

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

“Рекомендовано методичною радою ОДЕКУ
Міністерства освіти і науки України як
конспект лекцій (прот.№ від __ .____. 2018)

В.В.Курятников, А.М.Кільян

СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ДОВКІЛЛЯ

Конспект лекцій

Одеса 2018

ББК 31.2
К 93
УДК 621.3

Курятников В.В., Кільян А.М. Системи та прилади контролю параметрів довкілля: Конспект лекцій для студентів за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища» / Одеса: ОДЕКУ, 2018, 73 с.

Конспект лекцій спрямований на поліпшення засвоєння студентами матеріалів спеціальної дисципліни “Системи та прилади контролю параметрів довкілля”.

В конспекті розглядаються питання, що стосуються вимірювальних систем та приладів контролю параметрів довкілля, зокрема контролю радіаційного забруднення.

Конспект допомагає засвоїти методи та прилади контролю стану об’єктів навколишнього середовища, вимірювань доз та потужностей доз випромінювання в умовах підвищеної радіаційної безпеки. Він допомагає здійснювати оцінку результатів вимірювання, необхідних студентам для адекватного аналізу небезпечних екологічних ситуацій та побудування достовірного прогнозу.

Конспект лекцій з дисципліни “Системи та прилади контролю параметрів довкілля” призначений для студентів 2-го року денної форми навчання бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища”.

© Курятников В.В., Кільян А.М., 2018
© Одеський державний екологічний
університет, 2018

Зміст

Вступ	5
1. Об'єкти навколишнього середовища та методи вимірювання	6
1.1 Основні компоненти біосфери. Фактори та параметри навколишнього середовища. Абіотичні параметри – атмосферні, гідрографічні, едафічні. Класифікація вимірювань	6
1.2 Похибки вимірювань і обробки результатів вимірювань. Імовірнісні оцінки похибки результату вимірів на підставі ряду спостережень. Статистичний аналіз даних моніторингу. Випадкова та систематична похибки. Пиладова похибка. Класи точності приладів	8
1.3 Загальні відомості про електричні виміри. Визначення і класифікація засобів вимірювань. Структурні схеми засобів вимірювань.	11
1.4 Вимірювання електричних величин аналоговими приладами. Принцип дії, основи теорії і застосування вимірювальних механізмів. Масштабні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання постійних струмів, напруг і кількості електрики	15
1.5 Вимірювання змінних струмів і напруг електромеханічними та магнітоелектричними приладами Вимірювання потужності, енергії, кута зсуву фаз і частоти. Вимірювання параметрів електричних ланцюгів. . .	18
2. Вимірювання та реєстрація електричних величин.	21
2.1 Вимірювання та реєстрація електричних величин, що змінюються в часі. Самописні прилади прямої дії. Осцилографи та їх застосування . .	21
2.2 Вимірювання електричних величин методами перевірки мірою. Загальна теорія мостових схем. Мости для вимірювання опору на постійному струмі. Мости змінного струму для вимірювання ємності та кута втрат конденсаторів, індуктивності і добротності котушок і частоти. Потенціометри (компенсатори) постійного струму для вимірювання ЕРС, напруг, струмів і опорів. Потенціометри змінного струму для вимірювання комплексних значень ЕРС, напруг і опорів. Автоматичні мости і потенціометри.	23
2.3 Вимірювання фізичних величин цифровими приладами. Основні характеристики цифрових приладів. Вузли цифрових приладів. Цифрові прилади . Цифрові прилади порозрядного врівноваження (кодо-імпульсу). Цифрові прилади зчитування. Друкуючі і пристрої, що запам'ятовують. Характеристики сучасних цифрових приладів і аналого-цифрових перетворювачів	25
2.4 Вимірювання магнітних величин. Визначення статичних та динамічних характеристик магнітних матеріалів, зокрема, на підвищених і високих частотах і в режимі імпульсного намагнічування	30

2.5 Генератори електричних імпульсів. Релаксаційні генератори. Мультивібратори. Параметричні вимірювальні перетворювачі. Генераторні вимірювальні перетворювачі	32
3. Вимірювання неелектричних величин. Інформаційні системи. Системи автоматичного контролю	34
3.1 Вимірювання неелектричних величин. Вимірювання температури, вологості. Інсоляція та актинометричні прилади. Вимірювання тиску, витрат газу та води, швидкості водних і повітряних потоків. Вимірювання геометричних і механічних величин. Вимірювання концентрації рідкої і газоподібної середовища. Вимірювання радіоактивності та доз випромінювання.	34
3.2 Вимірювання та контроль фізичних величин вимірювальними інформаційними системами. Основні блоки вимірювальних інформаційних систем. Вимірювальні системи автоматичного контролю. Телевимірювальні системи.	54
3.3 Основи вимірювань імовірнісних характеристик випадкових процесів: математичного очікування, дисперсії випадкового процесу, функцій розподілу ймовірності, кореляційної функції. Гамма-спектроскопія. Гамма-спектрометри. Аналізатори імпульсів.	58
3.4 Комплектні лабораторії. Державна система промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП). Системи передачі вимірювальної інформації	66
Література	72

Вступ

Навчальна дисципліна “Системи та прилади контролю параметрів довкілля” є обов’язковою, професійно орієнтованою для спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища” бакалаврського рівня вищої освіти.

Мета конспекту з навчальної дисципліни “Системи та прилади контролю параметрів довкілля”: ознайомлення студентів з основними поняттями і визначеннями метрології в частині вимірювальної техніки, методів вимірювань і похибки засобів вимірювань, з основними принципами роботи промислових приладів і засобів автоматизації.

Конспект допомагає засвоїти знання систем та приладів контролю стану об’єктів навколишнього середовища, вимірювань доз та потужностей доз випромінювання в умовах підвищеної радіаційної безпеки.

Після вивчення матеріалу дисципліни студент зобов’язаний:

- **знати:** основні поняття і визначення метрології в частині вимірювальної техніки, методів вимірювань і похибки засобів вимірювань, основні принципи роботи промислових приладів і засобів автоматизації.
- **вміти:** поводитися з приладами для вимірювання параметрів навколишнього середовища.

Конспект націлений на формування наступних компетенцій:

Компетенції (шифри загальних компетенцій у ОПП, формування яких забезпечує дисципліна “Системи та прилади контролю параметрів довкілля”) - К-13:

- здатність використовувати сучасні прилади та обладнання для вимірювання параметрів навколишнього середовища;

- знання основних принципів роботи вимірювальної техніки, її конструктивних особливостей.

Конспект лекцій, що читається студентам за спеціальністю навчання, є основним допоміжним матеріалом для самостійної роботи, яка включає:

- підготовку до лекційних і практичних занять;
- підготовку до написання контрольних робіт;
- підготовку до атестаційного заходу.

Для отримання задовільної оцінки при проведенні контрольних заходів студентам достатньо показати своє володіння знаннями і вміннями.

Базові знання	Вміння
методів і похибки засобів вимірювань, основні принципи роботи промислових приладів і засобів автоматизації.	поводитися з вимірювальними приладами та системами; за їх допомогою визначати параметри навколишнього середовища.

1. Об'єкти навколишнього середовища та методи вимірювання

1.1 Основні компоненти біосфери. Фактори та параметри навколишнього середовища. Абіотичні параметри – атмосферні, гідрографічні, едафічні. Класифікація вимірювань

Контроль параметрів довкілля передбачає слідкування за відхиленнями стану навколишнього середовища від норм внаслідок матеріальних або енергетичних забруднень. Будемо розглядати навколишнє середовище перш за все, як частину простору, у якій живуть та розвиваються людина та інші живі організми. Ця частина простору у термінах сучасної класифікації [1–8] являє собою **біосферу**. Термін “environment” (“навколишнє середовище”) походить від французьких environ або environner, що означають навколо, кругом, оточувати. Таким чином, термін “навколишнє середовище ” передає сукупність всіх зовнішніх факторів, що впливають на живий організм.

Біосфера – оболонка Землі, що включає нижню частину атмосфери, гідросферу і верхні шари літосфери, склад, структура й енергетика яких значною мірою зумовлені попередньою та сучасною життєдіяльністю живих організмів.

Біосферу поділяють на три середовища: атмосферу – шар повітря, який складає периферійну оболонку планети та оточує два інших середовища; гідросферу – водну оболонку Землі (Світовий океан, ріки, озера та підземні води); літосферу – середовище, обмежене верхніми шарами земної поверхні, тобто твердою поверхню материків.

Атмосфера є одним із найважливіших для життя компонентів біосфери. Вона пропускає та змінює сонячну енергію, що управляє нашим кліматом; діє як захисний екран від метеоритних атак і шкідливого ультрафіолетового випромінювання; забезпечує польоти птахів і комах, поширення насіння та спор. Атмосфера – суміш газів, суспендованих твердих та рідких частинок. Спрощено атмосферу можна уявити як сухе повітря разом з водяною парою. Вона складається з кількох верств, а саме: тропосфери, стратосфери, мезосфери та термосфери. Атмосфера регулює клімат на планеті, запобігаючи перегріванню та охолодженню й підтримуючи середню температуру поверхні близько 14 °С. Важливою компонентою атмосфери є водяна пара. Її концентрація коливається від 5% в полярних широтах до 3 % на екваторі.

Гідросфера характеризується певним складом та розподілом водних мас. Вода – одна з найпоширеніших речовин у природі, що входить до складу живих організмів, зумовлюючи перебіг у них різноманітних реакцій. Бере участь у кругообігу в природі, забезпечуючи життєдіяльність людини, тварин, рослин, мікроорганізмів.

Літосфера має товщину 50-200 км. Її верхня частина, що містить живу речовину, входить до складу біосфери. Важливим компонентом літосфери

є ґрунт – верхній шар земної кори, який утворюється і розвивається внаслідок взаємодії рослинності, тварин, мікроорганізмів, гірських порід і є самостійним природним утворенням. Важливою властивістю ґрунту є його родючість. Більшість живих організмів та їх відходи сприяють процесам, що відбуваються в ґрунті. Так, активність мікроорганізмів перетворює відходи в основні компоненти ґрунту. Без цієї активності неможливий кругообіг вуглецю або азоту, важливих для життя на землі. Ґрунт – це тонкий шар земної поверхні. Його товщина, фізичні та хімічні властивості різні у кожній місцевості. Загалом до складу ґрунту входять п'ять основних компонентів: неорганічні мінеральні частини, органічні залишки, вода, гази, біологічні системи.

Крім того, біосфера характеризується фауною та флорою. В біосфері мешкає близько 10000 видів рослин, 3000 видів ссавців, 25000 видів птахів, ще більше видів риб, близько мільйона видів комах. Ці живі організми утворюють біоценоз, а специфічне фізико-хімічне їх оточення називається біотопом. Сукупність біотопу і біоценозу становить екосистему.

Навколишнє природне середовище – це сукупність природних і змінених діяльністю людини абіотичних та біотичних факторів, що безпосередньо або опосередковано діють на організм або популяцію організмів, та впливають на їх виживання і розвиток.

Фактори та параметри навколишнього середовища

Абіотичні фактори середовища – це компоненти та явища неживої, неорганічної природи, що впливають на живі організми. Їх можна поділити на такі:

1. Кліматичні (фізичні) фактори: атмосферний тиск; рух повітря, вітер; вологість; атмосферні опади; температура; сонячне випромінювання; іонізуюче випромінювання.

2. Атмосферні фактори – структура та склад атмосфери, фізичні й хімічні властивості атмосфери, здатні впливати на живі організми.

3. Гідрографічні фактори (фактори водного середовища) – фізичні та хімічні властивості води як середовища мешкання живих організмів.

4. Едафічні (ґрунтові) фактори – структура та склад ґрунтів, сукупність фізичних і хімічних властивостей ґрунту, що справляють екологічний вплив на живі організми.

Біотичні фактори середовища: сукупність впливів життєдіяльності одних організмів на життєдіяльність інших, а також на неживе середовище мешкання.

Забруднення – несприятлива зміна навколишнього середовища як цілковитий або частковий результат людської діяльності, що безпосередньо або опосередковано впливає на розподіл енергії та рівні радіації, фізико-хімічні властивості навколишнього середовища та умови існування живих істот. Під час різкої зміни забруднення можуть викликати

неспецифічну реакцію живого організму – стреси. Зазвичай абіотичні та біотичні фактори зазнають певних коливань. Коли ці коливання перевищують норми [21–25], мають місце стресові ситуації.

На стан навколишнього середовища суттєво впливають природні та техногенні порушення екологічної рівноваги, збільшення чисельності населення, процеси урбанізації та індустріалізації, розвиток енергетики, експлуатація військової та космічної техніки.

Вимірювання – сукупність операцій для визначення відношення однієї (вимірюваної) величини до іншої однорідної величини, прийнятої за одиницю, що зберігається в технічному засобі (засобі вимірювань).

Вимірювальний прилад – пристрій, що використовується для проведення вимірювань, окремо або у поєднанні з одним або декількома додатковими пристроями.

Система спостережень, оцінювання та контролю за станом природного середовища, що оточує людину, з метою розробки заходів щодо його охорони, раціонального використання природних ресурсів і запобігання критичним ситуаціям, шкідливим або небезпечним для здоров'я людей, існування живих організмів та їхніх суспільств, природних об'єктів і комплексів, а також прогнозування масштабів неминучих змін називається моніторингом.

1.2 Похибки вимірювань і обробки результатів вимірювань. Імовірнісні оцінки похибки результату вимірів на підставі ряду спостережень. Статистичний аналіз даних моніторингу. Випадкова та систематична похибки. Приладова похибка. Класи точності приладів

Показання електровимірювального приладу завжди відрізняється від дійсного значення вимірюваної фізичної величини під впливом зовнішніх чинників.

Істинне значення фізичної величини – це значення, яке ідеально відображує властивість фізичного об'єкту. Виходячи з цього, ідеальне значення фізичної величини неможливо визначити експериментально, але можна наближатися до нього шляхом підвищення якості вимірювання. Тому то для характеристики вимірювання користуються поняттям «дійсне значення фізичної величини».

Відхилення показання приладу від дійсного значення вимірюваної фізичної величини є *похибкою приладу*.

Розглянемо основні види похибки приладу.

Абсолютна похибка приладу (вимірювання) - це різниця між показаннями приладу та дійсним значенням фізичної величини, що вимірюється. Чисельне значення похибки визначається за формулою:

$$\Delta A = A_{\text{п}} - A, \quad (1)$$

де ΔA – абсолютна похибка;

$A_{\text{п}}$ – показання приладу;

A – дійсне значення фізичної величини, що вимірюється.

Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки приладу (**вимірювання**) до дійсного значення фізичної величини, що вимірюється. Чисельне значення похибки визначається за формулою:

$$\beta_{II} = \frac{\Delta A_{II}}{A_d} \cdot 100\% \quad (2)$$

Клас точності приладу є узагальненою характеристикою точності приладу.


Умовні позначення класу точності:

1,5 – клас точності приладу в діапазоні вимірювання;

 - клас точності приладу від одного показання;

|2,5| - клас точності приладу від інтервалу вимірювань;

•

 клас точності приладу від довжини шкали.

Стандартний ряд класу точності електровимірювального приладу:

0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 6,0; 10,0.

Похибки процесу вимірювань

Внаслідок неідеальності методів та засобів вимірювань, особливостей експерименту, впливу зовнішніх чинників результат вимірювання завжди відрізняється від дійсного значення фізичної величини, що вимірюється.

Абсолютна похибка вимірювання є сумою систематичної та випадкової похибок.

Систематична похибка – це складова загальної похибки вимірювання, яка залишається незмінною або закономірно змінюється з повторними вимірюваннями однієї і тієї ж величини та в однакових умовах. Причиною появи такою похибки можуть бути несправність вимірювальної апаратури, недосконаленість метода вимірювання, неправильна установка вимірювальних приладів та відхилення від нормальних умов їх роботи,

Випадкова похибка – це складова похибки вимірювання, яка змінюється випадковим чином, хаотично, нерегулярно при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини в однакових умовах. Наявність випадкових похибок виявляється при проведенні черги вимірювань цієї величини, коли можна признати, що результати вимірювань не співпадають друг з другом. Причиною цього може бути помилки оператора, виникнення сильних завад, товчків, порушення електричного контакту. Такий результат, який містить грубу похибку (промах) слід

виявити та виключити та не враховувати при подальшій статистичній обробці результатів вимірювання.

Існують загальні причини виникнення систематичних похибок, які поділяються на:

- *методичні похибки*, які виникають від невідосконаленості методу вимірювання;
- *інструментальні похибки*, які залежить від похибок засобів вимірювання, що застосовуються;

Основними способами зменшення систематичних похибок є:

- усунення причини виникнення систематичної похибки;
- застосування методу заміщення;
- використання незалежних методів вимірювання;
- застосування приладу високого класу точності;
- спосіб симетричних спостережень - застосування цього способу доцільно, коли зміна систематичної похибки за часом здійснюється за лінійним законом;
- рандомізація вимірювань - для усунення похибки необхідно виконувати два вимірювання у різні моменти часу;

Клас точності засобу вимірювання – це узагальнена характеристика, яка визначається границями похибки.

Для лічильників електричної енергії, шунтів, вимірювальних трансформаторів класи точності нормуються у вигляді допустимої відносної похибки.

Для високоточних вимірювальних мостів, магазинів опорів, цифрових приладів, компенсаторів допустима відносна похибка визначається по двочленній формулі в залежності від діапазону вимірювання

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right]$$

де c , d – постійні числа, які указуються на приладі або в паспорті до приладу;

X_k – межа виміру, на якій виконуються вимірювання;

X – значення вимірюваної величини.

У таблиці зведені границі допустимої основної похибки аналогових приладів в залежності від класу точності.

Границі основної допустимої похибки аналогових приладів в залежності від класу точності

Клас точності	0,05	0,1	0,2	0,5		1,5	2,5	
Основна похибка	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0

Клас точності засобів вимірювання характеризує їх властивості у відношенні точності, а не являється безпосереднім показником точності

вимірювань, що виконані за допомогою цих засобів. При вимірюваннях в нормальних умовах відносна похибка дорівнює:

$$\delta = \gamma \cdot \frac{A_1}{A_{\text{ном}}}$$

де γ - зведена похибка приладу, що визначається його класом точності.

Статистичний аналіз даних вимірювань [15,20] є одним з основних елементів екологічного моніторингу.

1.3 Загальні відомості про електричні виміри. Визначення і класифікація засобів вимірювань. Структурні схеми засобів вимірювань

Засіб вимірювань - технічний засіб, призначений для вимірювань, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює і (або) зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої беруть незмінним (в межах встановленої похибки) протягом відомого інтервалу часу. Засіб вимірювань визначено як технічний засіб, призначений для вимірювань..

1. Класифікація засобів вимірювань

А) За технічним призначенням:

- вимірювальний прилад - засіб вимірювань, призначений для отримання значень вимірюваної фізичної величини в установленому діапазоні;
- вимірювальний перетворювач - технічний засіб з нормативними метрологічними характеристиками, що служить для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, зберігання, подальших перетворень, індикації або передачі;
- вимірювальна установка - сукупність функціонально об'єднаних заходів, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та інших пристроїв, призначена для вимірювань однієї або декількох фізичних величин і розташована в одному місці
- вимірювальна система - сукупність функціонально об'єднаних заходів, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів, ЕОМ та інших технічних засобів, розміщених в різних точках контрольованого об'єкту і т. п. з метою вимірювань однієї або декількох фізичних величин, властивих цьому об'єкту, і вироблення вимірювальних сигналів в різних цілях;
- вимірювально-обчислювальний комплекс - функціонально об'єднана сукупність засобів вимірювань, ЕОМ і допоміжних пристроїв,

призначена для виконання у складі вимірювальної системи конкретної вимірювальної завдання.

Б) За ступенем автоматизації :

- автоматичні;
- автоматизовані;
- ручні.

В) За стандартизації засобів вимірювань:

- стандартизовані;
- нестандартизовані.

Г) За положенням у повірочній схемі :

- еталони;
- робочі засоби вимірювань.

Д) За вимірювальним фізико-хімічними параметрами:

- для вимірювання температури;
- тиску;
- витрати та кількості;
- концентрації розчину;
- для вимірювання рівня та ін..

2. **Метрологічні характеристики засобів вимірювань**

Метрологічними характеристиками називаються такі технічні характеристики, які описують ці властивості і мають вплив на результати і на похибки вимірювань. Вони призначені [17–18] для оцінки технічного рівня і якості засобу вимірювань, для визначення результатів вимірювань і розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірювань.

Структурні схеми вимірювальних приладів та систем

В сучасних засобах вимірювань здійснюються різноманітні та багатоетапні перетворення сигналів вимірювальної інформації. Для аналізу складних перетворень сигналів у засобах вимірювань доцільно перетворення сигналів поділити на низку простих елементарних операцій над вимірювальними сигналами. Кожній операції відповідає *ланка* структури, яка графічно ілюструє дану операцію над вхідним X сигналом для отримання вихідного сигналу Y – рис. 1

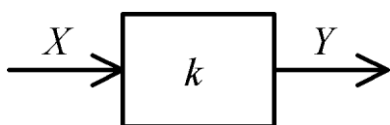


Рис.1 Ланка структури засобу вимірювань

Як наслідок, складний, багатоетапний, процес перетворення інформації у вимірювальному пристрої зображується графічно у вигляді *структурної схеми* або *структури вимірювального пристрою* – рис. 2.

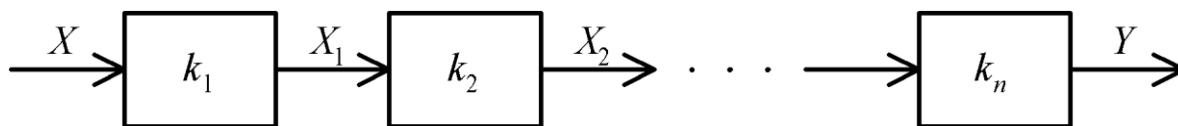


Рис.2 Структура вимірювального пристрою (структурна схема)

Структурна схема вимірювального пристрою – це схема, що відображає його основні функціональні частини (структурні елементи) та їх призначення та взаємозв’язки.

За структурою вимірювальні пристрої можна поділити на два типи:

- пристрої прямого перетворення;
- пристрої зрівноважувального (компенсаційного) перетворення;
- пристрої комбінованого перетворення.

Пряме перетворення характеризується тим, що вимірювальна інформація передається тільки в одному напрямі – від входу до виходу без зворотного зв’язку між ними. Сигнал послідовно етап за етапом перетворюється і на виході має форму, яка доступна для безпосереднього сприйняття експериментатором. Результивний коефіцієнт перетворення засобу вимірювань за такою структурою за умови, що всі перетворювальні елементи мають лінійні функції перетворення, дорівнює добутку коефіцієнтів перетворення окремих перетворювачів структури

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \quad (2.1)$$

Результивна відносна похибка дорівнює сумі відносних похибок від окремих перетворювальних елементів

$$\delta = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta k_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta k_n}{k_n} \quad (2.2)$$

Зрівноважувальне перетворення – це перетворення, при якому вхідна величина врівноважується іншою однойменною величиною.

Структурна схема вимірювальних колів вимірювання наведена на рис. 3-5;

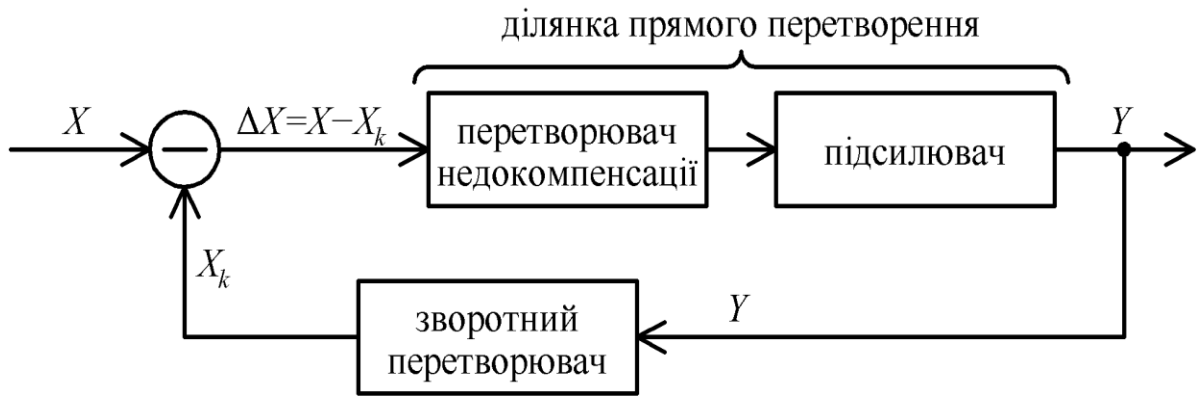


Рис. 3 Структурна схема вимірювального кола засобу вимірювання слідкувального (статичного) зрівноважувального перетворення

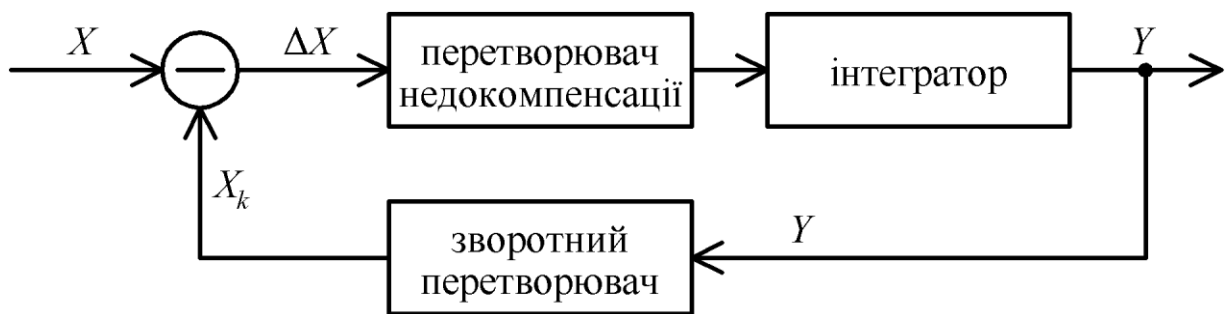


Рис.4 Структурна схема вимірювального кола засобу вимірювання астатичне зрівноважування

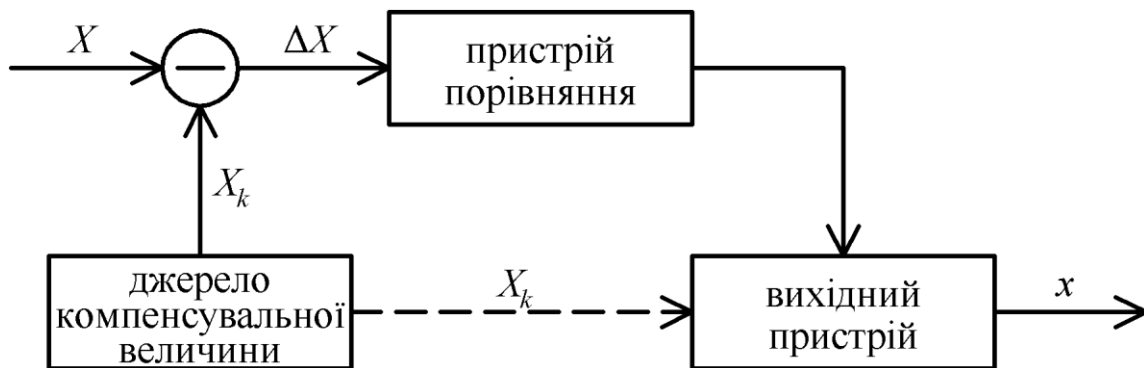


Рис.5 Структурна схема вимірювального кола засобу вимірювання розгортального зрівноважувального перетворення

При слідкувальному зрівноважувальному перетворенні вхідна величина X зрівноважується компенсувальною величиною, а саме $X_k = \beta \cdot Y$ ділянки зворотного перетворення. Слід відзначити, що величина Y - це вихідна величина ділянки прямого перетворення, а коефіцієнт β - це коефіцієнт перетворення зворотного перетворювача. На вхід ділянки прямого перетворення надходить різниця $\Delta X = X - X_k = X - \beta \cdot Y$

Результивний коефіцієнт перетворення засобу слідкувального зрівноважувального перетворення буде дорівнювати

$$K = \frac{Y}{X} = \frac{k\Delta X}{X_k + \Delta X} = \frac{k\Delta X}{k\beta\Delta X + \Delta X} = \frac{k}{1 + k\beta} \quad (2.3)$$

Відносна похибка дорівнює

$$\delta_K = \frac{dK}{K} = \frac{1}{1+k\beta} \delta_X - \frac{k\beta}{1+k\beta} \delta_\beta \approx \delta_\beta \quad (2.4)$$

Астатичне зрівноважувальне перетворення характеризується тим, що в ділянці прямого перетворення є інтегрувальний перетворювач, завдяки якому після закінчення процесу зрівноваження $\Delta X=0$, його вихідна величина Y стає рівною усталеному значенню, а значення величини, що вимірюється, можна оцінити як $X=X_i$.

У випадку розгортального зрівноваження компенсувальну величину генерує автономне джерело компенсувальної величини, яка змінюється автоматично до тих пір, поки ΔX стає таким малим, що починає реагувати пристрій порівняння і подає сигнал на вихідний пристрій про те, що $X=X_i$, а джерело компенсувальної величини подає сигнал про значення X_k .

1.4 Вимірювання електричних величин аналоговими приладами. Принцип дії, основи теорії і застосування вимірювальних механізмів. Масштабні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання постійних струмів, напруг і кількості електрики

Аналоговими вимірювальними приладами (АВП) називаються прилади покази яких є неперервними функціями вимірювальних фізичних величин. Залежно від елементної бази, використаної для їх побудови, АВП поділяються на електромеханічні та електронні.

Електромеханічні прилади принцип дії полягає у перетворенні електромагнітної енергії вимірювального сигналу в механічну енергію переміщення рухомої частини вимірювального механізму.

Електронні АВП звичайно будують на основі магнітоелектричного вимірювального механізму з використанням електронних вузлів - вимірювальних підсилювачів, перетворювачів змінного струму в постійний, функціональних перетворювачів тощо.

Комбіновані прилади призначені для вимірювання декількох величин.

Універсальні прилади працюють як на постійному, так і на змінному струмі.

Мультиметри вимірювальні прилади, призначені для вимірювання декількох електричних величин як на постійному, так і на змінному струмі

Масштабні вимірювальні перетворювачі

Застосування *вимірювальних перетворювачів фізичної величини* дає змогу зробити вимірювальний прилад багатофункціональним. Наприклад, застосувавши вимірювальний перетворювач середніх квадратичних значень, вимірювальний прилад можна зробити придатним для вимірювання як постійних, так і змінних струмів і напруг. Застосувавши вимірювальний перетворювач опору в напругу та шунт, можна зробити вольтметр універсальним і придатним для вимірювання не тільки напруги, а й струму і опору. Цей прийом широко й успішно застосовують для створення цифрових універсальних вольтметрів.

Сучасні універсальні цифрові вольтметри – це складні багатофункціональні вимірювальні комплекси, здатні вимірювати цілу низку фізичних величин. Водночас застосування сучасних цифрових і аналогових мікросхем і мікропроцесорів допомагає зробити ці прилади малогабаритними з живленням від гальванічних елементів.

Шунти. Щоб розширити діапазон вимірювання струмів амперметрами для більших струмів, застосовуються шунти.

Шунт— це низькоомний високостабільний резистор, який вмикається паралельно амперметру. З точки зору метрології, *шунт* — це вимірювальний масштабний перетворювач струму. Для зменшення похибки, зумовленої впливом температури, шунт виготовляється з манганіну, який має незначний температурний коефіцієнт опору.

Опір шунта $R_{ш}$ розраховується за заданим коефіцієнтом масштабного перетворення струму $k_I = I/I_A$ і відомим опором амперметра R_A за формулою

$$R_{ш} = \frac{R_A}{k - 1}$$

Приклад. Розрахувати опір шунта для розширення діапазону вимірювання струму до 100 А амперметром, опір якого $R_A = 0.1$ Ом, а діапазон вимірювання 0...5А. Коефіцієнт масштабного перетворення струму $k_I = 100\text{А}/5\text{А} = 20$. Опір шунта

$$R_{ш} = \frac{R_A}{k - 1} = \frac{0,1\text{Ом}}{20 - 1} = 0,005262 \text{ Ом}$$

Додаткові опори. Розширення діапазону вимірювання напруг вольтметром для більших напруг реалізується за допомогою *додаткових* високоомних і високо стабільних *резисторів*, які вмикаються послідовно з вольтметром. Додаткові резистори виготовляються з манганіну, який має малий температурний коефіцієнт опору, щоб зменшити температурну похибку

вимірювання. *Додатковий опір* є вимірювальним масштабним перетворювачем вхідної напруги U_x у вихідну напругу U_V , яку вимірює вольтметр. Масштабний коефіцієнт перетворення k_U визначається співвідношенням

$$K_U = \frac{U_V}{U_x}$$

Опір додаткового резистора $R_{\text{дод}}$ розраховується відповідно до заданого коефіцієнту перетворення k_U і відомого опору вольтметра R_V за формулою

$$R_{\text{дод}} = R_V \cdot \frac{1 - k_U}{k_U}$$

Приклад. Розрахувати опір додаткового резистора для розширення діапазону вимірювання напруги до 1000 В вольтметром, опір якого $R_V=20000$ Ом, а діапазон вимірювання 0...75В. Коефіцієнт масштабного перетворення напруги

$$K_U = \frac{U_V}{U_x} = \frac{75}{1000 \text{ В}} = 0,075$$

Опір додаткового резистора

$$R_{\text{дод}} = R_V \cdot \frac{1 - k_U}{k_U} = 2000 \cdot \frac{1 - 0,075}{0,075} = 246667 \text{ Ом}$$

Подільники напруги. Резистивні подільники напруги — це вимірювальні перетворювачі, які зменшують напругу у задану кількість разів. Основною метрологічною характеристикою подільників напруги є коефіцієнт ділення K , який дорівнює відношенню вхідної напруги $U_{\text{вх}}$ до вихідної $U_{\text{вих}}$, тобто $K=U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}$. Резистивні подільники напруги відтворюють одне значення коефіцієнта ділення або кілька.

Індуктивні подільники змінної напруги виконуються на тороїдальних магнітопроводах з високою магнітною проникністю, на які навиваються обмотки. Обмотки можуть вмикатися за трансформаторною або автотрансформаторною схемами. Індуктивні подільники можуть з'єднуватися каскадно. Витки обмоток перемикають відповідно до розрядів десяткового коду, тоді вихідна напруга такого тридекадного індуктивного подільника змінної напруги дорівнює:

Ємнісні подільники напруги призначені для забезпечення високого вхідного опору на постійному струмі. Частіше всього ємнісні

подільники напруги застосовуються для розширення діапазону вимірювання електростатичних приладів.

Імпульсні подільники напруги складаються з електронного ключа і фільтра нижніх частот. Ключ упродовж часового інтервалу t замикається і напруга надходить на вхід фільтра. Процес періодично повторюється з періодом T . Таким чином, на вході фільтра є імпульси з періодом повторення T . Фільтр нижніх частот виділяє постійну складову послідовності імпульсів, яка прямо пропорційна вхідній напрузі і залежить від співвідношення t/T

1.5 Вимірювання змінних струмів і напруг електромеханічними та магнітоелектричними приладами Вимірювання потужності, енергії, кута зсуву фаз і частоти. Вимірювання параметрів електричних ланцюгів

Вимірювання малих струмів. Непрямі вимірювання струму

Окрім прямого вимірювання струмів за допомогою амперметрів можливими є також непрямі вимірювання струму з використанням еталонних резисторів, які вмикають в розрив ланцюга, і високочутливих вимірювачів напруги. При цьому вимірюваний струм визначається за законом Ома: $I_x = U_0/R_0$, де U_0 - виміряне вольтметром падіння напруги на еталонному резисторі R_0 .

Гранична чутливість будь-якого вимірювача струму визначається струмом теплових шумів, який є тим менший, чим більшим є внутрішній опір вимірювача. Для зменшення цього струму до рівня 10^{-17} - 10^{-16} А в смузі частот від 0 Гц до 0,01 - 0,1 Гц слід використовувати прилади з внутрішнім опором не меншим, ніж 10^{11} - 10^{12} Ом. В цьому сенсі магнітоелектричні гальванометри, гальванометричні компенсатори, підсилювачі на біполярних транзисторах відносять до порівняно низькоомних вимірювальних пристроїв і вони, відповідно, є непридатними для вимірювання струмів менших, ніж 10^{-10} - 10^{-9} А.

Для вимірювання малих постійних та таких, що змінюються повільно, струмів використовують пасивні перетворювачі струму в напругу разом з чутливим вимірювачем напруги, що має дуже великий вхідний опір (до 10^{14} - 10^{16} Ом) і малий рівень шумів. Максимально мають бути зменшеними також паразитні струми у вхідних колах таких перетворювачів.

В ланцюгах змінного струму промислової частоти в якості вимірювачів струму і напруги найчастіше використовують електромеханічні вимірювальні прилади електромагнітної та електродинамічної систем. Очевидно, що ці прилади є приладами інтегральної дії і результатом їх вимірювання є середньоквадратичне значення струму або напруги. Електромагнітні прилади використовують,

як правило, в якості щитових приладів класів точності 1,0 і 1,5 та багатодіапазонних лабораторних приладів класів точності 0,5 і 1,0.

Використовувати прилади електромагнітної системи для вимірювання струму в ланцюгах високих частот неприпустимо із-за великих додаткових частотних похибок, що виникають в цих приладах.

Якщо в приладі електродинамічної системи нерухому та рухому котушки з'єднати послідовно, то по обох котушках буде протікати один і той же струм $I = I_1 = I_2$. Таким чином, відхилення рухомої частини приладу є пропорційним квадратові струму (напруги). Очевидно, зміна напрямку струму (полярності напруги) не призведе до зміни показів приладу. Такі прилади можуть мати одну (спільну) шкалу і для постійних, і для змінних струмів (наприклад, для амперметрів, розрахованих на вимірювання малих струмів - до 100 мА). При вимірюванні струмів більших, ніж 0,1 А (до 10 А) котушки в електродинамічних приладах з'єднують паралельно. Зміна меж вимірювання електромагнітних та електродинамічних приладів реалізується секціонуванням їх нерухомих котушок, а для електродинамічних приладів також комбінуванням послідовно-паралельного з'єднання секцій нерухомих котушок з рухомою котушкою.

В електродинамічних вольтметрах рухома і нерухома котушки з'єднуються послідовно з додатковими резисторами і по них проходить один і той же струм.

Межі вимірювань електромагнітних та електродинамічних амперметрів і вольтметрів можуть бути розширеними також за допомогою спеціальних вимірювальних трансформаторів струмів і напруг.

Електромеханічні вимірювальні прилади магнітоелектричної (МЕ) системи вигідно відрізняються від електромеханічних вимірювальних приладів інших систем в першу чергу завдяки своїй високій чутливості. Ця перевага МЕ голівок є особливо цінною для вольтметрів, виконаних на їх основі. Такі вольтметри будуть мати високий власний опір завдяки великим значенням додаткових опорів, ввімкнених послідовно з обмоткою рухомої котушки. Ще однією вагомою перевагою приладів МЕ системи є їх лінійна шкала. Ще однією з причин, яка спонукає пристосовувати приладів МЕ системи для вимірювання змінних напруг і струмів, є та, що саме на основі МЕ вимірювальних голівок виконуються комбіновані багатофункціональні вимірювачі (їх ще називають "авометрами" - Ампер-Вольт- Ом-Метри - або "тестерами"), які здатні вимірювати в широких межах постійні та змінні струми і напруги, а якщо надати їм джерело живлення, то також і параметри пасивних та активних елементів схем.

При цьому слід мати на увазі притаманну МЕ вимірювальним приладам специфічну властивість - напрям відхилення покажчика МЕ приладу залежить від напрямку струму, що протікає через нього. Це означає, що самі по собі прилади МЕ системи здатні вимірювати лише постійні струми або напруги, а при пропусканні через них знакозмінних

або пульсуючих струмів вони будуть показувати лише їх середні значення, а отже, самі по собі МЕ прилади не придатні для вимірювання змінних струмів та напруг.

Очевидно, щоб надати їм такої можливості, необхідно облаштувати їх одно- або двопівперіодними випрямлячами. Покази таких приладів будуть відповідати середньовипрямленим значенням струму або напруги.

При цьому їх частотний діапазон визначається, в основному, власною ємністю випрямляючих діодів. Якщо застосувати сучасні точкові напівпровідникові діоди, то верхня межа частотного діапазону такого вимірювача може сягати кількох гігагерц.

Як ще один притаманний їм недолік, можна назвати залежність їх показів від форми кривої досліджуваного сигналу. Якщо вимірюваний струм або напруга не є синусоїдальними, то до показів приладу необхідно вводити поправки.

Вимірювання фазового зсуву

Методи вимірювання зсуву фаз між напругою і струмом навантаження й принципи побудови приладів залежать від діапазону частот сигналу і його форми, потужності джерел сигналів, необхідної точності вимірювання.

Електромеханічні фазометри. Електро- та феродинамічні логометри можна використовувати для побудови фазометрів, призначених для вимірювання фазового зсуву між напругою і струмом.

Електрична схема електродинамічного фазометра. Рухома частина механізму, яка являє собою дві жорстко скріплені під кутом 60° рамки, кріпиться на осях і опорах. Механічного протидіючого моменту у механізмі немає. Взаємодія струму, що проходить по нерухомій котушці приладу I_1 , із струмом I_2 , який проходить по обмотці рамки 2, кут між площиною якої і площиною нерухомої котушки дорівнює 150° , створює обертальний момент M_1 . Кут оберту рухомої частини дорівнює фазовому зсуву між напругою і струмом у навантаженні. *Недоліками* таких фазометрів є і залежність показів від частоти. Шкала розглянутого фазометра може бути проградуїрована також у значеннях коефіцієнта потужності, тобто в значеннях $\cos \varphi$.

Електронний фазометр. Фазовий зсув між двома періодичними напругами (однієї частоти) в діапазоні частот до 1 МГц вимірюють за допомогою електронних фазометрів. Напруги u_1 і u_2 (одна з них є опорною, наприклад u_1) подаються на два входи приладу. В обох каналах напруги підсилюються і, якщо їхні амплітуди досить великі, обмежуються підсилювачами-обмежувачами $ПО1$ і $ПО2$; потім за допомогою формуючих пристроїв $ФП1$ і $ФП2$ ці напруги перетворюють у напруги прямокутної форми з крутими фронтами. Фазовий зсув напруг на виходах $ФП1$ і $ФП2$ дорівнює фазовому зсуву вхідних напруг.

2. Вимірювання та реєстрація електричних величин

2.1 Вимірювання та реєстрація електричних величин, що змінюються в часі. Самописні прилади прямої дії. Осцилографи та їх застосування

При спостереженні за технологічними процесами часто потрібно не тільки вимірювати ті чи інші фізичні величини, але і автоматично фіксувати їх значення. Для цього існують різноманітні прилади. За результатами реєстрації вимірюваних величин можна визначити тенденцію зміни цієї величини, встановити функціональні зв'язки між декількома вимірюваними величинами і т. д. Залежно від числа одночасно реєстрованих величин розрізняють одноканальні і багатоканальні реєструючі прилади. Залежно від форми реєстрації розрізняють самописні вимірювальні прилади - прилади, які роблять запис у вигляді діаграм. Залежно від структурної схеми самописні вимірювальні прилади діляться на дві групи: прилади прямої дії (з розімкнутою структурною схемою) і прилади врівноваження (з замкнутою структурною схемою). Запис може бути безперервним, коли значення вимірюваної величини записується суцільною лінією на діаграмі, і точковою, при якому значення вимірюваної величини реєструються на діаграмі точками, розташованими відносно одна одної на деякій відстані. Реєструючі прилади призначені в основному для запису змін досліджуваної величини у функції часу. Самописними приладами звичайної швидкодії можна проводити запис величин, які повільно змінюються. Швидкодіючі самописні вимірювальні прилади прямої дії (БСП) дозволяють отримати запис вхідного сигналу частотою до 150 Гц.

Для запису процесів, що змінюються з частотою до 25 кГц, застосовуються світлопроменеві осцилографи, а для більш високих частот - магнітографія. Види реєстрації, що застосовуються в сучасних вимірювальних приладах дуже різноманітні. У самописних приладах широко використовується запис чорнилом на діаграмній папері.

Магнітний спосіб реєстрації отримав застосування в реєструючих приладах, званих магнітографі. Носій інформації у вигляді так званої магнітної стрічки за допомогою електродвигуна переміщається з котушки на котушку, при цьому стрічка проходить біля магнітних головок. Принцип магнітної реєстрації полягає в намагнічуванні в різному ступені в залежності від сили струму магнітної стрічки, яка попередньо повинна бути повністю розмагнічена. Магнітний метод реєстрації має низку істотних переваг: для відтворення інформації не потрібно додаткової обробки стрічки, цей метод забезпечує можливість багаторазового відтворення реєстрації, можливо багаторазове використання магнітної стрічки, може бути змінений часовий масштаб виробленої записи. Основний недолік - відсутність видимої реєстрації.

Відомі й інші способи реєстрації вимірювальної інформації, наприклад, електрофотографічний, електрохімічна, електротермічна і ін.,

Електронний осцилограф відноситься до реєструючих приладів. Реєструючими називаються такі вимірювальні прилади, які дають можливість не тільки дізнаватися про значення вимірюваної величини в даний момент, але також слідкувати за ходом зміни цієї величини в часі. Характер електричних процесів, які підлягають реєстрації, швидкість зміни вимірюваних величин, умови роботи, цілі, які потрібно досягти, бувають дуже різноманітні.

Електронним осцилографом називають прилад для спостереження і вимірювання електричних сигналів, в якому використовуються відхилення одного або декількох електричних променів для отримання зображення миттєвих значень функціональних залежностей змінних величин, однією з яких звичайно є час.

Форма електричного сигналу містить у собі інформацію про всі його параметри. Тому осцилографи можна використовувати і для вимірювання окремих параметрів сигналу — амплітуди імпульсу, тривалості імпульсу, періоду гармонійних та імпульсних сигналів та інше. Порівняння форм сигналів на вході і виході якого-небудь електронного кола дає змогу зробити висновки про характеристики цього кола. Область застосування електронних осцилографів є дуже широка. Основне їх призначення — візуальне спостереження на люмінесцентному екрані і фотографування нелінійних залежностей швидко проминаючих процесів, але осцилограф легко може бути пристосований, наприклад, для вимірювання частоти або знімання різних динамічних характеристик, характеристик електронних ламп, напівпровідникових приладів і т.д. Осцилографи призначені для візуального спостереження і фіксації швидких процесів.

Використання давачів-перетворювачів дає змогу використовувати осцилограф також для спостереження і вимірювання параметрів неелектричних процесів.

Осцилограф складається з електронно-променевої трубки, схеми розгортки і органів керування

Схема розгортки формується з каналу вертикального відхилення електронного променя (каналу сигналу або каналу Y), каналу горизонтального відхилення (каналу розгортки або каналу X), каналу яскравості (Z), двох калібраторів — амплітуди і тривалості.

Основною частиною електронно-променевого осцилографа є електронно-променева трубка.

У даний час використовуються рідінокристалеві або плазменні трубки.

2.2 Вимірювання електричних величин методами перевірки мірою. Загальна теорія мостових схем. Мости для вимірювання опору на постійному струмі. Мости змінного струму для вимірювання ємності та кута втрат конденсаторів, індуктивності і добротності котушок і частоти. Потенціометри (компенсатори) постійного струму для вимірювання ЕРС, напруг, струмів і опорів. Потенціометри змінного струму для вимірювання комплексних значень ЕРС, напруг і опорів. Автоматичні мости і потенціометри.

Мости для вимірювання параметрів котушок індуктивності

Для котушки індуктивності застосовується переважно послідовна схема заміщення (рис.6). За допомогою моста визначаються параметри R_x , L/R , ωL та добротність Q . Слід відмітити, що R_x та Q характеризують властивості конденсатора та котушки на певній частоті. Звичайно в мостах змінного струму вимірювання проводяться на фіксованих частотах.

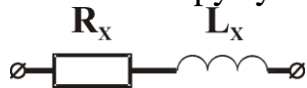


Рис. 6

Котушка індуктивності, параметри якої вимірюються, вмикається в одне з плечей моста. Щоб міст можна було зрівноважити, хоча б одне з пліч, що залишились, повинно містити або змінну індуктивність, або змінну ємність. Найчастіше застосовують змінну ємність, оскільки конденсатор змінної ємності можна виготовити з більшою точністю та з меншими затратами, ніж котушку зі змінною індуктивністю.

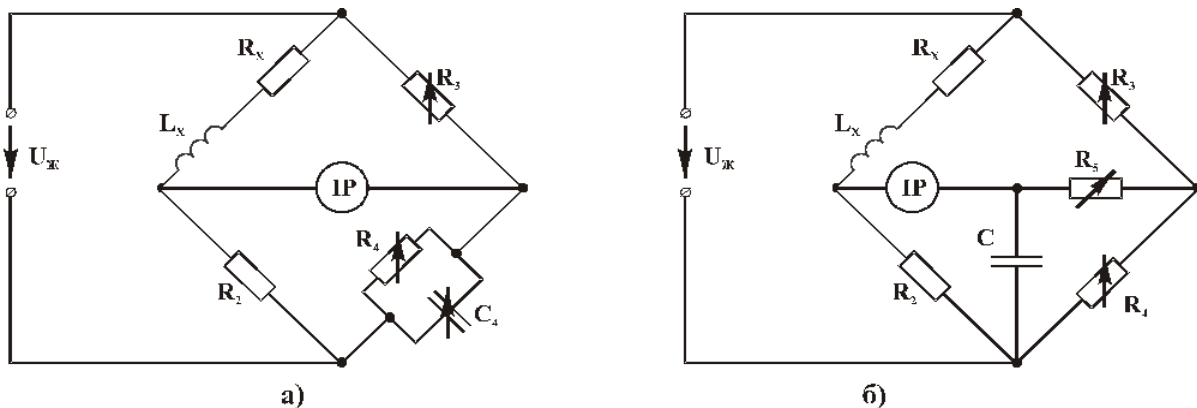


Рис. 7

Недоліком цієї схеми моста є погана збіжність, особливо при низьких добротностях котушки. Якщо $Q = 1$, процес зрівноважування вже викликає труднощі, а при $Q < 0,5$ зрівноважування моста практично неможливе.

Вимірювання параметрів котушок індуктивності з низькою добротністю відбувається за допомогою шестиплечого моста. Для одержання умови рівноваги цього моста потрібно трикутник, створений елементами R_4 , R_5 та C , перетворити в зірку. Після такого перетворення

виходить чотириплечий міст, умова рівноваги якого відома. Міст зрівноважується регулюванням R_4 та R_5 . Спочатку регулюванням R_4 добиваються виконання першої умови рівноваги, потім регулюванням R_5 міст наближається до умови рівноваги. R_5 не впливає на першу умову, тому міст має хорошу збіжність.

Автоматичний міст постійного струму

Мости з автоматизованим процесом зрівноваження називаються автоматичними. Вони використовуються не тільки для вимірювання параметрів електричних елементів, але й для автоматичного управління різними процесами.

Якщо міст зрівноважений, напруга у вимірювальній діагоналі дорівнює нулю, і ротор реверсивного двигуна РД нерухомий. При вимірюванні опору R_x на вимірювальній діагоналі з'явиться напруга. Значення цієї напруги визначається опором R_x . Ця напруга підсилюється підсилювачем та подається на реверсивний двигун, який пересуває повзун R_1 до тих пір, поки напруга у вимірювальній діагоналі не дорівнюватиме нулю (або буде дуже мало відрізнитись від нуля). Одночасно двигун повертає вказівник П, може переміщати перо для запису вимірюваної величини, керувати виконавчими органами для регулювання процесу

В автоматичних мостах змінного струму необхідно для досягнення рівноваги регулювати два елементи. Через це та в силу інших причин автоматичні мости змінного струму поступаються точністю автоматичним мостам постійного струму.

2.3 Вимірювання фізичних величин цифровими приладами.

Основні характеристики цифрових приладів. Узли цифрових приладів. Цифрові прилади. Цифрові прилади порозрядного зрівноваження (кодо-імпульсу). Цифрові прилади зчитування. Друкуючі і пристрої, що запам'ятовують. Характеристики сучасних цифрових приладів і аналого-цифрових перетворювачів.

Цифровими називають прилади, у яких величина, що вимірюється, перетворюється в код, а потім, у відповідності із кодом відтворюється на відліковому пристрої у цифровій формі.

Переваги ЦВП – висока швидкодія, стійкість до зовнішніх механічних навантажень, висока стійкість до перешкод, здатність зберігання, обробки, передачі інформації на відстань, можливість вводу у ЕОМ, висока точність.

Недоліки – висока вартість, нестійкість до зміни температури навколишнього середовища, необхідність зовнішнього джерела живлення. Загальним для усіх ЦВП є:

- дискретизація у часі;
- квантування за рівнем;
- кодування інформації.

По роду величини, що вимірюється, ЦВП підрозділяються на вольтметри, частотоміри, фазометри, омметри та інші.

Прилади, які вимірюють середнє значення величини за визначений проміжок часу, називаються **інтегруючими**.

Структурна схема ЦВП

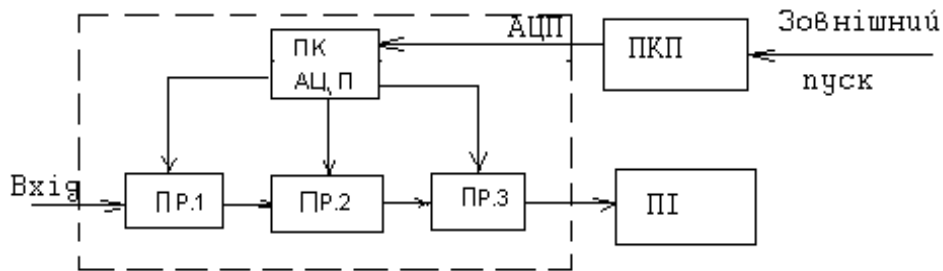


Рис. 8

ПКП – пристрій керування приладом;

ПІ – пристрій індикації;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ПР1, ПР2, ПР3 – перетворювачі 1,2,3;

ПК АЦП– пристрій керування АЦП.

ПК АЦП узгоджує роботу перетворювачів (їх кількість може змінюватись в залежності від функцій приладу).

У перетворювачі 1 створюється зміна аналогової величини, яка вимірюється, у іншу аналогову величину, яка більш зручна для наступного перетворення у код (наприклад, опір чи ємність у постійну напругу). У перетворювачі 2 учиняється перетворення аналогової величини у двійковий код. Якщо прилад працює у іншому коді , то використовується перетворювач кода 3.

Після завершення обробки інформації виконується її відображення на пристрої індикації. Узгоджену роботу усіх блоків забезпечують сигнали ПКП.

Дискретизація у часі неперервної величини $X(t)$ – процес перетворення її у перервну $X'(t)$, тобто у величину, значення якої співпадають із значеннями неперервної тільки у визначені моменти часу.

Проміжок часу між ближніми моментами часу дискретизації називається кроком дискретизації.

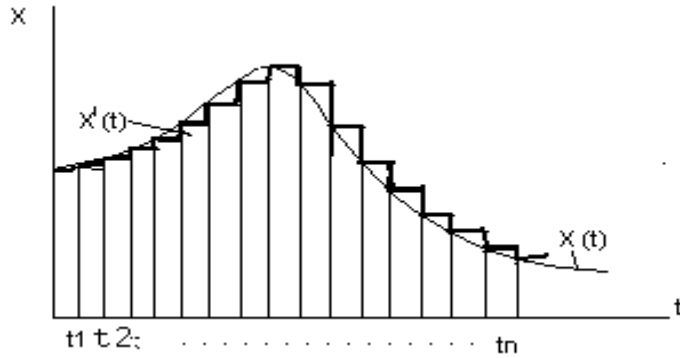


Рис. 9

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

$T\Delta$ — крок дискретизації.

Величина $\frac{1}{\Delta T}$ — має назву частоти опитування.
 Дискретизація у часі може бути рівномірною або нерівномірною.

Рівномірна – $\Delta T = \text{const}$

Нерівномірна може бути двох типів :

$\Delta T_i = c \cdot \Delta T$ 1. із кратними інтервалами
 де $c = 1, 2, 3, \dots, n$;

2) дискретизація із некрратними інтервалами.

$$\Delta t_{\min} < \Delta t < \Delta t_{\max}$$

Вид дискретизації, яка застосовується, визначається формою сигналу, який вимірюється.

Також дискретизація може бути адаптивна та програмна.
 Абсолютна похибка дискретизації визначається:

$$\Delta X = X(t) - X'(t)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\Delta T_i} \cdot \int_{t_{i-1}}^{t_i} (X(t) - X'(t))^2 \cdot dt}. \text{ За середньоквадратичним критерієм похибка оцінюється за формулою:}$$

Квантуванням за рівнем неперервної величини $X(t)$, що вимірюється, називається процес перетворення її у квантовану $X'(t)$. Квантована величина – величина, яка може приймати тільки визначену кількість значень. Фіксовані величини цих значень називаються рівнями квантування. Відстань між двома найближчими рівнями називається кроком квантування (ΔX – крок квантування).

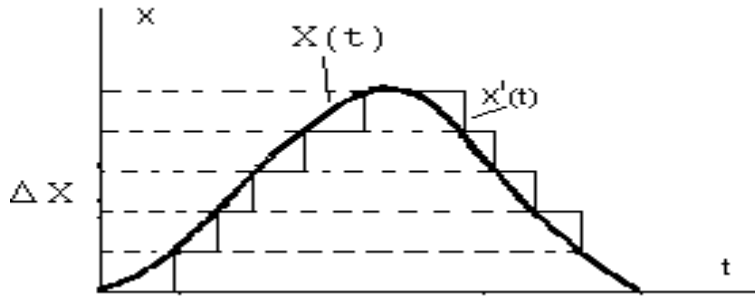


Рис. 10

$y = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{n}$. Величина похибки не перевищує кроку квантування. Чим більше кількість рівнів квантування, тим вище точність приладу. Квантування за рівнем може бути рівномірним та нерівномірним. У першому випадку увесь діапазон розбивається на n однакових рівнів – кроків квантування, у другому кількість рівнів залежить від форми сигналу. При квантуванні можливі такі способи віднесення до квантованих рівнів :

- 1) віднесення до найближчого квантованого рівня;
- 2) віднесення до найближчого більшого рівня;
- 3) віднесення до найближчого меншого.

Основні методи аналогово-цифрового перетворювання (методи АЦП)

Перетворювання аналогової величини у цифровий код здійснюється шляхом порівняння її з деяким набором дискретних еталонних значень. Ці значення завжди мають однакову природу із величиною , яка перетворюється. У відповідності з цими критеріями АЦ-перетворювання у часі розрізняють 3 метода:

1) Метод послідовної лічби.

Сутність метода полягає в послідовному порівнянні у часі невідомої величини $X \cdot n$ із відомою однорідною мірою ΔX . Процес порівняння припускає дискретну участь у ньому міри. Якщо вибрати ΔX рівним одиниці вимірювання X , то кількість таких квантів n буде одиничним кодом значення величини, яка вимірюється. $X_n^* = n \cdot \Delta X + \varepsilon$,

$0 \leq \varepsilon \leq \Delta X$ де n – кількість квантів; ε деяка похибка.

Цей метод найбільш просто апаратно реалізується , але має малу швидкодію. Застосовується у цифрових вольтметрах постійного струму, цифрових системах для постійної напруги або напруги, що повільно змінюється.

2) Метод порозрядного врівноважування (метод зважування).

При такому методі для порівняння використовуються рівновеликі кванти, які рівносильні деякому набору із елементарних квантів Метод дозволяє отримати значний вигравш у швидкодії ($10^5 - 10^6$ перетворювань за секунду).

3) Метод одночасного порівнювання.

Виконується одночасне порівняння величини, яка вимірюється, із великою кількістю рівновеликих квантів, тобто вхідний сигнал $X \cdot n$ порівнюється із набором мір, значення яких підібрані у відповідності із визначеним правилом. Вихідний код утворюється по номеру найближчого значення. Одночасність метода означає паралельність ввімкнення усіх квантів у процесі порівняння. Це самий швидкодіючий метод. Він дозволяє отримати частоту перетворення 100 – 200 МГц.

Цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)

Перетворення цифрових кодів у аналоговий сигнал необхідно для формування аналогових сигналів довільної форми по вхідним кодовим комбінаціям. Стандартним засобом для перетворення інформації із коду у аналоговий сигнал є сітка з прецизійних опорів, яка комутується електронними ключами, що керуються цифровим кодом. Схема ЦАП складається з джерела опорної напруги (температурно-стабілізованого стабілітрона), матриці двійково-вагових прецизійних резисторів та набору електронних ключів-комутаторів.

При вмиканні у схему операційного підсилювача можна перетворити ЦАП із струмовим виходом в ЦАП із виходом по напрузі.

Кодування сигналів — процес перетворення дискретного сигналу в сигнал у вигляді кодових комбінацій. Зворотня операція -**декодування**. Коди бувають : паралельні, послідовні, паралельно-послідовні. У **послідовних** кодах інформація передається по одній лінії із розподіленням у часі. При **паралельних** кодах інформація передається або по кільком лініям одночасно, або по одній лінії, але із частотним розподіленням сигналів.

По ступені захищеності коди бувають **захищені від перешкод** та **незахищені**.

У цифрових приладах застосовуються коди, незахищені від перешкод. Захищені коди використовуються при передачі інформації на відстань (наприклад, у інформаційно-вимірювальних системах).

Коди, незахищені від перешкод

У вимірювальній техніці найбільше розповсюдження отримав двійковий код, який технічно реалізується значно простіше, ніж інші.

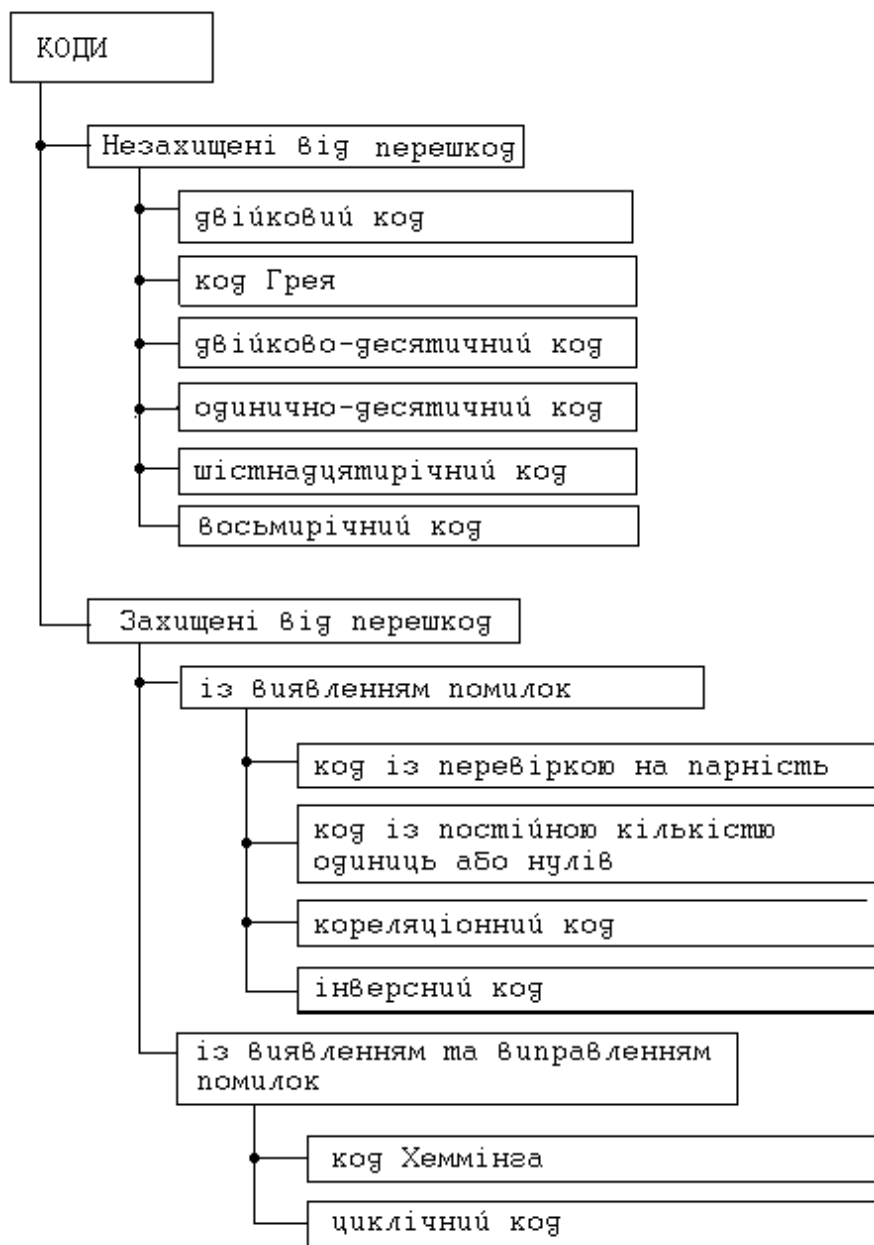


Рис.11

Перехід будь-якого десятинного числа у іншу систему обчислення здійснюється шляхом послідовного ділення чисел на основу цієї системи та виписування залишків, які і складають число у іншій системі.

Недоліком двійкового коду є те, що при переході від одного сусіднього числа до іншого змінюються одразу усі розряди кодової комбінації.

Для його усунення двійковий код із даного числа зсувається на один захищений від цього недоліка двійковий рефлексний код (код Грея).

Двійковий код незручний з-за своєї громіздкості при вводі та виводі інформації. На практиці отримали поширення коди, які легко зводяться до двійкового, але зберігають переваги десятичних. До них відносяться шістнадцятирічний, восьмирічний та двійково-десятичний коди. Останній отримав найбільше розповсюдження у вимірювальній техніці. Суть коду

полягає в тому, що кожна цифра десятинного числа подається його чотирьох розрядним двійковим кодом 8-4-2-1.

Кореляційний код дає більш високу захищеність від перешкод. Кожен елемент двійкового коду передається двома символами.

До таких кодів відносяться коди Хеммінга та циклічні коди. Характеризуються подальшим підвищенням надлишковості. Ці коди є коректуючими, тобто вони дозволяють по кодовій комбінації, яка є у надлишковості виявляти та виправляти помилки.

Цифрові прилади для вимірювання електричних величин

Найчастіше у ЦВП кодується інтервал часу, частота імпульсів та напруга. У вимірювальній техніці при дистанційних вимірюваннях широко використовуються синусоїдальні та імпульсні сигнали, які модульовані по частоті, фазі чи тривалості. Такі сигнали мають високу стійкість проти перешкод та мало підлягають впливу каналу зв'язку.

2.4 Вимірювання магнітних величин. Визначення статичних та динамічних характеристик магнітних матеріалів, зокрема, на підвищених і високих частотах і в режимі імпульсного намагнічування.

Фундаментальним параметром магнітного матеріалу є основна крива намагнічування - залежність магнітної індукції B від напруженості магнітного поля H . Вид цієї залежності визначається властивостями матеріалу, зовнішніми умовами і навіть попереднім магнітним станом середовища. Нелінійний характер поданої залежності припускає, що магнітна проникність речовини є функцією напруженості магнітного поля.

На початковій стадії намагнічування спостерігається практично лінійна залежність B від H і, як слідство, сталість магнітної проникності. Цій області відповідає пружний зсув доменних стінок тих доменів, орієнтація магнітного моменту яких близька до напрямку зовнішнього поля. У цьому діапазоні напруженості поля аналізований параметр матеріалу називають початковою магнітною проникністю.

При визначеній напруженості прикладеного поля магнітна проникність речовини проходить через явно виражений максимум. Саме в цій області поля відбувається необоротний зсув меж доменів таким чином, щоб результуючий магнітний момент домена відповідав напрямку поля, що намагнічує. Це і знайшло відбиток у максимальній реакції речовини на зовнішнє збудження. При подальшому збільшенні напруженості поля магнітна індукція продовжує наростати за рахунок повороту векторів магнітних моментів уздовж поля, що намагнічує, і досягає свого максимального значення. Для роботи активного магнітного середовища в змінних або імпульсних магнітних полях використовують різні визначення магнітної проникності. Зокрема, для оцінки ефективності роботи матеріалу на змінному магнітному полі широко застосовується поняття диференційної магнітної проникності. Цей параметр являє собою похідну

від магнітної індукції по напруженості магнітного поля в кожній точці основної кривої намагнічування.

Для усіх феромагнетиків характерний магнітний гістерезис - відставання намагніченості речовини від зовнішнього магнітного поля. Типова картина залежності $B(H)$ при циклічному намагнічуванні, яка має назву гістерезису магнітного матеріалу, приведена на рис. 12. Магнітний гістерезис обумовлений необоротними процесами з втратою енергії, що протікають у феромагнетик при перемагнічуванні. При знятті зовнішнього магнітного поля індукція феромагнетика не зменшується до нуля, а приймає цілком визначене, кінцеве значення. Цей параметр петлі гістерезису зветься залишковою індукцією B_u . Для того щоб розмагнітити матеріал необхідно до зразка прикласти протилежно спрямоване магнітне поле величиною H . У свою чергу, цей параметр називають коерцитивною силою. Чисельні значення залишкової індукції, коерцитивної сили і значення індукції насичення досить повно описують процес перемагнічування матеріалу.

Експерименти показують, що розглянуті параметри знаходяться в складній функціональній залежності від багатьох зовнішніх умов, зокрема від температури. При точно визначеній температурі магнітна проникність досягає свого максимального значення. Цю температуру називають температурою Кюрі. Такий характер температурної залежності магнітної проникності пояснюється підвищенням рухливості доменних стінок із зростанням температури, що сприяє росту намагніченості. Проте процес інтенсифікації руху меж доменів не може протікати безмежно. Дійсно, після досягнення температури Кюрі тепловий рух стає настільки інтенсивним, що його енергії досить для руйнації доменів. Це означає, що речовина втрачає свої феромагнітні властивості і переходить у діамагнітний стан. Таким чином, температурний інтервал функціонування феромагнітних матеріалів у приладах електронної техніки є обмеженим поверх температурою Кюрі. %

Магнітні властивості феромагнетиків знаходяться в тісному зв'язку з наявністю в ньому механічних напруг. Взаємозв'язок механічних деформацій з утворюваним ними магнітним полем зветься магнітострикцією. Розрізняють прямий і обернений магнітострикційний ефект. З прямим магнітострикційним ефектом звичайно зв'язують зміну геометричних розмірів матеріалу в магнітному полі. Обернений ефект відображається в зміні намагніченості речовини при прикладенні до нього механічних напруг. Магнітострикційні ефекти широко застосовуються в різноманітних галузях електронної техніки. Зазвичай на основі цього явища функціонують різноманітні перетворювачі для генерації і прийому звукових або ультразвукових коливань. Магнітострикційні перетворювачі відрізняє досить високий ККД аж до 70 - 80 % навіть при підвищених

частотах. Традиційна область застосування цих перетворювачів - медичні прилади ультразвукової діагностики.

Магнітні параметри матеріалу залежать від частоти зовнішнього магнітного поля. Крива, що описує залежність $B(H)$ у швидкозмінному магнітному полі, зветься динамічною петлею гістерезису. Частотна залежність магнітної проникності феромагнетика має тенденцію до зменшення з ростом частоти. Основними чинниками, що визначають такий хід залежності, є втрати на перемагнічування матеріалу та на вихрові струми.

2.5 Генератори електричних імпульсів. Релаксаційні генератори.

Мультивібратори. Параметричні вимірювальні перетворювачі.

Генераторні вимірювальні перетворювачі

Вимірювальні генератори є джерелом стабільних сигналів заданої форми, частоту і амплітуду яких можна змінювати у визначених межах. За діапазоном частот вимірювальні генератори розділяють на низькочастотні (20 Гц...300 кГц), високочастотні (30 кГц...300 МГц) та надвисокочастотні (понад 300 МГц).

До низькочастотних належать також генератори інфранизких частот, нижня межа яких складає сотні або тисячні частки герца.

А. За призначенням і формою вихідних сигналів виділяють такі їх види: Г3, Г4 - генератори синусоїдних сигналів низької і високої частоти відповідно; Г5, Г6 - генератори імпульсних і спеціальної форми сигналів відповідно.

Б. Більшість генераторів сигналів низької частоти перекривають діапазони звукових 20 Гц ... 20 кГц і ультразвукових 20...200 кГц частот, а деякі з них (Г3-105, Г3-110) - і діапазон відеочастот 20 кГц ... 10 МГц. Вихідна потужність при узгодженому навантаженні генераторів регулюється від 1 мВт до 10 Вт.

В узгодженому режимі (вхідний опір навантаження дорівнює вихідному опору генератора) генератор віддає в навантаження максимальну потужність. Для забезпечення режиму роботи генератора, близького до узгодженого, паралельно зовнішньому навантаженню вмикається внутрішнє навантаження (зазвичай дорівнює 600 Ом) за допомогою перемикача S, розміщеного на передній панелі генератора. Інколи, наприклад при вимірюваннях у лініях зв'язку, виникає потреба в забезпеченні симетричного відносно корпусу (землі) виходу генератора. Це досягається застосуванням узгоджувального трансформатора, первинна обмотка якого вмикається до виходу підсилювача.

Вимірювач вихідної напруги генератора являє собою випрямний або електронний вольтметр, шкала якого проградуєвана в СКЗ синусоїдної напруги. Вольтметр вмикається не на виході генератора, а перед атенюатором. Напруга на виході генератора визначається

множенням показу вольтметра на коефіцієнт ділення, який отримують за шкалою атенюатора.

В. Генератори сигналів високої частоти генерують синусоїдні напруги в діапазоні частот до 300 МГц. При необхідності вихідна напруга може бути промодульована за амплітудою або частотою.

Узагальнена структурна схема високочастотного генератора наведена на рис. 12. Задавальний генератор виконується, як правило, за LC-схемою з багатьма межами вимірювання (6-8 піддіапазонів). Частотні піддіапазони устанавлюються зміною котушок, а в середині кожного піддіапазону перестроювання частоти здійснюється зміною ємності конденсатора. З виходу задавального генератора синусоїдна напруга подається одночасно в основний і допоміжний канали. Допоміжний канал складається із широкосмугового підсилювача 1 (ШП1) і призначається для вмикання до “Виходу 1В” (наприклад, частотоміра) з метою контролю частоти генератора. Основний канал включає модулятор, ШП2, високочастотний атенюатор (Ат.ВЧ), систему автоматичного регулювання рівня напруги (АРР), канал здійснення зовнішньої або внутрішньої амплітудної модуляції вихідного сигналу (атенюатор низької частоти (Ат.НЧ), регулятор опорної напруги, генератор НЧ, перемикач S1), пристрій контролю параметрів вихідної напруги (детектор 2, перемикач S2, вольтметр V) і джерело живлення. Частоту вихідної напруги генератора визначає задавальний генератор, а устанавлення потрібного значення амплітуди напруги генератора здійснюється за допомогою системи АРР. Система АРР складається з регулятора опорної напруги, детектора 1, диференціального підсилювача постійного струму (ППС). Вихідний сигнал основного каналу детектується і подається на один із входів ППС, на його другий вхід надходить сигнал з регулятора опорної напруги.

Г. Ряд сучасних генераторів ультрависокої частоти (Г4-107, Г4-116, Г4-129 та ін.) побудовані за принципом ділення (множення) частоти. Вони відрізняються від розглянутих вище тільки принципом роботи задавального генератора.

Д. Генератори імпульсних сигналів виробляють електричні сигнали прямокутної форми з нормованими параметрами. Розрізняють генератори: безперервних послідовностей імпульсів з однаковими параметрами; серій однакових імпульсів, у тому числі й парних імпульсів; кодових груп (пакетів) імпульсів, кожен з яких може відрізнитися від інших одним або кількома параметрами. Крім перелічених сигналів генератори виробляють синхронізуючі імпульси тієї самої частоти, які використовуються для запуску різних схем.

Релаксаційні генератори дають імпульси із пилкоподібною формою. В основі роботи схеми лежить принцип розрядження конденсатора, працюючого разом з комутуючим пристроєм, наприклад, тиристором.

Мультивібратор дає імпульси прямокутної форми.

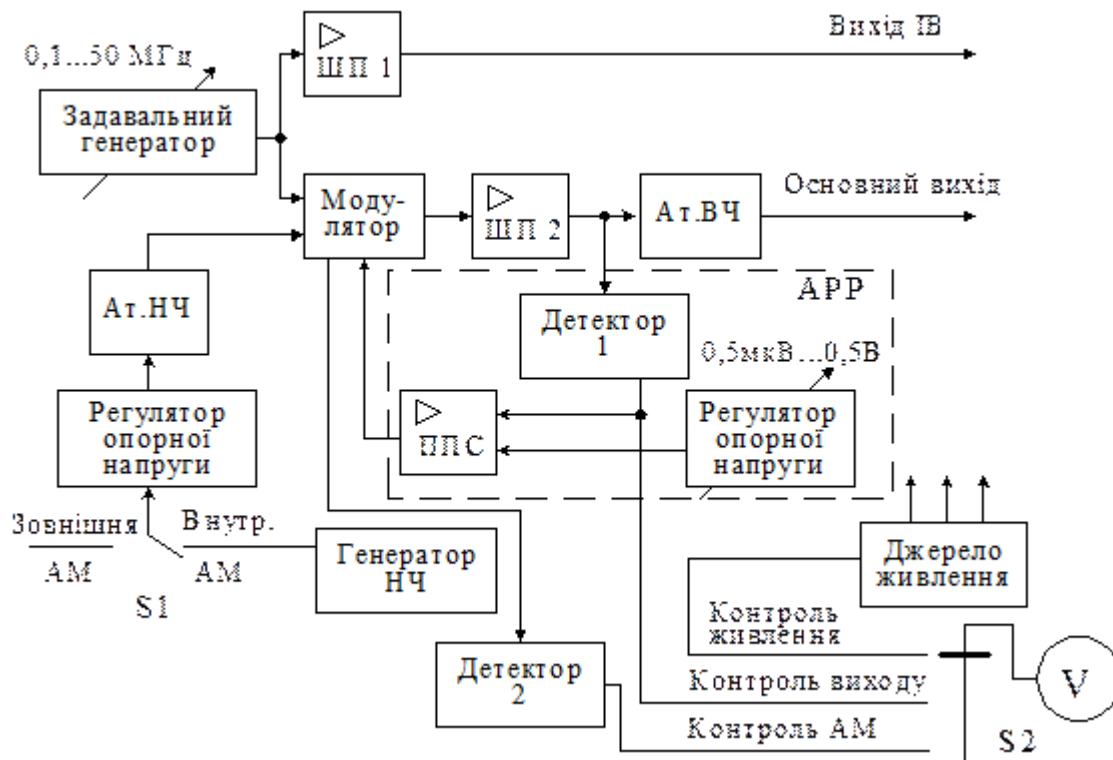


Рис. 12 Структурна схема генератора сигналів високої частоти

Генератори імпульсів забезпечують основну відносну похибку задання частоти, тривалості і часової затримки $\pm 3...10\%$

3. Вимірювання неелектричних величин. Інформаційні системи. Системи автоматичного контролю

3.1 Вимірювання неелектричних величин. Вимірювання температури, вологості. Інсоляція та актинометричні прилади. Вимірювання тиску, витрат газу та води, швидкості водних і повітряних потоків. Вимірювання геометричних і механічних величин. Вимірювання концентрації рідкої і газоподібної середовища. Вимірювання радіоактивності та доз випромінювання. Вимірювання спектрів іонізуючого випромінювання

Параметри довкілля, за якими потрібно здійснювати контроль – це перш за все фізичні величини неелектричного походження. Це температура, вологість, концентрація забруднюючих домішок, швидкість потоків, прозорість рідин та газових сумішей, радіоактивність та ін. [1,4,6–8].

Щоб виміряти ту чи іншу неелектричну величину, її потрібно завчасно перетворити в електричний сигнал [2,3,5]. Таке перетворення здійснюється за допомогою первинних перетворювачів. Спрощена

структурна схема вимірювального пристрою має первинний перетворювач, електричне вимірювальне коло, вихідний пристрій [5].

Вимірювальна неелектрична величина x надходить на вхід первинного перетворювача, в якому перетворюється в електричний сигнал $u(x)$. Цей сигнал перетворюється у вимірювальному колі в другий електричний сигнал u та сприймається вихідним пристроєм. Шкала вихідного пристрою $u(x)$ градується безпосередньо в значеннях неелектричної величини X .

За принципом дії первинні перетворювачі поділяються на резистивні, електромагнітні, електростатичні, теплові.

Резистивні перетворювачі підрозділяються на реостатні та тензочутливі. Робота останніх заснована на вимірюванні електричного опору в залежності від механічної деформації провідника чи напівпровідника.

Електромагнітні перетворювачі підрозділяються на індуктивні, магнітопружні та індукційні.

Індуктивні перетворювачі уявляють котушку індуктивності з магнітопроводом, параметри якого змінюються під дією вимірювальної величини x .

Магнітопружні перетворювачі уявляють собою різновид індуктивних перетворювачів із замкненим магнітопроводом, а індукційні – котушку, в якій наводиться е.р.с. при переміщенні її в постійному магнітному полі

Електромагнітні перетворювачі використовують для вимірювання швидкості, лінійного та кутового переміщення та інших величин, попередньо перетворених в переміщення.

Електростатичні перетворювачі підрозділяються на ємнісні та п'єзоелектричні. У ємнісних перетворювачах змінюється ємність під дією вимірювальної величини. Робота п'єзоелектричних перетворювачів полягає в виникненні е.р.с. в деяких кристалах під дією механічних сил.

Електростатичні перетворювачі використовуються при вимірюванні сили, тиску вологості сипучих речовин, переміщення та кількості речовини.

Дія теплових перетворювачів оснований на теплових процесах: нагріванні, охолодженні, теплообміну та інше. Вони поділяються на терморезистивні та термоелектричні. В терморезисторах використовується залежність опору провідника або напівпровідника від температури. Для вимірювання їх опорів використовують частіше мостові схеми.

Дія термоелектричних перетворювачів оснований на виникненні е.р.с. при нагріванні або охолодженні спаю двох різнорідних провідників (термопари).

Теплові первинні перетворювачі використовуються, як правило, для вимірювання температури. Є електрохімічні, іонізаційні, фотоелектричні

перетворювачі та інші. Вони призначені для вимірювання складу та концентрації розчинів та газів, прозорості рідин та газових сумішей, температури та геометричних параметрів.

В енергетичних установках і системах теплотехнічні вимірювання служать для безперервного виробничого контролю за роботою устаткування.

Класифікація приладів для вимірювання вологості повітря

Під вологість повітря розуміють вміст водяної пари – одного з найважливіших газових компонентів атмосферного повітря. Концентрацію водяної пари в повітрі оцінюють цілою низкою пов'язаних між собою величин, які називають гігromетричними. Аспіраційний психрометр використовується для визначення температури і вологості повітря у складі комплектних лабораторій ПОСТ-1 і ПОСТ-2

Сорбційні методи базуються на залежності деяких фізичних властивостей гігromетричних тіл від кількості сорбованої ними з повітря води. Яка знаходиться в стані динамічної рівноваги з водяною парою в повітрі.

Види гігromетрів:

- Деформативні гігromетри
- Електростатичні гігromетри
- Гігристори

Класифікація приладів для вимірювання температури

Прилади для вимірювання температури розділяються залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на наступні групи з діапазоном показань. Існують досить багато видів термометрів, які відрізняються насамперед. Принципом дії термометричного тіла. Серед них найбільш поширення в практиці контролю природного середовища знайшли:

- Скляно-рідинні термометри, у яких роль ТТ відіграє термометрична рідина, об'єм якої змінюється при зміні температури.
- Термометри опору, у яких функцію ТТ виконують терморезистори різних видів. У практиці контролю забруднення природного середовища найчастіше використовують металеві – мідні чи платинові – терморезистори. Прикладом використання приладу є блок вимірювання температури повітря дистанційної метеорологічної станції М-49, що входить до складу комплексної лабораторії ПОСТ-1
- Деформаційні термометри, у яких роль ТТ відіграє тверде тіло, лінійні розміри якого змінюється при зміні температури.
- Безконтактні методи вимірювання температури – різних об'єктів земної поверхні та атмосфери. Вимірювання інтегральної температури досліджуваних територій і акваторій дозволяє

оцінювати рівень їхнього забруднення. Безконтактні методи вимірювання температури середовища базується на залежності інтенсивності і спектрального складу вимірювання від температури випромінюючого тіла.

- Для вимірювання інтенсивності прямої сонячної радіації використовують актинометри, розсіяної та сумарної – піранометри, відбивальної здатності – альбедометри, радіаційного балансу – балансоміри.
- При роботі з актинометричними приборами записують середній сонячний час (t_m) початку і кінця спостережень з точністю до 1 хв., розраховують середній сонячний час середини спостережень, відмічають хмарність, стан сонячного диску і атмосферні явища.
- Для вимірювання прямої сонячної радіації найбільше розповсюджений **термоелектричний актинометр**.

Вимірювання швидкості водних і повітряних потоків

У практиці контролю забруднення природного середовища виникає необхідність оцінювати швидкість руху двох середовищ: водного і повітряного. У першому випадку мова йде про швидкість течії (у річці, морі тощо), у другому - про швидкість вітру.

Швидкістю течії (вітру) називають горизонтальну складову вектора швидкості переміщення відповідного середовища відносно нерухомої точки земної поверхні. Для опису вектора швидкості потоку використовують два основних способи:

■ вказуються довжина V вектора швидкості і його напрямок φ у просторі;

■ вказуються складові вектора швидкості V_x і V_y по деяких осях X та Y .

В практиці вимірювань частіше застосовується перший спосіб.

Величину V , як і весь вектор, називають швидкістю течії (вітру) і вимірюють у метрах за секунду (іноді - у кілометрах за годину). Величину φ називають напрямком течії (вітру) і розуміють під нею азимут точки, відкілья переміщається потік. Вимірюють кут φ у градусах і відраховують його, починаючи з півночі, за годинниковою стрілкою.

Крім цього, напрямок вітру також визначають у румбах горизонту за 16-румбовою системою. Ця система використовує для позначення румбів початкові букви назв сторін світу: північ (Пв), південь (Пд), схід (С) і захід (З). Іноді з цією метою використовують латинські букви, відповідно: N, S, E та W. При позначенні проміжних румбів називають обидва румби, між якими знаходиться даний напрямок вітру, причому першим називають основний румб. Основних румбів два: північ N (Пв) і південь S (Пд). Таким чином, якщо напрямок вітру приходить між півднем і заходом, то він позначається ПдЗ і називається південно-західним. Якщо напрямок вітру приходить посередині між ПдЗ і Пд, то його позначають ПдПдЗ, у першу

чергу, вказуючи основний румб Пд, а потім похідний - ПдЗ.

Практика вимірювань швидкості і напрямку потоку в різних умовах показує, що вони міняються майже безупинно. Ця властивість особливо помітна у вітру. Значна мінливість величин V і φ робить їхні миттєві значення дуже хитливими характеристиками потоку. Тому при вимірюваннях прийнято визначати не миттєві, а усереднені значення швидкості і напрямку: $V_{ср}$ і $\varphi_{ср}$. Інтервал усереднення, як правило, складає від 1 до 10 хвилин - у залежності від задачі вимірювань і використовуваної апаратури.

Прилади, що служать для вимірювань швидкості вітру, називають **анемометрами**. Прилади, які вимірюють одночасно швидкість і напрямок вітру, називаються **анеморумбометрами**. Прилади, що реєструють ці величини, називають анеморумбографами. Швидкість і напрямок вітру прийнято вимірювати на висоті близько 10 метрів над поверхнею землі. Прилади, що використовуються для вимірювань швидкості морських і річкових течій, називаються гідрометричними млинками. Прилади, які вимірюють одночасно швидкість і напрямок течії, називають вимірниками течії. Глибина занурення приладів у поверхневих водах суші, як правило, не перевищує 20 м, у морському середовищі вона може досягати декількох тисяч метрів.

Вимірювання швидкості потоку

Принципи дії існуючих вимірників модуля швидкості повітряних і водних потоків досить різноманітні. Існують вимірники, в основу яких покладені залежності від швидкості потоку усіляких фізичних величин: механічних переміщень тіл різної форми, інтенсивності теплообміну тіл із середовищем, швидкості переносу заряджених частинок, швидкості поширення звукових хвиль і т.д.

Найбільше поширення в практиці вимірювань одержали прилади, які базуються на перетворенні швидкості потоку в механічне переміщення. Це переміщення може бути як поступальним, так і обертальним. На цей час широке застосування одержали прилади, у яких здійснюється перетворення швидкості потоку V у кутову швидкість обертання ω .

Типова структурна схема такого приладу представлена на рис. 13.

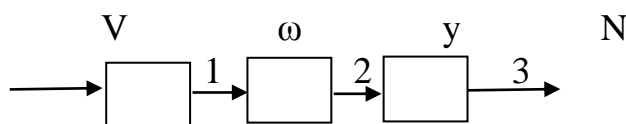


Рис. 13 - Типова структурна схема вимірника швидкості потоку.

- 1 - первинний вимірювальний перетворювач;
- 2 - вторинний вимірювальний перетворювач;
- 3 - відліковий (реєструючий) пристрій.

Первинний вимірювальний перетворювач такого приладу перетво-

рює швидкість потоку V у кутову швидкість обертання ω . Вторинний вимірвальний перетворювач перетворює величину ω у величину U , як правило, електричну і більш зручну для подальших перетворень.

Первинні перетворювачі вимірників швидкості потоку. Функцію первинного перетворювача у вимірниках швидкості потоку виконують спеціальні пристрої, називані млинками. Під дією тиску, створюваного потоком, млинки обертаються з кутовою швидкістю ω , яка залежить від швидкості потоку V . Причому залежність ω від V у сталому стані близька до лінійної.

У залежності від виду чутливих елементів, які безпосередньо сприймають тиск потоку розрізняють два основних види млиноків:

- ♦ чашкові, з чутливими елементами у вигляді порожніх півсфер чи півеліпсоїдів обертання;
- ♦ гвинтові, з чутливими елементами у вигляді лопатей певної форми.

Основні особливості перелічених млиноків.

Чашкові млинки. До складу чашкового млинка входять три або чотири чашки, укріплені за допомогою стрижнів, радіально розташованих в одній площині, перпендикулярній до осі обертання. Усі чашки знаходяться на рівній відстані від центру і при обертанні млинка орієнтуються опуклостями в один бік. Вісь обертання млинка, як правило, розташовується вертикально.

В основі роботи чашкових млиноків лежить розходження в тиску, який чинить потік на увігнуті та опуклі поверхні чашок. Оскільки чашкові млинки набули найбільшого застосування для вимірювань швидкості вітру, нижче розглядаються їхні властивості стосовно роботи в повітряному середовищі.

Схема чотиричашкового млинка, називаного хрестом Робінзона, представлена на рис. 14.

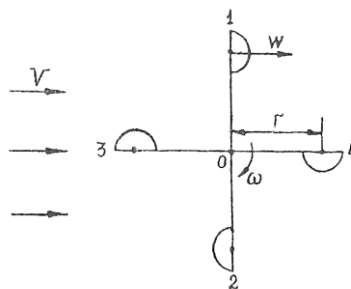


Рис. 14- Схема чотиричашкового млинка (хреста Робінзона).

1,.. .,4 - чашки; V - швидкість вітру; ω - кутова швидкість обертання млинка.

Вісь обертання млинка проходить через точку 0. Розглянемо сили, які діють на чашки в зазначеному на схемі положенні. Прийнемо, що у по-

чатковий момент часу швидкість потоку дорівнює нулю і млинок нерухомий. Збільшимо швидкість вітру стрибком до деякого постійного значення V . Напрямок вітру показаний на рисунку стрілками.

З появою вітру на чашки млинка починає діяти тиск повітряного потоку. Причому рівень цього тиску залежить від орієнтації чашки відносно напрямку потоку.

На чашку 1 діє тиск P_1 , який прагне повернути млинок за годинниковою стрілкою. На чашку 2 діє тиск P_2 , який прагне повернути млинок проти годинникової стрілки. Оскільки чашка 1 розташована щодо потоку увігнутою поверхнею, а чашка 2 - опуклою виявляється, що $P_1 > P_2$ і сумарний момент сил, створених цими тисками, буде повертати млинок за годинниковою стрілкою.

На чашки 3 та 4 вітер буде впливати однаково і практично не створить моментів для повороту млинка. Але як тільки вся система повернеться на деякий кут за годинниковою стрілкою, чашка 3 буде зорієнтована щодо вітру увігнутою стороною, а чашка 4 - опуклою. Оскільки тиск вітру на чашку 3 буде більше ніж на чашку 4, сумарний момент буде продовжувати повертати млинок за годинниковою стрілкою.

Завдяки такій дії потоку на чашки, млинок буде обертатися за годинниковою стрілкою з усе більшою швидкістю, тобто рухатися з прискоренням. Однак у міру зростання швидкості обертання млинка швидкість потоку відносно чашок буде змінюватися: вона буде зменшуватися для "увігнутої чашки", що рухається уздовж потоку, і збільшуватися для "опуклої чашки", що рухається назустріч потоку.

При цьому більший тиск вітру, діючий на увігнуті сторони чашок, буде убувати, а менший тиск, діючий на опуклі сторони - зростати. У результаті розходження між моментами буде скорочуватися, приводячи до зменшення сумарного обертального моменту і зниження прискорення. Нарешті, при певній швидкості обертання прискорення упаде до нуля, і рух млинка стане рівномірним. Установиться постійна кутова швидкість обертання млинка ω_0 .

Знайдемо зв'язок між величиною ω і швидкістю вітру V , тобто визначимо функцію перетворення чашкового млинка. Для цього запишемо загальний вираз для моменту сили, діючого на i -ту чашку. Він має такий вигляд:

$$M_i = P_i S_i C_i ,$$

де S_i - площа перерізу чашки; C_i - аеродинамічний коефіцієнт, що залежить від форми і розмірів чашки, а також від характеру руху повітряного потоку (ступеня турбулентності); P_i - тиск на чашку, створюваний повітряним потоком і визначений рівнянням Бернуллі.

Для першої і другої чашок швидкості будуть дорівнювати

$$U_1 = V - W,$$

$$U_2 = V - W,$$

де W - лінійна швидкість рівномірного руху центрів чашок, яка дорівнює

$$W = \omega_0 r,$$

де r - радіус обертання.

У сталому стані кутова швидкість обертання млинка постійна, отже, сумарний момент сил, діючих на чашки, дорівнює нулю.

При цьому момент сил, який повертає млинок за годинниковою стрілкою, вважається позитивним та, з урахуванням деяких спрощень та математичних скорочень, дорівнює: $M_1 = (V-W)^2 C_1$, а момент сил, який повертає млинок проти годинникової стрілки, вважається негативним та, з урахуванням деяких спрощень та математичних скорочень, дорівнює: $M_2 = (V+W)^2 C_2$

Дослідження різних чашкових млиноків показали, що незалежно від форми і розмірів чашок, відношення аеродинамічних коефіцієнтів C_1 та C_2 залишається приблизно постійним: $C_1/C_2 = 4$.

Відтак, можна записати: $4(V-W)^2 = (V+W)^2$.

Звідси: $W = 1/3 V$

Таким чином, лінійна швидкість центрів чашок W визначається швидкістю вітру і виявляється в три рази менше ніж значення V .

На основі вищевикладеного одержуємо шукану залежність сталої кутової швидкості обертання млинка ω від швидкості вітру V . Вона має досить простий вигляд:

$$\omega = V / 3r = kV,$$

де $k = 1/(3r)$ – коефіцієнт перетворення млинка.

Очевидно, функція перетворення чашкового млинка лінійна. Ще одним достоїнством такого млинка є відсутність необхідності орієнтувати його відносно напрямку повітряного потоку.

Гвинтові млинки. Гвинтові млинки, які застосовуються для вимірювань швидкості водних і повітряних потоків, мають декілька (дві-три і більше) лопатей різної форми і розмірів, які можуть бути пластмасовими чи металевими, збірними чи литими.

Прийнято називати гвинтовий млинок, що використовується для вимірювань швидкості вітру, повітряним гвинтом, а для вимірювань швидкості течії - лопатовим гвинтом.

Під дією потоку, що набігає на гвинт уздовж його осі, гвинтовий млинок, як і чашковий, починає обертатися спочатку прискорено. Потім його кутова швидкість стабілізується і через якийсь час стає постійною, залежною від швидкості потоку.

Відзначимо, що дія потоку на всі лопаті гвинта однакова. Це істотно відрізняє гвинтовий млинок від чашкового, у якого внески різних чашок у створення обертального моменту істотно розрізняються. Завдяки зазначеній особливості, момент, що обертає гвинт, виявляється значно більшим, ніж момент, що обертає чашковий млинок.

Це перевага особливо важлива для повітряного гвинта, якщо він використовується в районах, де в холодну пору року досить часто буває ожеледь. Гвинтовий млинок переборює обледеніння, що сковує його рух, значно краще від чашкового.

Знайдемо функцію перетворення гвинта, тобто зв'язок між швидкістю потоку V і кутовою швидкістю обертання гвинта ω_0 у сталому стані. Зробимо це на прикладі гвинта, що працює в повітряному потоці, і поширимо отримані висновки на лопатевий гвинт, що веде себе у водному потоці аналогічним чином.

Для вирішення поставленої задачі розглянемо одну з лопатей повітряного гвинта (рис. 8.3 а). Виділимо на цій лопаті елементарну ділянку шириною Δr , яка знаходиться на відстані r від центру O гвинта. Переріз виділеної ділянки показаний на рис. 8.3 б. Ця ділянка обертається з лінійною швидкістю, вектор якої позначений на рисунку W_r . Вектор швидкості повітряного потоку U_r відносно виділеної ділянки є різницею векторів V і W спрямований під кутом α до поверхні лопаті. Цей кут, називаний кутом атаки, дуже малий і, як правило, не перевищує 3...5 градусів.

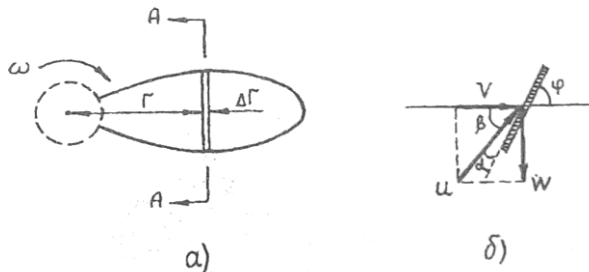


Рис.15 - До розрахунку функції перетворення гвинтового млинка.

З трикутника швидкостей, утвореного векторами V і W впливає:

$$W_r = V \operatorname{tg} \beta ,$$

де β - кут, визначуваний очевидним співвідношенням

$$\beta = \varphi - \alpha \approx \varphi$$

β - кут розвороту ділянки лопаті на відстані r від центру

Кутова швидкість ω_0 виділеної елементарної ділянки (і всієї лопаті в цілому) визначається має такий вигляд:

$$\omega_0 = W_r/r = \operatorname{tg}\varphi V/r = kV,$$

де k – коефіцієнт, що визначається виразом

$$k = \operatorname{tg}\varphi / r$$

Умовою ефективного використання всіх елементарних ділянок лопаті є забезпечення такого закону зміни φ по довжині лопаті, щоб коефіцієнт k залишався незмінним для всіх її ділянок. Залежність $\varphi(r)$ має такий вигляд:

$$\varphi = \operatorname{arctg}(kr)$$

Оскільки виготовлення таких гвинтів викликає певні технологічні труднощі, на практиці нерідко застосовують багатолопатні повітряні гвинти з укороченими плоскими лопатями, укріпленими на стрижнях. Такий гвинт часто називають **крильчаткою**. Він використовується, наприклад, в анеморумбометрі М-47, який входить до складу пересувної лабораторії "Атмосфера II" і в блоці вимірювання швидкості вітру метеорологічної станції М-49, що входить до складу комплектної лабораторії ПОСТ-1.

Відмітимо, що для вимірювання швидкості водних потоків застосовуються як гвинти з повними лопатями, так і крильчатки.

Вторинні перетворювачі вимірників швидкості потоку. Задачею вторинних перетворювачів вимірників швидкості потоку є перетворення кутової швидкості обертання млинка ω_0 в електричну величину.

Для здійснення такого перетворення досить зручно скористатися індукційним перетворювачем — тахогенератором. На виході тахогенератора одержують змінну напругу, амплітуда якої залежить від кутової швидкості обертання ротора. Такий перетворювач використаний, наприклад, у приладах М-47 та М-49.

Ще один спосіб вирішення поставленої задачі показаний на рис.16. Тут зображені схеми вимірників швидкості, в яких використовуються контактні пристрої. Такі вимірники часто називають **контактними**.

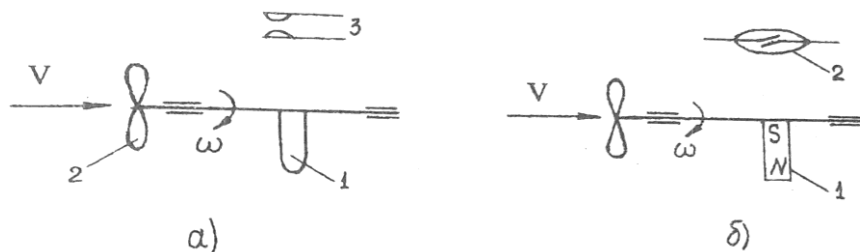


Рис. 16 - Контактні вимірники швидкості потоку.

а) 1 — штовхач; 2 — млинок; 3 - контактна група,

б) 1 — магніт; 2 - геркон.

На рис. 16 а показаний вимірник, в якому для вторинного перетворення використовуються контактна група і штовхач. При обертанні млинка

штовхач періодично замикає контактну групу і відбувається формування електричних імпульсів. Відраховуючи кількості імпульсів N за строго визначений час Δt , можна визначити середню швидкість потоку $V_{\text{сер}}$.

Величина N дорівнює: $N = n \Delta t$,

де n - кількість обертів млинка за одиницю часу, пов'язана з кутовою швидкістю його обертання ω_0 відомим співвідношенням

$$\omega_0 = 2\pi n$$

Функцію перетворення вимірника швидкості потоку (зв'язок між величинами N і $V_{\text{сер}}$) має такий вигляд:

$$N = k \Delta t V_{\text{сер}} / 2\pi = a V_{\text{сер}}$$

де a - коефіцієнт перетворення приладу, що визначається виразом:

$$a = k \Delta t / 2\pi$$

Основним достоїнством розглянутого вторинного перетворювача є його простота, а недоліком - вкрай низька надійність, обумовлена зносом контактної групи. Для підвищення надійності перетворювача вдаються до різних прийомів. Наприклад, у гідрометричному млинку ГР-21М контактний перетворювач розміщений у водонепроникному корпусі і залитий олією. Однак істотного виграшу таке ускладнення конструкції звичайно не дає.

Кращі експлуатаційні властивості мають прилади, у яких замість звичайної контактної групи використовується **геркон** (від слів: герметизований контакт). У герконі контактна група являє собою пару тонких гнучких пластин з феромагнітного матеріалу, поміщених у скляну оболонку, заповнену інертним газом. Під впливом магнітного поля пластини геркона злипаються, приводячи до замикання контактів. Для створення магнітного поля використовується постійний магніт, що наближається до геркона на необхідну відстань.

Спрощена схема приладу, побудованого з застосуванням геркону, показана на рис 16 б. Тут постійний магніт обертається млинком і періодично викликає замикання контактів геркона. Такий вторинний перетворювач використовується, наприклад, в анеморумбографі типу М-63 МР, що входить до складу комплектної лабораторії ПОСТ-2. Аналогічно побудований гідрометричний млинок типу ГР-99.

Перспективним є використання у вимірниках швидкості потоку оптоелектронного перетворювача. У якому світловий потік, спрямований на приймач випромінювання, періодично переривається модулюючим диском. З виходу приймача випромінювання знімається послідовність електричних імпульсів, частота f яких залежить від швидкості обертання млинка таким чином:

$$f = m k V / 2\pi$$

де m - число отворів, розташованих по периферії модулюючого диска;

n - кількість обертів млинка за секунду.

Функція перетворення оптоелектронного вимірника швидкості потоку набуває такого вигляду:

$$f = V b,$$

де b - коефіцієнт перетворення приладу, що визначається виразом:

$$b = m k / 2\pi,$$

Частота імпульсів, які генеруються оптоелектронним перетворювачем, вимірюється за допомогою спеціальних електронних приладів, названих частотомірами. У цифрових частотомірах вимір частоти зводиться до виміру кількості імпульсів за строго визначений час. В аналогових частотомірах проводиться перетворення частоти імпульсів у силу струму, вимірювану за допомогою електромеханічного приладу.

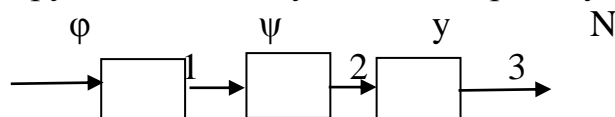
Вимірювання напрямку потоку. Найчастіше для визначення напрямку потоку використовуються первинні перетворювачі у вигляді твердої асиметричної (відносно вертикальної осі) системи з хвостовим оперенням з декількох пластин. Така система вільно обертається навколо вертикальної осі і під впливом потоку автоматично встановлюється вздовж нього.

В оперенні більшості систем використовуються дві пластини, розташовані під певним кутом. Така система, що називається Флюгаркою, вона має достатню чутливість і стійкість у потоці.



Рис. 17 - Конструкція флюгарки з крильчаткою.

Типова структурна схема вимірника напрямку потоку описаного типу представлена на рис. 8.7. В ній використовується вторинний вимірювальний перетворювач, який перетворює кут φ повороту первинного перетворювача у допоміжну величину V . Вона, як правило, електрична і зручна для відліку показань приладу.



- 1 - первинний вимірювальний перетворювач (флюгарка);
- 2- вторинний вимірювальний перетворювач;
- 3 - відліковий (реєструючий) пристрій.
- φ – напрямок потоку;
- ψ – кут повороту первинного перетворювача;
- N – показник приладу.

Рис. 18 Типова структурна схема вимірника напрямку потоку.

Умови роботи вимірників напрямку потоків в повітряних і водних середовищах трохи розрізняються. Це пов'язано, насамперед, з особливостями кріплення корпусів приладів. У повітряному потоці корпус приладу, жорстко закріплюється відносно земної поверхні і строго орієнтується на північ. Під впливом вітру флюгарка вільно повертається відносно корпуса датчика.

При вимірюваннях у водотоці корпус приладу опускається у воду на штанзі або тросі і він весь повертається під дією течії, виконуючи функцію флюгарки.

Описана відмінність, передусім, позначається на будові вторинного перетворювача. Розглянемо принцип дії найбільш розповсюджених варіантів вторинних перетворювачів, які використовуються у вимірниках напрямку вітру і водних течій.

Вторинні перетворювачі румбометри. Румбометрами називають прилади для вимірювання напрямку вітру. Як уже відзначалося, корпус румбометра - жорстко закріплюється відносно земної поверхні. У цих умовах за допомогою вторинного перетворювача вирішується задача визначення кута повороту флюгарки φ відносно відомого напрямку на північ.

Для рішення цієї задачі використовуються різні перетворювачі: від простих реостатних до досить складних сельсинних. Вибір відповідних перетворювачів визначається вимогами до точності, надійності, вартості й інших показників апаратури.

У цифрових вимірювальних приладах задача перетворення кута повороту флюгарки в електричний сигнал найпростіше вирішується за допомогою пристрою, названого кодуєчим диском (КД).

Основною частиною КД є диск із прозорого матеріалу, на поверхні якого нанесений спеціальний візерунок. У результаті зчитування елементів цього візерунку за допомогою оптоелектронного перетворювача одержують комбінацію цифр двійкового коду.

Вигляд цієї комбінації залежить від кута повороту диска.

Загальне число кодових комбінацій, які можна утворити за допомогою двійкового коду, залежить від кількості його розрядів n і визначається таким співвідношенням:

$$N = 2^t$$

Наприклад, за допомогою трирозрядного коду ($t = 3$) можна утворити $2^3 = 8$ кодових комбінацій, вигляд яких представлений у таблиці.

Таблиця 1. Вид кодових комбінацій трирозрядного двійкового коду.

Номер	0	1	2	3	4	5	6	7
Вид комбінації	000	001	010	011	100	10	11	11

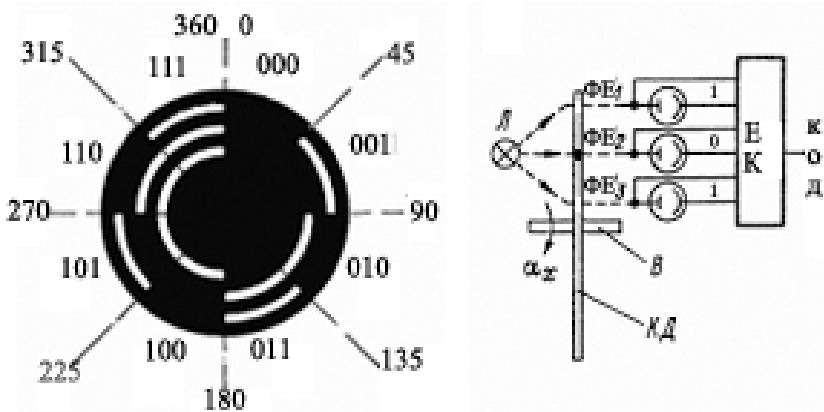


Рис. 19- Кодуючий диск.

Для нанесення візерунка на диск його поверхня розбивається концентричними колами на декілька кілець. їх кількість дорівнює кількості розрядів t використовуваного коду. Крім того, на поверхні диска виділяються сектори, кількість яких приймається рівною кількості використовуваних кодових комбінацій N . На рис. 8.8 показаний результат виконання зазначених операцій для диска, з якого зчитується трьохелементний код. На поверхні цього диска виділено 3 кільця й утворені 8 секторів (вони мають номери від 0 до 7).

Кожному сектору ставиться у відповідність певна кодова комбінація. Вона записується на диску шляхом зафарбовування певних ділянок цього сектору. Прозора ділянка сектору відповідає елементу коду «1», непрозора - елементу коду «0». На рис. 8.8 показаний вигляд диска з нанесеними на нього кодовими комбінаціями (непрозорі ділянки тут пофарбовані чорним).

На зображеному диску молодшому розряду коду відповідає зовнішнє кільце, а старшому - внутрішнє.

Кодуючий диск розташовують між джерелами світла L і фотоелементами FE , розміщеними по радіусу диска та обертається на валу «в». У моменти виміру на джерело світла « L » подається напруга живлення і воно спалахує. При цьому пучки світла досягають тільки тих фотоелементів, які

у даний момент знаходяться проти прозорих ділянок диска.

З освітлених фотоелементів знімається високий рівень сигналу, що інтерпретується як розряд коду «1». З фотоелементів, які знаходяться проти непрозорих ділянок, знімається низький (практично нульовий) рівень сигналу, що інтерпретується як розряд коду «0».

При положенні диска, показаному на рис. 19, пучки світла проходять тільки на ФЕ₁ та ФЕ₃. За допомогою цих фотоелементів формуються розряди коду «1». Неосвітлений фотоелемент ФЕ₂ формує розряд "0". У результаті на виході енкодера ЕК формується кодова комбінація 101, що складається з двох одиниць і одного нуля.

На практиці в румбометрах, як правило, використовується шести-елементний двійковий код, що дозволяє утворити $2^6 = 64$ кодові комбінації. При цьому похибка визначення кута повороту флюгарки складає близько 6 градусів ($360 / 64 = 5.6^\circ$).

Одним із джерел похибок приладу з кодуєчим диском є невизначеність, що виникає, коли проти ДС і ФЕ знаходиться межа між двома секторами. У цьому випадку один елемент коду може бути зчитаний з даного сектора, а інший - із сусіднього. Причому кількість помилок при зчитуванні коду може бути тим більше, чим сильніше розрізняються елементи кодових комбінацій сусідніх секторів.

Наприклад, коди секторів 1 та 2 відрізняються другим і третім елементами (перший у них однаковий). При зчитуванні на межі цих секторів можуть бути отримані як правильні комбінації 001 і 010, так і неправильна -011. Ще гірше стоїть справа на межі між секторами 3 та 4, комбінації яких відрізняються всіма елементами. Тут, у принципі, може бути зчитана будь-яка комбінація від 000 до 111, тобто похибка може досягати 100%.

Щоб уникнути зазначених помилок, для створення КД використовується не звичайний двійковий код, а спеціальний код Грея. Його кодові комбінації для $m = 3$ показані в таблиці 8.2.

Таблиця 2 - Вид кодових комбінацій трирозрядного коду Грея.

Номер	0	1	2	3	4	5	6	7
Вид комбінації	000	001	011	010	11	11	10	100

Зверніть увагу, що всі сусідні кодові комбінації тут відрізняються тільки одним елементом. Причому це справедливо також і для крайніх комбінацій 0 та 7. У результаті при зчитуванні коду Грея на будь-якій межі секторів може бути отримано не більше двох варіантів кодових комбінацій, що відповідають саме тим секторам, межа яких знаходилася в момент відліку проти Л і ФЕ.

Вторинні перетворювачі вимірників напрямку течії. Вимірник напрямку течії вільно підвішується у водному середовищі і змінює своє положення під дією потоку. За таких умов вторинний перетворювач

повинен у момент виміру забезпечити вирішення двох задач. По-перше, визначити напрямок на північ, і, по-друге, перетворити кут повороту корпусу приладу відносно цього напрямку у величину, зручну для запам'ятовування чи дистанційної передачі. Для вирішення поставлених задач до складу вторинного перетворювача, як правило, включається спеціальний компас.

Розглянемо будову і принцип дії декількох вторинних перетворювачів, що знайшли застосування у приладах контролю забруднення водного середовища.

У морському млинку типу ВММ для визначення напрямку течії служить компасна коробка з набором з 20...23 бронзових (або латунних) кульок діаметром 3 мм, розміщених у трубці-магазині. У центрі коробки на шпильці знаходиться магнітна стрілка, яка має жолоб уздовж верхньої поверхні її північного кінця. По периферії компасної коробки розміщені 36 секторів, що займають по 10° кожний. Сектори розділені високими перегородками.

Періодично, через задане число обертів лопатевого гвинта, із трубки - магазину до компасної коробки опускається одна кулька. Вона попадає на магнітну стрілку і по її жолобу скочується в той сектор компасної коробки, що знаходиться в даний момент під північним кінцем стрілки. Таким чином, по номеру сектора, у який потрапила чергова кулька, неважко визначити напрямок потоку в даний момент. Очевидно, він дорівнює $j * 10$, де j - номер сектору. Відмітимо, що сукупність секторів компасної коробки разом з кульками, які потрапили туди, утворюють своєрідний запам'ятовувачий пристрій (ЗП).

Після завершення вимірювань і підйому приладу з води робиться зчитування інформації, накопиченої в такому ЗП. Для цього проводиться підрахунок кількості кульок, що скотилися у відповідні сектори компасної коробки. Аналізуючи розподіл кульок по секторах, судять про те, які положення займала вісь лопатевого гвинта протягом вимірювального циклу і скільки разів ці положення відзначалися.

На основі отриманих відомостей можна визначити середній напрямок течії $\varphi_{\text{сер}}$. Для цього множать номер кожного сектора на число кульок які потрапили до нього. Потім поділяють отриману суму добутків на загальне число кульок, що випали. Результат множать на 10, тому що кожен сектор відповідає десятьом градусам.

Ще один спосіб реєстрації напрямку течії застосований у серії приладів типу БПВ (друкувальні самописці течії). У них з магнітною стрілкою компасу зв'язаний друкувальний диск напрямків, на якому нанесені опуклі дзеркальні зображення цифр, що відображають значення напрямків течії через 10° . Періодично, у моменти відліку, друкувальний пристрій змазує фетровим валиком з фарбою відповідні цифри на диску і притискає до них паперову стрічку. При цьому на стрічці друкуються значення напрямку,

що можуть бути прочитані після підйому приладу.

Очевидним недоліком обох розглянутих схем є неможливість одержання результатів вимірювань безпосередньо в період перебування приладу у водотоці, тобто до його підйому з води.

Цього недоліку позбавлений вимірник течії ГР-42, у якому роль вторинного перетворювача виконує дистанційний потенціометричний компас. У ньому кутове положення магнітної стрілки відносно корпусу приладу перетворюється в електричний опір за допомогою реостатного перетворювача спеціальної конструкції. Його движок зв'язаний зі стрілкою компаса.

Застосування такого перетворювача дозволяє дистанційно контролювати напрямок потоку в процесі вимірювання, не виймаючи прилад з води. Однак надійність описаного пристрою порівняно невисока через значну небезпеку порушення контакту між движком і обмоткою перетворювача.

Більш високі експлуатаційні властивості мають, так називані, **рідинні потенціометри**. Спрощена схема рідинного потенціометра представлена на рис.20.

В цьому потенціометрі роль обмотки відіграє шар електропровідного розчину, який заповнює компасну коробку. У розчині плаває легкий циліндр з діелектричного матеріалу. Він з'єднаний з магнітною стрілкою і повертається разом з нею. На бічній поверхні циліндра є вузький вертикальний проріз, через який сполучаються об'єми розчину, розташовані всередині і зовні циліндра.

Вихідний сигнал перетворювача знімається за допомогою двох нерухомо закріплених електродів, поміщених у розчин. Один з них розташований усередині циліндра, а інший - зовні його. При повороті магнітної стрілки відбувається переміщення прорізу циліндра відносно вихідних електродів.

Внаслідок цього змінюється довжина шляху через розчин від одного електрода до іншого, тобто змінюється товщина шару розчину між електродами.

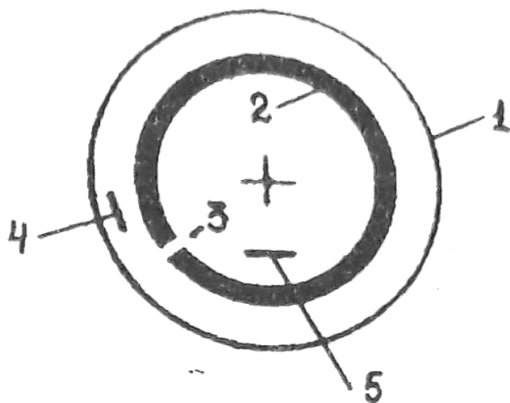


Рис.20 Рідинний потенціометр.

- 1- компасна коробка;
- 2 - легкий циліндр; з'єднаний з магнітною стрілкою;
- 3- вузький вертикальний проріз;
- 4, 5 - нерухомо закріплені електроди.

Якщо через розчин у компасній коробці пропустити струм від зовнішнього джерела живлення (він на рисунку не показаний), то на електродах 4 та 5 появиться напруга U_{ϕ} . Вона буде залежати від товщини шару розчину між електродами і, як наслідок цього, - від положення магнітної стрілки. Таким чином, по значенню напруги U_{ϕ} можна судити про напрямок потоку.

Крім розглянутих вище перетворювачів у вимірниках напрямку течії використовуються і деякі інші. Серед них, наприклад, кодуєчі диски, кут повороту яких задається магнітною стрілкою.

Радіація та дози випромінювання. Розрізняють [6–8] природні і створені людиною джерела випромінювання. Основну частину випромінювання населення Землі отримує від природних джерел. Природні джерела космічного та земного походження створюють *природний радіаційний фон* (ПРФ). На території України природний фон створює потужність експозиційної дози від 40-200 мбер/рік. Випромінювання, обумовлене розсіяними в біосфері штучними радіонуклідами, породжує *штучний радіаційний фон* (ШРФ).

Поєднання ПРФ та ШРФ утворює радіаційний фон (РФ), який діє на все населення земної кулі. маючи відносно постійний рівень.

Найвагомішим з усіх природних джерел радіації є невидимий важкий газ радон (у 7,5 раза важчий за повітря). Радон і продукти його розпаду випромінюють приблизно 3/4 річної індивідуальної ефективної еквівалентної дози опромінювання, отримуваної населенням від земних джерел, і приблизно за половину цієї дози від усіх джерел радіації. У радіометрії та дозиметрії використовуються *радіометри та дозиметри*.

Радіометри - це прилади, призначені для визначення швидкості розпаду радіоактивних речовин (радіонуклідів) або потоку випромінювання. Наприклад, газорозрядні лічильники (Гейгера - Мюллера).

Дозиметри - це прилади для вимірювання потужності експозиційної або поглинутої дози.

Спектрметри використовують для реєстрації й аналізу енергетичного спектра і поглинутої дози, а також ідентифікації на цій основі випромінюючих радіонуклідів.

Принцип дії будь-якого приладу, призначеного для реєстрації проникаючих випромінювань, полягає у вимірюванні ефектів, що виникають у процесі взаємодії випромінювання з речовиною.

Найпоширенішим є іонізаційний метод реєстрації, що ґрунтується на вимірюванні безпосереднього ефекту взаємодії випромінювання з речовиною.

Іонізаційний метод здійснюється за допомогою іонізаційної камери і базується на оцінці ступеня іонізації середовища, через яке проходить випромінювання. Чим більша потужність дози, тим більше виникає іонів, тим більший іонізаційний струм. Вимірюючи величину іонізаційного струму одержують уявлення про потужність дози іонізуючого випромінювання. Для вимірів застосовують іонізаційні камери або лічильники, що слугують датчиком, і схеми реєстрації, що містять чутливі елементи. Іонізаційна камера являє собою конденсатор, що складається з двох електродів між якими міститься газ. Електричне поле між електродами створюється від зовнішнього джерела. За відсутності радіоактивного джерела іонізації в камері не відбувається і вимірювальний прилад струму показує на нуль. Під дією іонізуючого випромінювання в газі камери виникають позитивні та негативні іони. Під дією електричного поля негативні іони рухаються до позитивно зарядженого електрода, позитивні до негативно зарядженого електрода. У колі виникає струм, який реєструється вимірювальним приладом. Іонізаційні камери звичайно працюють в режимі струму насичення, при якому кожний акт іонізації дає складову струму.

Сцинтиляційний метод реєстрації випромінювань ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світлових спалахів, що виникають у люмінесцентних речовинах при проходженні крізь них іонізуючих випромінювань. Сцинтиляційний метод полягає у вимірах інтенсивності світлових спалахів, що виникають у речовинах, які мають властивості люмінесценції (йодид калію, натрію, цезію або антрацен, стильбен тощо) під час проходження через них рентгенівського або γ -випромінювання. Для реєстрації світлових спалахів використовують *фотоелектронний помножувач* (ФЕП) із електронною схемою реєстрації. Речовини, що випромінюють світло під дією іонізуючого випромінювання, називаються сцинтиляторами (фосфорами, флуорами, люмінофорами).

ФЕП дає змогу перетворювати слабкі спалахи від сцинтилятора в достатньо великі електричні імпульси, які можна зареєструвати звичайною нескладною електронною апаратурою.

Сцинтиляційні лічильники можна застосовувати для вимірювання кількості заряджених частинок, гамма-квантів, швидких та повільних нейтронів; для вимірювання потужності дози від бета -, гамма - та нейтронного випромінювань; для дослідження спектрів гамма - та нейтронного випромінювань.

Фотографічний метод. Під час дії випромінювання на фотографічну плівку або пластинку в результаті іонізації у фотоемульсії відбуваються фотохімічні процеси, внаслідок яких після проявлення

виділяється металічне срібло у тих місцях, де відбулося поглинання випромінювання. Хімічно оброблена плівка має прозорі та почорнілі місця, які відповідають незасвіченим та засвіченим ділянкам фотоемульсії. Використовуючи цей ефект для дозиметрії, можна встановити зв'язок між ступенем почорніння плівки та поглинутою дозою.

Описані вище методи реєстрації випромінювань дуже чутливі і непридатні для вимірювання великих доз. Для вимірювання досить великих потужностей дози застосовують калориметричні методи, в основі яких лежить зміна кількості тепла, виділеного у речовині, що поглинає радіацію.

Калориметричні методи застосовують для градування простіших методів визначення поглинутих доз, а також для визначення сумісного та роздільного гамма -, та нейтронного випромінювань у ядерних реакторах, прискорювачах, де потужність поглинутої дози складає кілька десятків рад на годину.

Великого поширення набули напівпровідникові, а також фото -, та термолюмінесцентні детектори іонізуючих випромінювань.

Таким чином, розрізняють фізичні, хімічні та біологічні методи дозиметрії: іонізаційний, сцинтиляційний (люмінесцентний), напівпровідниковий, термолюмінесцентний, нейтронно-активаційний, калориметричний, фотографічний, хімічний, біологічний та розрахунковий (математичний).

Напівпровідниковий метод – під час опромінення в напівпровідникових детекторах виникає струм, за величиною якого можна визначити потужність дози випромінювання, що діє на детектор.

Термолюмінесцентний (фотолюмінесцентний, радіолюмінесцентний) метод базується на здатності кристалічних люмінофорів (наприклад літію фторид, активований сріблом) накопичувати поглинену енергію випромінювання. У разі додаткового нагрівання кристалів у певному режимі відбувається термолюмінесцентне "висвічування", інтенсивність якого залежить від дози опромінювання, котру поглинув люмінофор.

Біологічні методи дозиметрії – базуються на дослідженні біоматеріалів (хромосомний аналіз лімфоцитів периферичної крові, пунктату кісткового мозку, електронний парамагнітний резонанс емалі зубів, екстрагованих за медичними показами) та урахуванні променевих реакцій організму. Даний метод дозиметрії використовується в клінічній практиці.

Типи приладів для вимірювання дози і радіоактивності.

1. **Дозиметри** — індивідуальні (ТЛД, ДКГ – 21, АСІДК – 21 та ін.), пошукові (СРП 68 – 01, СРП 03Т, ДРГ 01Т, ДРГ – 3 01Т1), дозиметри

контролю захисту (ДРГ 3 – 02 та ін.), лабораторні (РКС – 01, МКС – 0,5 та ін.) і клінічні (VJ – 18, VJ - 23). Їх використовують для визначення потужності доз.

2. Радіометри використовують для визначення активності у зразку, активності об'єктів зовнішнього середовища, рівнів радіоактивного забруднення поверхонь та ін.

3. Для вимірювання спектрів іонізуючого випромінювання призначені прилади, які мають назву спектрометри.

Програмний комплекс GammaLab [9–10], призначений для моделювання в реальному часі апаратних гамма-спектрів напівпровідникових та сцинтиляційних детекторів під час вимірювань широкого кола джерел, довільної просторової конфігурації та радіонуклідного складу. Комплекс може бути використаним у якості симулятора для навчання роботі із спектрометричним устаткуванням та програмним забезпеченням за відсутності дорогого обладнання та з метою запобігання робіт з реальними джерелами іонізуючого випромінювання. За його допомогою можуть вирішуватись задачі калібрування апаратури, а також тестування програмного забезпечення та методик вимірювання у випадках, коли атестовані джерела випромінювання з заданими властивостями (розмірами, фізико-хімічними характеристиками, радіонуклідним складом) відсутні, або їх виготовлення потребує значних витрат. Для вирішування вищезазначених задач GammaLab дозволяє створювати "гамма-спектрометричну лабораторію" з віртуальними детекторами та джерелами. Комплекс інтегровано до спектрометричного програмного забезпечення, яке постачається під маркою «ІСРМ» - відомого виробника програмних продуктів у галузі спектрометрії та радіометрії. Комплекс GammaLab це набір програмних модулів та баз даних, які працюють під керуванням єдиної графічної оболонки. За допомогою GammaLab можна моделювати гамма-спектри для напівпровідникових та сцинтиляційних детекторів. Спеціально розроблена графічна оболонка дозволяє задавати геометричні розміри та матеріали конструкційних елементів детектора та коліматора. У якості матеріалів може задаватися будь-яка суміш хімічних елементів та сполук.

3.2 Вимірювання та контроль фізичних величин вимірювальними інформаційними системами. Основні блоки вимірювальних інформаційних систем. Вимірювальні системи автоматичного контролю. Телевимірювальні системи

Інформаційні системи вирішують коло завдань, пов'язаних з пошуком, накопиченням, переробкою, передачею, зберіганням, і ідентифікацією інформації.

Інформаційні системи, які призначаються для одержання й обробки вимірювальної інформації, називаються *вимірювальними інформаційними системами*.

Інформаційно-вимірювальна система (в подальшому – ІВС) – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних технічних засобів для одержання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою контролю, діагностики, ідентифікації.

Система включає до себе багато приладів і перетворювачів, кожний з яких виконує відносно прості функції. При цьому вона являє собою не просто суму незалежних приладів, а об'єднання взаємозалежних приладів, що беруть участь спільно у виконанні деякої складної функції або ряду функцій. Для системи характерно автоматичне виконання всіх функцій, починаючи від збору інформації й кінчаючи її відображенням або введенням в ЕОМ.

Основні функції, які виконує ІВС:

- збирання інформації на об'єкті;
- обробка її;
- передача інформації на відстань.

Далі інформація про значення вимірюваних величин або про результати їхньої обробки використовується для оперативного керування об'єктами або накопичується з метою наступного формування тих або інших характеристик об'єктів, зведених статистичних відомостей і ін.

Прилади, що видають при аналоговому відтворенні двохкоординатні криві (по одній координаті - час, по іншій - вимірювана величина), при цифровому відтворенні - таблиці, у яких кожному дискретному значенню вимірюваної величини відповідає значення часу.

Якщо інформація надходить у регулюючі або керуючі пристрої, в ЕОМ (комп'ютер) або в пристрої довгострокового зберігання, то вона представляється на виході ІВС у вигляді електричних сигналів – аналогових або цифрових.

Особливе місце серед ІВС займають телевимірювальні системи. Їх функції такі ж, як у вимірювальних систем і систем автоматичного контролю. Однак вони мають істотну особливість: у них інформація про значення вимірюваних величин передається на більші відстані - від сотень метрів до тисячі кілометрів.

В ІВС використовується також ряд специфічних блоків, приладів і пристроїв, серед яких:

- комутатори (пристрої обігу. рос.–обегания);
- перетворювачі кодів (з однієї системи числення в іншу, з паралельної форми подання в послідовну й назад);
- блоки формування й перевірки;
- пристрої обробки інформації (корекції нелінійності, масштабування, виявлення відхилень і ін.);

- блоки кодування часу;
- екранні пульти (дисплеї);
- канали зв'язку, точніше, сукупність технічних засобів, що утворюють канали зв'язку.

Система автоматичного контролю (автоматична система контролю) — вид інформаційно-вимірювальної системи, що забезпечує проведення контролю без участі людини^[1] і є основним джерелом інформації при управлінні автоматизованим виробництвом, зокрема, в складі систем автоматичного регулювання і автоматичних систем керування технологічними процесами.

Основне завдання системи автоматичного контролю — це встановлення відповідності між станом об'єкта і заданою нормою, а також у відтворенні судження про даний чи (і) про майбутній стан об'єкта. За допомогою таких систем вимірюють фізичні величини, що характеризують стан об'єкта, і результати вимірювань порівнюються зі значеннями, взятими за норму.

Для того, щоб отримати в результаті контролю інформацію про поточний стан об'єкту контролю та її співвідношення з параметрами нормального стану будь-яка система автоматичного контролю повинна виконувати такі функції:

- сприйняття вхідних величин та перетворення їх в сигнали для наступних операцій;
- формування і реалізація нормативних значень в аналоговому чи цифровому вигляді;
- порівняння вхідних величин чи функцій від них з нормативними;
- автоматичне керування роботою системи контролю.

Додатково на системи автоматичного контролю можуть покладатися такі функції:

- аналогово-цифрове перетворення;
- індикації та/або реєстрації аналогової чи цифрової вимірювальної інформації;
- обчислювальні процедури над аналоговими чи цифровими сигналами;
- формування сигналів запиту, що необхідні для отримання інформації контролю;

Типова система автоматичного контролю в загальному випадку включає первинний вимірювальний перетворювач (датчик), вторинний перетворювач, лінію передачі інформації (сигналу) і реєструючий прилад. Часто система контролю має тільки чутливий елемент, перетворювач, лінію передачі інформації і вторинний (реєструючий) прилад.

При цьому проміжні результати вимірювань, що використовуються для відтворення суджень, можуть і не надходити на вихід системи. З цього погляду контроль є операцією стиску даних, усунення непотрібних у

цьому випадку відомостей про об'єкт. Для відтворення судження про майбутній стан об'єкта система контролю повинна виконувати прогнозування на основі даних про попередні стани об'єкта, що отримані під час вимірювань, а також на основі його динамічних характеристик, відомих завдяки проведеним раніше дослідженням.

Основні складові елементи системи автоматичного контролю

- Датчик, як правило, містить чутливий елемент, що сприймає величину вимірюваного параметра, а в деяких випадках і перетворює її в сигнал, зручний для дистанційної передачі на реєструючий прилад, а при необхідності — в систему регулювання.

Приклади:

- 1) мембрана диференціального манометра, що вимірює різницю тиску на об'єкті.
- 2) термопара.

Серед неоднорідних перетворювачів найбільшу групу складають перетворювачі неелектричних величин в електричні (термопари, терморезистори, тензометричні датчики, п'єзоелементи тощо).

Телемеханіка – це область науки і техніки, до якої відноситься комплекс питань, пов'язаних з методами і засобами дистанційного керування виробничими об'єктами і процесами.

Тому у складі систем телемеханіки на відміну від систем автоматики є додаткові пристрої або лінії зв'язку, приймачі і передавачі.

Лінії зв'язку - це фізичне середовище (дроти або радіолінії), по яким з найменшими витратами передаються сигнали.

Системи телемеханіки будуються на використанні елементів електротехніки та по своєму призначенню підрозділяються на системи:

- телевимірювання (ТВ);
- телесигналізації (ТС);
- телекерування (ТУ);
- телерегулювання (ТР).

Система телевимірювання призначена для передачі через лінію зв'язку (ЛЗ) на значні відстані різні значення вимірюваних електричних і неелектричних величин.

Система телесигналізації служить для передачі на значні відстані критичні значення контрольованих величин.

Система телекерування служить для передачі сигналів на вмикання або вимикання різних механізмів на об'єкті управління. Отже ТУ є розімкненою системою.

Система телерегулювання, або замкнута система телекерування, служить для регулювання якоїсь фізичних величин на об'єкті управління шляхом подачі сигналу на зміну цієї величини і контролю за її зміною,

тобто система телерегулювання складається з системи телевимірювання і розімкненої системи телекерування.

3.3 Основи вимірювань імовірнісних характеристик випадкових процесів: математичного очікування, дисперсії випадкового процесу, значень функцій розподілу ймовірності, кореляційної функції. Гамма-спектроскопія. Гамма-спектрометри. Аналізатори імпульсів

Розглядаються питання вимірювань статистичних характеристик, середнього значення, дисперсії, кореляційної функції, енергетичного спектру, густини розподілу ймовірностей.

При вивченні цих питань необхідно розглянути основні засоби отримання характеристик випадкових процесів: функцій розподілу ймовірностей, середнього і середньоквадратичного значень, кореляційних функцій і спектральної густини потужності.

При вимірюванні характеристик випадкових процесів отримати повністю вірогідні результати теоретично неможливо, оскільки кількість вимірювань обмежена.

Характеристики розподілу, які отримані експериментально, називаються статистичними характеристиками або оцінками.

Вимірювання математичного сподівання випадкового процесу, починається з подачі випадкового процесу на аналого-цифровий перетворювач. Після цього дискретні числові значення подаються на два входи перемножувача (квадратора), на виході якого отримують квадрати вибірових значень випадкового процесу, які подають на пристрій усереднення вибірових значень. З виходу пристрою арифметичне середнє квадратів числових значень інвертується інвертором та подається на один з чотирьох входів суматора. На два входи суматора подається арифметичне середнє числових значень, яке отримується, на виході додатково встановленого пристрою для усереднення, на вхід якого подаються вибірові значення з виходу аналого-цифрового перетворювача.

Функція розподілу ймовірностей дискретної випадкової величини та її властивості

Розглянемо функцію $F(x)$, визначену на всій числовій осі Ox . Для кожного x значення $F(x)$ дорівнює ймовірності того, що дискретна випадкова величина ξ приймає значення менші x .

Тобто $F(x) = P(\xi < x)$.

Ця функція називається *функцією розподілу ймовірностей*, або *функцією розподілу*.

Знаючи функцію розподілу $F(x)$, легко знайти ймовірність того, що випадкова величина ξ задовольняє нерівності $x' \leq \xi < x''$.

За визначенням функції розподілу

$$P(x' \leq \xi < x'') = F(x'') - F(x')$$

Імовірність попадання дискретної випадкової величини в інтервал $x' \leq \xi < x''$ дорівнює приросту (the growth) функції розподілу на цьому інтервалі.

Основні властивості функції розподілу.

1. Функція розподілу є не спадною.

Нехай $x' < x''$, $P(x' \leq x < x'') \geq 0$. Із знайденої формули отримаємо:
 $F(x'') - F(x') \geq 0 \Rightarrow F(x'') \geq F(x')$

2. Значення функції задовольняють нерівність:

$$0 \leq F(x) \leq 1, F(-\infty) = \lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$$

$$F(+\infty) = \lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1$$

, це випливає з означення функції $F(x)$.

3. Імовірність того, що дискретна випадкова величина ξ приймає одне із можливих значень x_z , дорівнює стрибку функції розподілу в точці x_z .

Кореляційна функція

Кореляційна функція є не випадковою функцією і являє собою кореляційний момент перерізу випадкової функції для кожної пари t і t' значень аргументу. Ця функція описує внутрішню структуру випадкових процесів; вказує ступінь залежності ординат (тобто значення X) однієї від іншої при збільшенні інтервалів між відрізками часу t і t' .

Значення $x(t')$ функції в числі t' залежить від значення $x(t)$. При близьких значеннях t' і t , якщо величина $x(t)$ прийняла будь-яке значення, то і величина $x(t')$ з великою ймовірністю буде мати близьке до нього значення, а зі збільшенням інтервалу між t' і t ступінь залежності величини $x(t)$ і $x(t')$ буде зменшуватись.

Кореляційна функція визначається:

$$k_{x_t x_{t'}} = M \{ [x(t) - x_{m.c.}] [x(t') - x_{m.c.}] \},$$

де M – символ моменту;

$x(t')$, $x(t)$ – значення функції при значеннях аргументу t' і t .

При $t' = t$

$$k_{x_t x_{t'}} = m \left\{ [x(t) - x_{m.c.}]^2 \right\} = D_x(t)$$

Тобто перетворюється у дисперсію.

Кореляційна функція $k_{x_t x_{t'}}$ залежить від послідовності розглядуваних величин $x(t)$ і $x(t')$ не змінюється при переміні аргументів місцями:

$$k_{x_t x_{t'}} = k_{x_{t'} x_t}$$

Якщо через n реалізацій випадкової функції провести m перерізів, то для кожного з перерізів кореляційний момент становитиме

$$k_{x_t x_{t'}} = \frac{1}{n-1} [(x_{it} - x_{m.c.})(x_{it'} - x_{m.c.})]$$

де x_{it} та $x_{it'}$ – значення i -ї функції у проміжку часу t і t' .

Кореляційна функція для стаціонарних процесів залежить від вибраного проміжку часу між двома сусідніми значеннями аргументу. Якщо різницю $t' - t$ позначати через τ , то в стаціонарних функціях кореляційний момент залежить тільки від довжини τ , а не від місця, де вибраний цей інтервал.

$$k_{x_t x_{t'}} = k_{x_t x(t-\tau)} = k_x(\tau)$$

Величина $k_x(\tau)$ означає, що кореляційна функція випадкової функції x виражається залежно від інтервалу τ . Кореляційна функція $k_x(\tau)$ є парною функцією і будується для додатних значень аргументу.

На практиці користуються нормованою кореляційною функцією:

$$\rho_x(\tau) = \frac{k_x(\tau)}{D_x}$$

де ρ_x – дисперсія стаціонарного процесу, який є величиною сталою.

Процес моделювання гамма-спектрів за допомогою GammaLab складається з двох етапів. На першому етапі генеруються так звані шаблони спектрів - набір гамма-спектрів, розрахованих для даного радіонуклідного складу джерела випромінювання та даної геометрії вимірювання, вміщуючи геометрію джерела, контейнера, детектора та коліматора. Шаблони розраховуються для сукупності точок простору навколо джерела та набору орієнтувань детектора у кожній такій точці. Також враховуються характеристики енергетичної шкали та роздільної здібності за енергією віртуального гамма-спектрометра. На другому етапі, на підставі отриманих шаблонів відбувається моделювання гамма-спектра

у реальному часі для конкретного розташування та взаємного орієнтування детектора та джерелі із відображенням процесу набору спектра у штатній спектрометричній програмі (SpectraLine [9-10]).

В основі методики розрахунку шаблонів покладено метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло), як найбільш адекватний для розв'язку даної задачі. Вона базується на оптимізованому підході, який дозволяє використовувати один і той самий набір стандартизованих функцій відгуку детектора для моделювання спектрів від довільних джерел випромінювання.

Напочатку із використанням імітаційної схеми Монте-Карло відбувається розрахунок нормалізованих функцій відгуку детектора для стандартизованої геометрії вимірювання - точкове джерело розташоване на вісі обертання детектора на відстані 25 см від його вхідного вікна. Функції відгуку розраховуються для заданого енергетичного діапазону (наприклад: 30 кеВ - 3 МеВ) та логарифмічною/лінійною сіткою за енергією гамма-променів, що реєструються. У кожній розрахунковій точці функція відгуку уявляє собою сукупність ефективностей реєстрації за піком повного поглинання, пікам одиночного та подвійного виліту, піком 511 кеВ, піками виліту рентгенівських характеристичних квантів, а також параметрів кусково-безперервної поліноміальної апроксимації форми безперервного комптонівського розподілу. Транспорт фотонів відбувається із урахуванням основних типів взаємодії - когерентного розсіяння, фотоефекта, ефекту народження пар та комптонівського розсіяння. Для оптимізації розрахунків застосовується моделювання джерела за цінністю, коли випромінювання гамма-променів моделюється у межах тілесного кута детектора. На підставі отриманих функцій відгуку та параметрів аналізатора (кількість каналів, ціна каналу та роздільна здібність за енергією для ліній 122 кеВ та 1.33 МеВ) розраховується матриця відгуку детектора з енергетичним кроком, що дорівнює енергетичній ціні каналу аналізатора.

Далі, методом Монте-Карло розраховуються квазіфізичні спектри випромінювання для заданого діапазону енергій гамма-променів, для заданої енергетичної сітки та для заданого набору точок розташування спектрометра (детектор + коліматор) та його орієнтації відносно джерела (контейнер + зразок). Квазіфізичні спектри уявляють собою згортку реального фізичного спектру випромінювання, що утворюється контейнеризованим джерелом, та повної ефективності реєстрації детектуємої системи. Для збільшення ефективності моделювання використовується локальна оцінка потоку фотонів у місці розташування детектора (метод точкового детектора), при якому враховується внесок кожного фотону, емітованого джерелом, та кожного фотону, який провзаємодівав. При розрахунку спектрів для сильноекранованих джерел додатково застосовується ще один метод зменшення дисперсії – так зване

експоненціальне перетворення. Квазіфізичні спектри у кожній розрахунковій точці, які характеризуються енергією гамма-променів, взаємним розташуванням і орієнтацією спектрометра та джерела, уявляють собою сукупність інтенсивностей прямого (нерозсіяного) випромінювання джерела, інтенсивностей анігиляційного випромінювання, а також параметрів кусково-безперервної поліноміальної параметризації безперервного розподілу розсіяних фотонів.

По закінченні розрахунків методом Монте-Карло, із використанням розроблених процедур інтерполяції проводиться суперпозиція квазіфізичних спектрів моноліній у відповідності з інтенсивностями ліній випромінювання джерела для отримання сумарного спектру. Інтенсивності ліній випромінювання розраховуються для заданої активності та радіонуклідного складу джерела на підставі оригінальних даних бібліотеки оцінених ядерних даних по структурі ядра ENSDF, які містяться у пакеті NuclideMaster. Отриманий сумарний квазіфізичний спектр у подальшому згортається з матрицею відгуку детектора для отримання шаблону апаратурного спектра для заданих параметрів спектрометра (детектор + коліматор + аналізатор) та джерела (контейнер + зразок + радіонукліди). Ця процедура виконується для кожної розрахункової точки простору та кожної орієнтації детектора відносно джерела.

Для моделювання апаратурних спектрів у реальному часі використовується алгоритм швидкого моделювання, який полягає у перенормуванні розрахованих шаблонів з урахуванням конкретного розташування та орієнтації спектрометра відносно джерела випромінювання. Оскільки у загальному випадку вони відрізняються від розташування та орієнтації спектрометра, для яких були проведені розрахунки, застосовується спеціальна процедура інтерполяції та перенормування шаблонів. Перенормування полягає у врахуванні фактичної відстані між джерелом та детектором, а також оцінці відносної частини розгорнутої до детектора (із урахуванням використаного коліматора) поверхні джерела при заданому розташуванні та орієнтації спектрометра.

Процес генерації апаратурного спектра у реальному часі схематично можна описати наступним чином. На макеті робочого місця оператора відображаються детектор та вимірюєме джерело (одне або декілька). Трьохвимірний графік дозволяє оператору імітувати переміщення детектора та джерел, а також задавати зручнішу орієнтацію робочого стола. Після генерації "ідеального" апаратурного спектра за допомогою описаного вище алгоритму швидкого моделювання, він перетворюється на "реальний", враховуючи умови проведення вимірювань та текучий стан апаратури. Розроблені алгоритми генерації "реального" спектра дозволяють імітувати статистичний процес накопичування спектра, вплив оточуючого радіаційного фону (у тому числі і від інших джерел), а також

стан апаратури та відповідні апаратурні ефекти (уширення піків, зсув піків, шуми електроніки, прорахунки) в залежності від завантаження, часу прогріву апаратури та наявності/відсутності високої напруги. Отриманий "реальний" спектр передається до штатної програми спектрометра із використанням протоколу передачі спектрометричних даних до вікна аналізатора, реалізований засобами операційної системи (технологія відкритого інтерфейсу).

Моделювання апаратурних гамма-спектрів виглядає особливо перспективним для аналізу складних гамма-спектрів, потребуючих знання функції відгуку детектора у широкому діапазоні енергій. Така потреба виникає при застосуванні методів обробки спектрів, які використовують повну форму лінії, або при обробці безперервних гамма-спектрів. При аналізі сцинтиляційних спектрів суттєву роль відіграє також правильний опис комптонівського розподілу, форму якого важко однозначно оцінювати за вимірним спектром. Важливе практичне застосування модельних спектрів пов'язане із використанням метода обробки на базі еталонних гамма-спектрів. Експериментальне отримання еталонних спектрів для низки важливих прикладних задач практично неможливе. Зокрема, це стосується гамма-спектрів для окремих радіонуклідів, які знаходяться у ланцюжку розпадів. В деяких випадках важко отримати еталонні спектри для чистих радіонуклідів, особливо короткоживучих, наприклад, ізотопів йоду. Все це сильно обмежує можливості метода еталонних спектрів.

Слід підкреслити, що отримання функції відгуку детектора у широкому діапазоні енергій є не тривіальною експериментальною задачею. Поперед все, це пов'язано з тим, що кількість придатних для калібрування радіонуклідів, які мають умовно моноенергетичне випромінювання - обмежена (це добре відомі джерела з набору ОСГІ - Am-241, Ce-139, Hg-203, Sn-113, Cs-137, Mn-54, Zn-115), а отримання функцій відгуку з використанням багатореперних джерел потребує застосування складних інтерполяційних процедур, які вносять додаткову невизначеність. У той ж час, розрахунок функцій відгуку та отримання еталонних спектрів можливе із застосуванням програмного комплексу GammaLab. Це, однак, потребує використання верифікованої математичної моделі детектора, для чого необхідна розробка спеціальної процедури.

Програмний комплекс GammaLab може використовуватись для навчання роботі із спектрометричним устаткуванням. До складу комплексу входить програмна оболонка WorkMaster, яка призначена для формування та виконання завдань у режимі адміністратора або оператора. Завдання уявляє собою запис, який містить перелік зразків та їх початкові координати на робочому столі, демонстраційний відеоролик та коментарії.

Багатоканальний амплітудний аналізатор являє собою набір зібраних в одному блоці одноканальних аналізаторів, кожний з яких

настроюється на свій канал. Один канал, наприклад, реєструє імпульси від 0 до 10 В, другий - від 10 до 20 В і т.д. Сучасні аналізатори мають сотні і тисячі каналів. Кожний з зареєстрованих імпульсів знаходиться в пристрій, що їх запам'ятає. Блок детектування, до якого входить детектор іонізуючого випромінювання і фотоелектронний помножувач, розміщується у свинцевому будиночку.

Аналоговий цифровий перетворювач (АЦП), що призначений для перетворення аналогових сигналів у цифрові коди, розміщується в одному блоці з аналізатором імпульсів. Інтерфейс забезпечує зв'язок і узгодження АЦП з оперативною пам'яттю комп'ютера, на який виводяться дані вимірювань.

У комп'ютері на програмному рівні здійснюється обробка інформації, яка надходить з АЦП, побудова спектра і його аналіз, здійснюється виведення інформації на екран і принтер, забезпечується збереження інформації.

Алгоритм роботи спектрометра полягає в тому, що він сортує імпульси за інтенсивністю і пропорційно інтенсивності записує їх у відповідний канал аналізатора. У міру надходження інформації на екрані спектрометра з'являється спектр. У більшості випадків апаратурний спектр є перекрученим відображенням дійсного обумовленого схемою розпаду ізотопу спектра випромінювання. Мірою відповідності апаратурного спектра дійсному є форма апаратурної лінії спектра, що отримується при реєстрації моноенергетичного випромінювання. Ідеальним може вважатися такий спектрометр, у якого апаратурна лінія наближається до "нормованої" δ -функції, а детектор разом з електронною апаратурою забезпечує однозначний зв'язок енергії частинки або кванта E з утвореним електричним сигналом (наприклад, амплітудою імпульсу напруги), тобто $U = k \cdot E$, де k - коефіцієнт пропорційності при ефективності реєстрації, близької до 1.

Перед початком роботи прилад потрібно відкалібрувати.

Калібрування складається з двох етапів:

- енергетичне калібрування,
- визначення ефективності реєстрації спектрометра.

Енергетичне калібрування γ -спектрометра необхідне для того, щоб визначити ціну поділки шкали спектрометра, що дозволяє визначити склад проби за її спектром. Для енергетичного калібрування потрібно кілька зразкових джерел радіоактивного випромінювання. З отриманого від цих джерел спектру визначають ціну поділки шкали приладу, як відношення енергії центра ваги фотопіка (ЦВП) до номера каналу, у якому він знаходиться.

Знаючи спектральний склад і апаратурний спектр, будують калібровану пряму, де на осі абсцис відкладаються номери каналів, а на осі

ординат - відповідні їм енергії спектральних ліній. Пряма описується вираженням типу:

$$Y = KX + B,$$

де Y - енергія γ -квантів зразкового джерела;

X - номер каналу, в якому знаходиться ЦВП відповідного фотопіка,

B - поправковий коефіцієнт.

Після проведення енергетичного калібрування вимірюють фон приладу, що складається з власних шумів апаратури і з природного радіаційного фону.

Вимірюють спектр враховуючи, що мінімальна кількість імпульсів в ЦТП повинна бути не менше за 2000. Одночасно з цим в текстовому редакторі готують файл бібліотеки радіонуклідів, що використовуються при калібруванні, розширення файлу .lib. Цей файл містить назву радіонуклідів, період напіврозпаду, енергію γ -квантів, абсолютну інтенсивність і її похибку. На базі отриманого спектра програма будує калібрувальну пряму. При цьому калібруванні оператор може скоректувати отриманий графік, добиваючись його максимальної лінеаризації. Ці дані автоматично запам'ятовуються програмою і зберігаються в пам'яті до наступного енергетичного калібрування.

Отриманий спектр можна зберігати в файлі з розширенням .spe.

Наступним етапом підготовки спектрометра є вимірювання спектра. Вимірювання фону здійснюють при відсутності в детекторі джерел іонізуючого випромінювання і при зачиненому свинцевому будиночку. Тривалість вимірювання фону повинна як мінімум в 5 разів перевищувати час вимірювання спектра. Після вимірювання фону відповідний файл зберігається для подальшого використання з розширенням .fon. Дані, що записані в цьому файлі, потім віднімаються з даних спектрів при обробці. При цьому враховується час вимірювання спектра і час вимірювання фону.

Програмний пакет "ЛСРМ93(С)", який використовується на кафедрі загальної і теоретичної фізики ОДЕКУ, призначений для програмної підтримки гамма-спектрометричного аналізу за допомогою сцинтиляційних детекторів на базі многоканальних аналізаторів, що сполучені з ЕОМ типу IBM PC і їх вітчизняних аналогів (ЕС1840, Іскра-1030М).

Програмні модулі, що входять до складу пакета, виконують наступні функції:

- 1) обмін даними між аналізатором і ЕОМ;
- 2) первинна обробка спектральної інформації - пошук піків і розрахунки їхніх параметрів;
- 3) ідентифікація радіонуклідів і розрахунок їх активності;
- 4) градування спектрометра по ефективності реєстрації.

Пакет може бути доповнений програмними модулями, що дозволяють організувати банк даних результатів вимірів.

Пакет організований на основі "меню" різних рівнів. Головне "меню" включає три основних режими: 1)Вимірювання і обробка спектра. 2)Архів результатів вимірів.3)Побудова кривої ефективності.

Перший режим поділяється на три додаткових режими:

Вимір. Обробка спектрів. Настроювання.

У режимі "Вимір" виконуються наступні функції: запуск і зупинка вимірів, аналіз стану аналізатора, очищення аналізатора, передача інформації з аналізатора в ЕОМ, збереження (при необхідності) спектра у виді файлу на зовнішньому носії.

У режимі "Обробка спектрів" можуть бути обробленими обмірювані раніше і збережені у виді файлів спектри. Оператором може бути встановлений режим, коли обробка спектра починається автоматично після закінчення виміру.

Обробка спектра виконується незалежно від аналізатора, що може знаходитися в режимі набору спектра.

У режимі "Настроювання" оператором можуть бути змінені значення так званого "настроювального" файлу. У цьому файлі зберігаються параметри, що необхідні для функціонування системи: імена допоміжних файлів, до яких відбувається звертання (наприклад, бібліотека радіонуклідів), файл з кривою ефективності, а також ряд параметрів, що дозволяють оптимізувати обробку результатів вимірів, виходячи з конкретно розв'язуваної задачі.

Режим "Побудова кривої ефективності" дозволяє провести градування спектрометра за ефективністю реєстрації з утворенням відповідного файлу.

При побудові кривої ефективності реєстрації використовуються файли:

- файл результатів RESULT, який автоматично створюється і зберігається програмою при обробці спектра, він містить час вимірювання спектра, активність ідентифікованих джерел, похибку розрахунку активності, енергетичне розділення спектрометра в ЦТП;
- файл бібліотеки радіонуклідів (*.lib) і файл паспортів джерел випромінювання (*.psp). Цей файл створюється завчасно, містить значення активності джерел випромінювання та їх похибки, дату їх вироблення.

3.4 Комплектні лабораторії. Державна система промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП). Системи передачі вимірювальної інформації

1. Комплектні лабораторії.

Для проведення вимірювань параметрів атмосферного повітря призначені комплектні лабораторії. Ці лабораторії укомплектовані обов'язковим комплектом приладів для вимірювання метеорологічних характеристик атмосферного повітря, а також для оцінки рівня його забруднення.

На Україні використовується декілька типів комплектних лабораторій, серед яких:

1) ПОСТ-1 ; 2) ПОСТ-2; 3) Атмосфера II; камера “Клімат” та ін.

Основні принципи та етапи створення ДСП

ДСП побудована на системотехнічних принципах створення універсальних технічних засобів автоматизації. Їх можна сформулювати так:

- поділ приладів і засобів автоматизації за функціональним принципом на основні типи;
- мінімізація номенклатури з урахуванням повного задоволення потреб промисловості шляхом створення параметричних рядів, уніфікованих систем і агрегованих комплексів приладів та засобів автоматизації;
- агрегована побудова складних пристроїв на базі типових уніфікованих елементів блоків і модулів;
- сумісність приладів і засобів автоматизації ДСП у роботі автоматичних систем контролю та управління.

Розробка методологічних основ побудови ДСП була першим етапом її створення. Початок реалізації ДСП збігся з розвитком і практичним використанням агрегатної уніфікованої системи (АУС), побудованої з блоків та модулів пневмоавтоматики. Подальше вдосконалення пневмоавтоматики пов'язане з розробкою малогабаритної агрегатної уніфікованої системи (МАУС), яка набула широкого застосування під час автоматизації хімічної, нафтохімічної та харчової промисловостей.

На початку 60-х років створюється універсальна система елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА), яка забезпечила компонованість практично усіх видів засобів автоматизації з обмеженої кількості малогабаритних універсальних пневмоелементів модульного типу: від простого регулятора до пневматичної обчислювальної машини зі стандартним пневматичним сигналом $20 \div 100$ кПа.

Третій етап розвитку ДСП на початку 70-х років збігається з широким розвитком автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). Впровадження АСУТП обумовлене з постановкою нових завдань і підходів до автоматизації виробництва.

Одночасно зі створенням нових комплексів технічних засобів були розроблені державні та галузеві стандарти, які закріпили принципи уніфікації і умови поєднання розроблюваних і виготовлюваних засобів, а також гарантували і визначали функціональну, інформаційну, конструктивну, енергетичну і метрологічну сумісність засобів ДСП в автоматичних системах контролю, керування та управління.

Таким чином, ДСП — це сукупність уніфікованих та нормалізованих рядів блоків, приладів і засобів для одержання, опрацювання та використання інформації, які відповідають єдиним технічним і метрологічним вимогам і мають уніфіковані параметри

вхідних і вихідних сигналів, нормалізовані габарити, приєднуючі розміри, а також економічно обґрунтовану точність, надійність, довговічність та естетичність.

Засоби ДСП виготовляються на основі базових конструкцій з уніфікованими конструкціями, конструктивними параметрами, сигналами і елементами, забезпечуючи максимально можливий рівень уніфікації і стандартизації.

2. Уніфіковані сигнали ДСП

Уніфікація сигналів вимірювальної інформації забезпечує гарантований зв'язок між засобами контролю і керування, передачу і обмін інформацією, а також дистанційний зв'язок між пристроями автоматики.

Серед електричних сигналів найбільшого поширення набули уніфіковані сигнали постійного струму ($0 \div 5$ мА; $4 \div 20$ мА) і напруги ($0 \div 10$ мВ; $0 \div 100$ мВ; $0 \div 10$ В), пневматичний ($20 \div 100$ кПа) та частотні ($4 \div 8$ кГц) сигнали. Вони використовуються як для передачі інформації від первинних перетворювачів до засобів контролю і керування, а від них до виконуючих механізмів, так і для обміну інформацією між окремими функціонально пов'язаними пристроями системи керування.

Меншою мірою використовуються уніфіковані інформаційні сигнали змінної напруги та частотні. Частотні сигнали в основному застосовуються у телемеханічних системах та спеціалізованих технічних комплексах.

3. Класифікація виробів ДСП

Система ДСП - це складна структура, що об'єднує низку гілок системи: електричну, пневматичну, гідравлічну, комбіновану, а кожна із гілок, у свою чергу, має складну функціональну структуру. До першої групи перетворювачів відносяться первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), вимірювальні прилади та вироби, які разом з нормуючими засобами, утворюють групу засобів для одержання вимірювальної інформації. Засоби цієї групи призначені для перетворення вимірюваної величини (параметра) на зручний для сприйняття, передачі й опрацювання сигнал вимірювальної інформації.

До другої групи відносяться різні перетворювачі сигналів і кодів, комутатори сигналів, шифратори і дешифратори, системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації та ін.

До третьої групи належать технічні засоби для опрацювання та відображення вимірювальної інформації і формування управляючих дій: аналізатори сигналів, логічні пристрої, операційні перетворювачі, засоби вимірювання, обчислювальні машини, запам'ятовуючі пристрої та ін. Ці засоби найскладніші, оскільки вони реалізують алгоритми автоматичного керування та управління від найпростіших задач стабілізації окремих параметрів до автоматизації підприємств.

Четверту групу становлять вироби електричних пневматичних та гідравлічних виконуючих механізмів, підсилювачі потужності тощо.

Залежно від використовуваної зовнішньої енергії виробі ДСП класифікуються як електрична, пневматична та гідравлічна гілки і гілка без використання зовнішньої енергії.

Електрична гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, у яких для живлення використовується зовнішня електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний сигнал. Електрична гілка розділяється на аналогову та дискретну гілки ДСП з відповідними стандартними уніфікованими сигналами.

Пневматична гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, в яких для живлення використовується стиснуте повітря 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал $20 \div 100$ кПа.

Гідравлічна гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснута рідина, а носієм інформації — гідравлічні сигнали. Робоча рідина (турбінне і трансформаторне мастило та вода), що є енергоносієм, перебуває під тиском від 0,16 до 6,4 МПа. Засоби гідравлічної гілки ДСП забезпечують точні переміщення виконуючих механізмів при великих зусиллях. Ця гілка засобів менше поширена у промисловості.

4. Системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації та первинні вимірювальні перетворювачі

Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювану величину перетворюють у сигнал вимірювальної інформації, що дає можливість передати його на певну відстань і за місцем призначення відтворити вимірювальну величину у формі, прийнятній для спостерігача або ж ввести у відповідний засіб вимірювання. Вимірювання, перетворення, передача і відповідне зображення вимірюваної величини проходить за схемою, зображеною на рисунку 21.



Рис.21 Схема дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації

Первинний перетворювач перетворює вимірювану величину об'єкта (температуру, тиск, рівень, переміщення, зусилля та ін.) у сигнал вимірювальної інформації (електричний, пневматичний, оптичний тощо), який лініями зв'язку передається до вторинного приладу, перетворювача, ЕОМ тощо. Комплекс технічних засобів у складі первинного перетворювача, лінії зв'язку та засобу відтворення вимірюваної величини називається системою дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації.

Первинним вимірювальним перетворювачем, або сенсором, називається перетворювач, який першим взаємодіє з об'єктом вимірювання і видає сигнал вимірювальної інформації.

Системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації розподіляються на дві групи з сигналами уніфікованими і неуніфікованими, які не приведені й не відповідають стандарту.

До систем дистанційних передач сигналів вимірювальної інформації пред'являються такі вимоги: точність передачі; достовірність і надійність передачі; перешкодозахищеність; дистанційність передачі; мінімальна інерційність; стабільність сигналів, незалежність від джерела живлення; економічність системи дистанційної передачі.

Задовольнити усі наведені вимоги у повному обсязі за допомогою однієї дистанційної системи передачі досить складно, проте у своїй більшості системи відповідають цим вимогам.

Типи перетворювачів дистанційних передач обираються залежно від об'єкта і виду вимірюваної фізичної величини, яка перетворюється в сигнал, що передається лінією зв'язку (струм, напруга, частота, стиснуте повітря тощо).

Для перетворення лінійного переміщення в уніфікований сигнал найчастіше використовуються диференціально-трансформаторні та струмові перетворювачі: перетворювачі кутового переміщення — феродинамічні, сельсинні та частотні; перетворення зусиль — електросилові та пневмосилові компенсуючі перетворювачі.

Принцип дії диференціально-трансформаторної системи (ДТС) ґрунтується на компенсації електрорушійних сил (ЕРС) первинного вимірювального перетворювача і вторинного приладу (ВП).

Електросилові перетворювачі призначені для перетворення зусиль чутливих елементів в уніфікований сигнал постійного струму (0.5 мА) із подальшою передачею його на відстань до 1 км.

Принцип дії перетворювача ґрунтується на силовій компенсації зусилля чутливого елемента наприклад, мембрани, який перебуває під дією вимірюваної величини А, зусиллям зворотного зв'язку перетворювача.

Для перетворення дистанційних передач в уніфікований сигнал поширені також такі типи перетворювачів: пневмосилові, електропневматичні, пневмоелектричні, нормувальні перетворювачі.

Пневмосилові перетворювачі з уніфікованим сигналом 20—100 кПа поширені у пневматичних системах вимірювання та регулювання.

Електропневматичні перетворювачі перетворюють аналоговий сигнал струму (0.5 мА) в уніфікований пропорційний пневматичний аналоговий сигнал (20 . 100 кПа). Принцип роботи ґрунтується на пневмосиловій компенсації змінного струмового вхідного сигналу. При проходженні вхідного струму через котушку електромагніта виникає тягове зусилля, яке переміщує важіль, що викликає зміну тиску.

Пневмоелектричні перетворювачі перетворюють уніфікований пневматичний сигнал (20—100 кПа) у пропорційний аналоговий сигнал постійного струму. Принцип їх роботи ґрунтується на електросилової компенсації змінного пневматичного вхідного сигналу.

Для перетворення вихідних сигналів первинних перетворювачів (термоелектричних, терморезисторних та інших датчиків) в уніфікований сигнал використовуються нормувальні перетворювачі.

Для перетворення термо ЕРС термоелектричних термометрів в уніфіковані сигнали постійного струму використовуються нормувальні перетворювачі. Принцип дії нормувальних перетворювачів ґрунтується на статичній автокомпенсації.

Крім наведених нормувальних перетворювачів є багато нових перетворювачів температури, тиску, перепаду тиску та інших величин з уніфікованими сигналами постійного струму.

Література

1. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник. - Київ: Світ, 2003, - 288 с.
2. Электрические измерения неэлектрических величин. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. - Л.: Энергия, 1975. - 576 с. с ил.
3. Электрические измерения: Учебник для вузов / Байда Л. И., Добротворский Н. С., Душин Е. М. и др.; Под ред. А. В. Фремке и Е. М. Душина. — 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. — 392 с.
4. Ауров В.В. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник – Одеса, «ТЭС», 2002 – 284 с.
5. Мержеевский А.И., Фокин А.А. Электроника и автоматика в гидрометеорологии.- Л.: Гидрометеиздат, 1977, -383 с.
6. Герасимов.О.І.,Кільян.А.М. Элементи фізики довкілля: Конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ,2003
7. Герасимов О.І. Элементи фізики довкілля. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2004,144с.
8. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2016.- 100 с.
9. Пакет программ LSRM-2000. Руководство пользователя. – п. Менделеево Солнечногорского р-на Московской обл.: ГП “ВНИИФТРИ”, ООО “ЛСРМ”, см. также <http://www.lsrn.ru>.
10. В.Н. Даниленко В.Н. Ковальский Е.А. и др.. “LSRM” – пакет прикладных программ для спектрометрического анализа. Состояние и перспективы. Тезисы V Международного совещания «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии», Дубна, 2001, см. также <http://www.lsrn.ru>.
11. www.library-odeku.16mb.com

Додаткова література

12. Медведева Р.В., Мельников В.П. Средства измерений. Под ред. профессора Р.В. Медведевой , – М.: КНОРУС , 2013, - 232 с.
13. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, электрические цепи. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1978, - 528 с.
14. Широков Ю. М., Юдин К. П. Ядерная физика. М.: Наука, 1980, - 672 с.
15. Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А. Моніторинг навколишнього природного середовища. Навчальний посібник. – К. КНТ, 2007. –172 с.
16. Мардин В.В., Кривонос А.И. Справочник по электронным измерительным приборам. – М.: Связь, 1978, - 416 с.
17. Клименко М.О., Скрипчук П.М. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології: Підручник. – К.: Видавничий центр „Академія”, 2006– 368 с.

18. Основи метрології та вимірювань / Д.Б. Головка, К.Г. Рего, Ю.О. Скрипник. – К.: Либідь, 2001. – 408 с.
19. Гусев Н.Г.и др. Защита от ионизирующих излучений, т.1, Физические основы защиты от излучений, под ред. Н.Г. Гусева, М. Энергоатомиздат, 1989, 512 с.
20. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навч. посібник / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар [та ін.]. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 312 с
21. рН-метры, контроллеры [Электронный ресурс] / Режим доступа: URL: <http://www.ecounit.com.ua>
22. ДСанПіН 2.2.4-171 Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" [Електронний ресурс] / Режим доступу: URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> – Загол. з екрану.
23. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [Електронний ресурс] / Режим доступу: URL: <http://metrology.com.ua/download/dstu-gost-gost-r/59-gost/1205-dstu-7525-2014> – Загол. з екрану.
24. Мокієнко А. В. Хлорування води: знезараження чи адаптивність, інактивація чи стимуляція? / А. В. Мокієнко, А. І. Гоженко, Н. Ф. Петренко // Вісник Національної академії наук України. - 2012. - № 11. - С. 32-40.
25. Норми радіаційної безпеки України. НРБУ-97

Методичне забезпечення дисципліни

1. Курятников В.В. Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки. Методичні вказівки для студентів заочної форми навчання за напрямом «гідрометеорологія». – Одеса, ОГМІ, 2001, 37 с.
2. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М., Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни “Фізичні основи радіометрії та дозиметрії”. Одеса, ОДЕКУ, 2008, 34 с.
3. Курятников В.В., Кільян А.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Радіоекологія” - Одеса, ОДЕКУ, 2002, 35 с.
4. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей /101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» О.О. Борисовська, О.В. Деменко, А.В. Павличенко. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – 48 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>

Курятников В.В., Кільян А.М. Системи та прилади контролю параметрів довкілля: Конспект лекцій лекцій для студентів за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища», / Одеса: ОДЕКУ, 2018, 73 с. укр. мова

Підп. до друку Формат Папір друк.
Умовн. друк. арк. Тираж Зам №

Одеський державний екологічний університет
65016, м.Одеса, вул. Львівська, 15
Надруковано з готового оригінал-макета