортки. Синусоїдальні коливання перетворюються в імпульси з точно відомим періодом проходження. Імпульси подаються в канал Z і модулюють яскравість свічення зображення, даючи яскраві плями на осцилограмі через певні проміжки часу. По чергуванню темних і світлих ділянок (міток часу) можна визначити тривалість досліджуваного процесу.

Ручки управління основними вузлами осцилографа (ГР, ПВВ, ПГВ, КА, КТ і так далі), а також затискачі або коаксіальні входи для приєднання зовнішніх ланцюгів зазвичай розташовуються на передній панелі приладу.



Рисунок 5 - Зовнішній вигляд аналогового осцилографу

Похибка визначення масштабу часу і амплітуди в сучасних осцилографах характеризується рівнем 5—10% (табл.1).

Таблиця 1. Метрологічні характеристики осцилографів

ПАРАМЕТР	НОРМИ ДЛЯ ОСЦИЛОГРАФУ КЛАСУ ТОЧНОСТІ			
	1	2	3	4
Основна похибка вимірювання напруги, %, не більше	3	5	10	12
Основна похибка коефіцієнту відхилення, %, не більше	2,5	4	8	10

2.Цифрові осцилографи

Останнім часом цифрові осцилографи, які мають великий ряд переваг, витісняють аналогові прилади зі світового ринку, але все-таки традиційні аналогові осцилографи реального часу не зникають повністю, насамперед із-за низької вартості порівняно з цифровими осцилографами. Плюс до цього з розвитком елементної бази аналогові осцилографи придбали ряд важливих додаткових функцій і можливостей, наприклад, курсори з цифровим відліком величин (напруги і часу), що надзвичайно полегшують роботу, і дуже зручне цифрове управління. За допомогою вхідного мультиплексора для декількох каналів можна досить просто організувати єдину розгортку на однолучевій трубці з відображенням декількох сигналів

Цифрові осцилографи, що запам'ятовують

В порівнянні з аналоговими попередниками вони мають ширші можливості, а завдяки зниженню вартості цифрових схем з кожним роком вони стають доступнішими потенційним покупцям. У загальному вигляді цифровий осцилограф складається з вхідного дільника, нормалізуючого підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, блоку пам'яті, пристрою управління і пристрою відображення. Пристрій відображення зазвичай виконується на основі рідкокристалічної панелі (див. рис.15,16)

Цифрові осцилографи мають більш широкі можливості за рахунок самого принципу роботи. Вхідний сигнал після нормалізації перетвориться в цифрову форму і записується в пам'ять. Швидкість запису (кількість вибірок у секунду) задається пристроєм управління, і її верхня межа визначається швидкодією аналого-цифрового перетворювача, а нижня межа теоретично не обмежена, на відміну від аналогових осцилографів. Повне оцифрування сигналу дозволяє уникнути відображення сигналу в реальному масштабі часу і, отже, підвищити стійкість зображення, організувати збереження результатів, спростити масштабування і розтяжку, ввести мітки. Використання дисплея замість осцилографічної трубки відкриває можливість для відображення будь-якої додаткової інформації і управління приладом за допомогою меню.

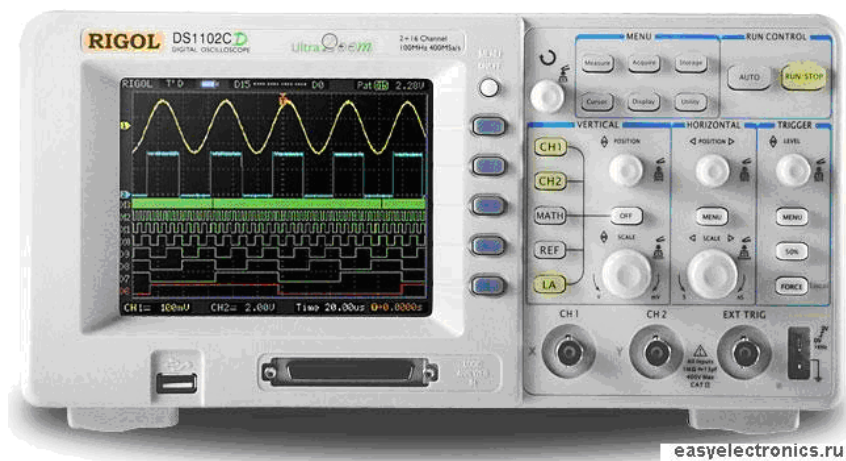


Рисунок 6 - Зовнішній вигляд цифрового осцилографу

Характеристики сучасних цифрових осцилографів:

- висока чутливість (від 1 мВ/дел) і дозвільна спроможність (від 8 до 14 біт);
- широкий діапазон коефіцієнтів розгортки (від 2 нс до 50 с);
- розтяжка сигналу за часом або по амплітуді в широких межах;
- розвинена логіка синхронізації з будь-якими затримками запуску розгортки.

Окрім звичайних схем запуску синхронізації запуск може проводитися, наприклад, при настанні певної події або при його відсутності, а також при досягненні певного значення параметра сигналу. Сигнал, по якому здійснюється синхронізація, і основний сигнал можна спостерігати у момент безпосередньо перед запуском розгортки.

Цифрові люмінофорні осцилографи

Цей клас цифрових осцилографів використовує нову архітектуру побудови, яка базується на технології «цифрового люмінофора». Ця технологія в цифровій формі імітує властиву аналоговим осцилографам реального часу зміну інтенсивності зображення. Іншими словами, цифрові люмінофорні осцилографи дозволяють розробникам бачити на екрані, наприклад, модульовані сигнали і всі їх тонкі деталі, як і аналогові осцилографи реального часу, забезпечуючи при цьому їх зберігання, вимірювання і аналіз, як цифрові осцилографи, що запам'ятовують. Як і інші сучасні цифрові осцилографи, люмінофорні осцилографи мають пам'ять, в якій, зокрема, зберігаються значення різниці часів затримок між різними пробниками.

Цифрові стробоскопічні осцилографи

В цьому класі приладів використовується принцип послідовного стробування миттєвих значень сигналу для перетворення (стискування) його спектру; при кожному повторенні сигналу визначається (відбирається) миттєве значення сигналу в одній точці. Стробоскопічні осцилографи найбільш широкосмугові (значення смуги пропускання може становить 100 ГГц) і дозволяють досліджувати періодичні сигнали з мінімальною тривалістю. Але слід зазначити, осцилографи цього класу є дуже дорогими, а тому використовуються, як правило, для вирішення складних технічних і виробничих проблем.

Віртуальні осцилографи

Новий клас осцилографів, що базується на використанні персонального комп'ютера, який може бути як зовнішнім приладом з USB або паралельним портом введення-виводу даних, або ж внутрішнім додатковим приладом на основі PCI або ISA карт. Програмне забезпечення будь-якого віртуального осцилографа дає можливість повного управління приладом, а також надає

ряд сервісних можливостей, наприклад, експорт/імпорт даних, математична обробка сигналів, розширені вимірювання, цифрова фільтрація і так далі. Різні серії осцилографів на базі ПК можуть використовуватися для дуже широкого спектру вимірювань, зокрема при розробці і обслуговуванні радіоелектронної апаратури, в сферах телекомунікацій і зв'язку, при виробництві комп'ютерної техніки, при діагностиці автотранспортних засобів на станціях техобслуговування і багато інших, в яких необхідно тестувати і оцінювати перехідні, нестійкі процеси, що відбуваються. Враховуючи ключові переваги – високу швидкість, малі габарити, легкість у використанні і невисоку вартість, можна стверджувати, що дані прилади – гідна альтернатива традиційним цифровим осцилографам, що запам'ятовують. Недоліком приладу є неможливість побачити і зміряти постійну складову сигналів.

Завдяки вище викладеним перевагам цифрові осцилографи зайняли міцні позиції у виробництві контрольній – вимірювальних приладів і майже витіснили з ринку аналогові осцилографи. За даними компанії Frost & Sullivan, частка продажів цифрових осцилографів на світовому ринку в 2007 році складала 87,4%, тоді як для аналогових приладів названа цифра 2,8%. На сьогоднішній день в світі існує немало фірм, які займаються розробкою цифрових осцилографів досить давно і пропонують хорошу, сертифіковану, багатофункціональну продукцію. Але із споживчої точки зору вагомим недоліком цих проділів є достатньо висока їх вартість.



Рисунок 7 - Портативний цифровий осцилограф

Практичне заняття № 6

Тема: «Стисла характеристики та класифікація інформації та її носіїв».

Навчальні питання:

1. Інформація.
2. Носії для запису та зберігання інформації

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять:

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
2. Державні стандарти України.
3. Слайд-проектор.
4. Екран.

Місце проведення: учбова аудиторія або комп'ютерний клас, час проведення: 2 год.

1. Інформація.

Системне уявлення щодо інформації потребує її системної характеристики і класифікації. Враховуючи багатозначність цього поняття, можна використовувати багато критеріїв для його характеристики. Інформацію можна розділити за видами, галузями, джерелами і т. ін.

Так, Закон України "Про інформацію" розподіляє інформацію за такими галузями, як: політична, економічна, духовна, науково-технічна, соціальна, екологічна, міжнародна.

До основних характеристик інформації можна віднести: цільове призначення, обсяг, цінність, повноту, надійність, вірогідність, надмірність, швидкість передавання та переробки інформації.

Цільове призначення інформації є однією з важливіших її характеристик, оскільки одна і та ж інформація часто використовується з різною метою. Наприклад, одні і ті ж дані можуть бути використані як для аналізу оперативної обстановки, так і для проведення оперативно-пошукових заходів.

Для передачі та обробки інформації важливого значення набуває її обсяг, котрий в простішому випадку залежить від кількості знаків (символів), що передаються.

Цінність інформації багато в чому визначається як своєчасністю її передачі, ступенем впливу на рішення, що приймається на її основі, так і важливістю самого рішення. Цінність інформації залежить також від ряду інших характеристик інформації: повноти, надійності, вірогідності.

Характеристика, що називається повнотою, використовується для визначення змісту найбільш істотних параметрів інформації, що передається. Інформація вважається повною, якщо вона відповідає обсягу, що потребується. Невідповідність між інформацією, яка викликана і яка здобута,

свідчить або про неповноту, або про надлишок інформації.

За допомогою надійності характеризується наявність помилок в інформації, що передається. Надійність багато в чому залежить від технічних засобів, що використовуються.

Інформація може відповідати чи неповністю відповідати тому об'єктові, явищу чи процесу, котрий вона відображає. Для визначення ступеня відповідності використовують характеристику, яку називають вірогідністю.

Під надмірністю інформації розуміється збільшення обсягів даних, що передаються, але які не спричиняють одержання додаткових нових відомостей.

І нарешті, остання характеристика – швидкість передавання та переробки інформації. Вона залежить від швидкості технічних засобів та систем, що використовуються.

Інформація складається з повідомлень. Повідомлення – це форма подання інформації. Вони (повідомлення) можуть бути у вигляді мови, тексту, графіків, таблиць і т. ін. Осіб, які зацікавлені у місті повідомлень, прийнято називати споживачами інформації. Повідомлення цілеспрямовано передаються від джерела (створювача) інформації до споживача через інформаційні комунікації.

У науковій літературі прийнято розрізняти інформаційні комунікації як формальні і неформальні. Перші здійснюються за допомогою спеціально створених організацій: інформаційних служб, бібліотек, друку, теле- і радіомовлення. Другі – це особисті зустрічі, телефонні розмови, листування, тобто зв'язки, що виникають безпосередньо між створювачами та споживачами інформації.

Існують різні підходи до класифікації повідомлень. Наприклад, за формою подання повідомлення можуть бути документальні і не документальні. Історично спочатку виникли не документальні повідомлення. Вони передаються за допомогою мови, жестів і навіть запахів. Для їх передачі використовуються насамперед неформальні канали. Сьогодні для передачі не документальних повідомлень часто використовують такі технічні засоби, як радіо і телефон.

Їхнім достоїнством передусім є оперативність, вибірковість, швидкий та надійний зворотний зв'язок. До недоліків відносять неможливість об'єктивної перевірки вірогідності та довгострокового зберігання, обмежене коло поширення інформації.

Перераховані недоліки відсутні в документальних повідомленнях, оскільки в них інформація «задокументована» – представлена у вигляді тексту, набору цифрових даних, магнітних записів і т. н..

Повідомлення бувають як «безперервні», так і «дискретні». «Безперервність» – це відсутність проміжків. Наприклад, напруга в мережі перемінного струму може дорівнювати 220в, 225в, 210в або бути якоюсь іншою, але перехід протягом часу від 250в до 210в здійснюється не стрибкоподібно, а безперервно, через множину проміжних визначень. Аналогічно змінюється значення сили струму, температури повітря.

Крім безперервних величин, існують величини з фіксованим набором елементів. Наприклад, кількість працівників міліції, кількість патрульних автомобілів і т. д. Подібні величини є «дискретними» і позначаються різними літерами, цифрами, символами. Якщо в дискретному повідомленні є цифри, то таку інформацію називають цифровою. Існують спеціальні способи, які дозволяють подати в цифровій формі як дискретні, так і безперервні величини повідомлення.

Всю інформацію ділять на види залежно від сфери виникнення, способу передавання й сприйняття, а також за соціальним призначенням.

Прийнято розрізняти три види інформації відповідно до сфери її виникнення; елементарна нежива природа; біологічна (світ тварин і рослин); соціальна (людське суспільство). Крім того, інформацію умовно поділяють на естетичну та семантичну.

Естетична інформація зобов'язана своїм походженням виникаючим у природі різним сполученням звуків, запахів, світла, кольорів і тіней. Різні твори мистецтва (музика, живопис, література) також відносять до естетичної інформації.

Семантична інформація виникає в результаті різної діяльності людей. В правоохоронній сфері прикладом семантичної інформації може бути повідомлення про вчинений злочин. Інформація, яка зібрана на місці злочину, також є семантичною. Вона – результат криміналістичної діяльності працівників органів внутрішніх справ.

Залежно від способу передачі та сприйняття можна виділити такі види інформації:

- візуальна (передається і сприймається візуальними образами);
- аудіоальна (звуками);
- тактильна (відчуттями);
- смакова (запахами);

У наші дні найпоширенішим носієм інформації є папір. На ньому друкуються газети, журнали, книги. Для фіксування інформації застосовуються добре всім знайомі олівець та ручка, а також такі технічні засоби, як друкарська машинка, магнітофон, диктофон. Інформація може бути записана за допомогою пробивки отворів за спеціальним правилом (кодом) на паперових перфораційних картках і стрічках. Носіями інформації є також креслення, схеми, карти, електротабло.

Для наочного відображення інформації можуть бути використані також інші технічні засоби: світлові планшети, проектори і діaproектори, автоматичні довідкові установки, засоби для читання мікрофільмів. В останню чверть сторіччя у зв'язку з широким застосуванням ЕОМ як носії інформації використовують магнітні стрічки і диски (дискети).

Передавання інформації здійснюється як шляхом пересилання носія інформації споживачу (наприклад, доставка газет поштою), так і за допомогою проводового та радіозв'язку (телефон, радіо, телебачення). У перспективі з цією метою широко використовуватимуться супутникові та оптоволоконні лінії зв'язку.

Для здобуття та передавання інформації використовуються телефон, телетайп, телефакс, радіостанції, поштовий та фельд'єгерський зв'язок, промислове телебачення.

Особливе місце в інформаційних відносинах належить документу. Згідно із Законом України «Про інформацію» документ – «це передбачена законом матеріальна форма одержання, зберігання, використання і поширення інформації шляхом фіксації її на папері, магнітній, кіно-, відео-, фотоплівці або на іншому носіїві» (16).

Для копіювання та розмноження паперових документів, які складають основну масу документів у органах внутрішніх справ використовуються сучасні технічні засоби (типу «Ксерокс»), а для їхнього знищення (паперових документів) – спеціальні пристрої. Джерелами інформації, що надходить у органи внутрішніх справ, можуть бути окремі громадяни, трудові колективи, установи (лікарні, суди і т. п.), інші правоохоронні органи. Інформація поступає як у вигляді усних повідомлень, так і у вигляді документів: заяв, протоколів, повідомлень і т. ін.

2. Носії для запису та зберігання інформації

Носій інформації (data medium) — матеріальний об'єкт або середовище, призначений для отримання, обробки, зберігання та поширення інформації. Останнім часом носіями інформації називають переважно пристрої, призначені для зберігання файлів даних у комп'ютерних системах, відрізняючи їх від пристроїв для введення-виведення інформації та пристроїв для обробки інформації. Це не зовсім вірно, бо інформація поширюється з допомогою носіїв (на носіях). І лінії зв'язку, і повітря (для акустичних хвиль) і вакуум (для електромагнітних хвиль, - це все носії, які порівняно тривало отримують в себе (на себе) інформацію.

За формою сигналу, який використовується для запису та зберігання інформації, розрізняють аналогові та цифрові носії. Для перезапису інформації з аналогового носія на цифровий чи навпаки необхідно застосовувати аналогово-цифрове чи цифро-аналогове перетворення сигналу.

За призначенням розрізняють носії:

- для використання на різних пристроях;
- монтовані у певний пристрій.

За стійкістю запису і можливістю перезапису:

- постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗП), зміст яких не може бути змінено кінцевим користувачем (наприклад, CD-ROM, DVD-ROM). ПЗП в робочому режимі допускає тільки зчитування інформації;

- записувані пристрої, у які кінцевий користувач може записати інформацію тільки один раз (наприклад, CD-R, DVD-R, DVD+R, BD-R);

- пристрої для перезапису (наприклад, CD-RW, DVD-RW, DVD+RW, BD-RE, магнітна стрічка) тощо.

Оперативні пристрої забезпечують режим запису, зберігання й зчитування інформації в процесі її обробки. Швидкі, але дорогі ОЗП (SRAM, статичні ОЗП) будуються на основі тригерів, повільніші, але дешеві різновиди

(DRAM, динамічні ОЗП) будуються на основі конденсатора. В обох видах оперативної пам'яті інформація зникає після відключення від джерела струму. Динамічні ОЗП потребують періодичного оновлення вмісту - регенерації.



Аналогові носії інформації - магнітофонна бабіна, касета



Цифрові носії інформації - компакт-диски, дискета, карти пам'яті

За фізичним принципом:

- перфораційні (з отворами або вирізами) - перфокарта, перфострічка
- магнітні - магнітна стрічка, магнітні диски
- оптичні - оптичні диски CD, DVD, Blu-ray Disc
- магнітооптичні - Магнітооптичний компакт-диск (CD-MO)
- електронні (використовують ефекти напівпровідників) - карти пам'яті, флеш-пам'ять

За конструктивними (геометричними) особливостями:

- дискові (магнітні диски, оптичні диски, магнітооптичні диски)
- стрічкові (магнітні стрічки, перфострічки)
- барабанні (магнітні барабани)
- карткові (банківські картки, перфокарти, флеш-карти, смарт - картки)

Іноді носіями інформації також називають об'єкти, читання інформації з яких не потребують спеціальних пристроїв - наприклад паперові носії.