

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання практичних занять та самостійної роботи з дисципліни
**«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ,
ВИПРОБУВАНЬ ТА КОНТРОЛЮ»**

для студентів спеціальності
152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»,
денної й заочної форм навчання

2022

Методичні вказівки для виконання практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Методи та засоби вимірювань, випробувань та контролю» для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», денної й заочної форм навчання / Укл.: Сніжної Г. В., Василенко О. В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 86 с.

Укладачі:

Сніжної Г. В., доц., канд. фіз.-матем. наук, д-р. техн. наук
Василенко О. В., доц., канд. техн. наук

Рецензент: Погосов В. В. , проф., д-р фіз.-матем. наук

Відповідальний за випуск: Коротун А.В., доц., канд. фіз.-матем. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
мікро- та наноелектроніки
Протокол №1
від «17» серпня 2021 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
Протокол №1
від «19» серпня 2021 р.

ЗМІСТ

1 ТЕМА № 1 «МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ»	5
1.1 Сутність та призначення вимірювань	5
1.2 Вимірювальні операції та сигнали	7
1.3 Вимірювальний прилад	8
1.4 Принцип дії вимірювальних приладів різних систем	10
1.5 Контрольні питання	20
2 ТЕМА №2 «ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»	21
2.1 Інструментальні похибки вимірювань	21
2.2 Приклади рішення задач	22
2.3 Завдання для самостійної роботи	23
3 ТЕМА № 3 МЕТОДИЧНІ ПОХИБКИ	25
3.1 Методичні похибки	25
3.2 Похибки різноманітних методик вимірювань параметрів магнетного стану аустенітних сталей	25
3.3 Приклади рішення задач	28
3.4 Завдання для самостійної роботи	33
4 ТЕМА № 4 «ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ»	35
4.1 Приклади рішення задач	35
4.2 Завдання для самостійної роботи	36
5 ТЕМА № 5 «КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ ВИРОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ»	38
5.1 Види і методи контролю	38
5.2 Технічні засоби контролю і вимірювань	42
5.3 Контроль і вимірювання параметрів ІМС	49
5.4 Випробування виробів мікроелектроніки	51
5.5 Вхідний контроль виробів мікроелектроніки	59
5.6 Контрольні питання	63
6 ТЕМА №6 «ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗАСОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ»	64
6.1 Трудомісткість контрольних робіт на річний випуск	64
6.2 Розрахунок чисельності контролерів	65
7 ТЕМА №7 «ТЕХНІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»	68
7.1 Відповідність засобів вимірювальної техніки	68
7.2 Органи з оцінки відповідності	68

7.3 Державний ринковий нагляд і контроль засобів вимірювальної техніки. Контроль виробництва.....	68
7.4 Вимоги до приладів (Додатки 1 і 3 «Технічного регламенту»).....	69
8 САМОСТІЙНА РОБОТА «ПРЕДИКТИВНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ»	70
8.1 Технологія «Predictive Maintenance»	70
8.2 Впровадження Predictive Maintenance	71
8.3 Додаткові переваги Predictive Maintenance і RCM.....	72
8.4 Prescriptive Maintenance – новий рівень обслуговування обладнання.....	73
8.5 Методи та інструменти.....	74
9 САМОСТІЙНА РОБОТА «КОЕФІЦІЄНТ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ – ПОКАЗНИК ДОСТУПНОСТІ ОБЛАДНАННЯ»	76
10 ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА САМОПЕРЕВІРКИ	80
11 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ	82
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85

1 ТЕМА № 1 «МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ»

Мета роботи: Розглянути методи вимірювань та особливості їх реалізації у певних перетворювачах та приладах різного принципу дії.

1.1 Сутність та призначення вимірювань

Наведені відомості у цій та наступних темах, складені із залученням текстів, рисунків та завдань, наведених у працях зі переліку рекомендованої літератури на стор. 85.

Вимірювання – це відображення вимірюваних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювання є комплексною інформаційною процедурою, що ґрунтується на використанні щонайменше двох методів пізнання: відтворення і порівняння.

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна чітка тотожність одиниць, в яких були б проградуйовані усі засоби технічних вимірювань однієї й тієї самої фізичної величини. Це досягається шляхом точного відтворення та збереження прийнятих на Міжнародній конференції з мір і ваги одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів засобам вимірювань.

Відтворення, збереження та передача розмірів одиниць проводиться за допомогою еталонів та зразкових засобів вимірювань. Вищою ланкою у метрологічному колі передачі розмірів одиниць вимірювання фізичних величин є еталони.

Еталон одиниці фізичної величини – це засіб вимірювальної техніки, який забезпечує відтворення та зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, офіційно затверджений як еталон.

Еталон одиниці фізичної величини – це засіб вимірювальної техніки, який забезпечує відтворення та зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, офіційно затверджений як еталон.

Основне призначення еталонів – бути матеріальною базою для відтворення та збереження одиниць фізичних величин.

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

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

Вимірювання класифікують: *прямі та непрямі*.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2 Вимірювальні операції та сигнали

Вимірювальна операція – це операція з фізичними величинами або їх значеннями під час вимірювання. До вимірювальних операцій належать відтворення фізичної величини, порівняння фізичних величин і вимірювальне перетворення.

В процесі вимірювання виконуються такі метрологічні операції:

–відтворення фізичної величини заданого розміру (створення міри);

–порівняння (порівнюються дві однорідні фізичні величини: одна з них – вимірювана, а друга – вихідне квантоване значення міри);

–вимірювальне перетворення (якщо для фізичної величини не існує міри і пристрою порівняння, тоді фізичну величину однієї природи перетворюють у пропорційне значення фізичної величини іншої природи);

–масштабне перетворення – зміна розміру фізичної величини в задане число разів без зміни природи цієї величини.

Сигнал – це фізичний процес, властивості якого визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобом його дослідження. Сигнали характеризуються параметрами.

Параметр сигналу – одна з властивостей, яка є фізичною величиною. Параметри сигналів розділяють на інформативні та неінформативні.

Інформативний параметр сигналу – параметр сигналу, який функціонально зв'язаний з досліджуваною (вимірюваною) величиною або ж має задане значення.

Сигнал, функціонально пов'язаний з вимірювальною фізичною величиною, називають сигналом вимірювальної інформації.

Сигнал вимірювальної інформації має інформативний параметр, що функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною.

У засобах вимірювання електричних і магнітних величин часто застосовують електричні сигнали, інформативними параметрами яких є миттєві значення величин: постійних струмів і напруг, амплітудні, середні або середні квадратичні значення змінних струмів і напруг, а також їх частота, фаза тощо.

1.3 Вимірювальний прилад

Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, що призначений для отримання сигналу вимірювальної інформації у формі, яка доступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Найбільшого поширення набули прилади прямої дії, в процесі використання яких вимірювана величина підлягає низці послідовних перетворень в одному напрямі, тобто без повернення до вихідної величини.

До приладів прямої дії відноситься більшість манометрів, термометрів, амперметрів, вольтметрів.

Найбільшими можливостями володіють прилади, що призначені для порівняння вимірюваних величин з величинами, значення яких відомі. Порівняння здійснюється за допомогою компенсаційних або мостових кіл.

Вимірювальний перетворювач – засіб, який призначений для одержання сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для

передавання, подальшого перетворення, оброблення та збереження, але який не підлягає безпосередньому сприйняттю спостерігачем (термопарі, вимірювальні підсилювачі та ін.).

Величина, що перетворюється, називається вхідною, а результат перетворення – вихідною величиною.

Інформаційно-вимірювальна система – сукупність засобів вимірювань (мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та ін.) і допоміжних пристроїв, що з'єднані між собою каналами зв'язку та призначені для одержання вимірювальної інформації, доступної для спостереження, оброблення та керування об'єктами.

Вимірювальна установка – сукупність функціонально та конструктивно з'єднаних засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, які призначені для раціональної організації процесу вимірювань.

За метрологічним призначенням засоби вимірювань поділяються на зразкові та робочі.

Зразкові – призначені для перевірки як робочих засобів, так і зразкових, тільки менш високої точності.

Робочі – призначені для вимірювання розмірів величин, які використовуються у різноманітній діяльності людини.

Методики виконання вимірювань перед їх уводом в дію мають бути атестовані або стандартизовані.

Атестація включає: розробку та затвердження програми атестації; виконання досліджень згідно з програмою; складання та оформлення звіту про атестацію; оформлення атестату методики виконання вимірювань. Під час атестації має бути перевірена правильність встановлення усіх чинників, які впливають на точність вимірювань, встановлена достовірність їх результатів. Атестацію методик виконання вимірювань покладають на державні та відомчі метрологічні служби. В процесі цього державні метрологічні служби проводять атестацію методик тільки точних, відповідальних вимірювань, а також вимірювань, що проводяться в організаціях Держстандарту України.

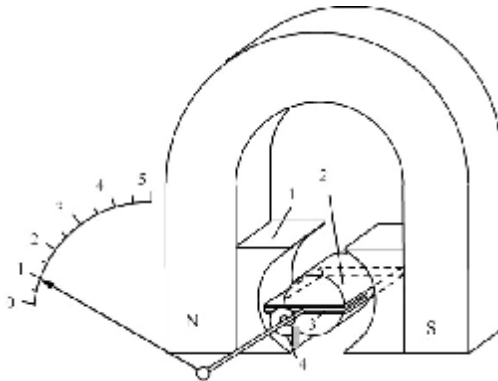
Стандартизація методик застосовується для вимірювань, що широко розповсюджені на підприємствах. Методики виконання вимірювань періодично переглядаються з метою їх удосконалення.

1.4 Принцип дії вимірювальних приладів різних систем

Під *системою приладу* розуміють принцип дії вимірювального приладу. Існує значна кількість систем приладів. У більшості електровимірювальних приладів рухома частина рухається внаслідок створення обертального моменту, який виникає внаслідок взаємодії магнітних або електричних полів. Момент, що протидіє обертальному, може створюватися механічною силою (наприклад, пружиною) або електромагнітною силою (*логотричний прилад*).

Прилади магнітоелектричної системи. Прилади магнітоелектричної системи працюють за принципом взаємодії магнітного поля нерухомого постійного магніту з магнітним полем провідника зі струмом, що проходить по рухомій котушці.

Принцип дії приладу магнітоелектричної системи пояснюється на рис. 1.1.



1 – підковоподібний магніт; 2 – нерухомий сталевий циліндр;
3 – рухома котушка; 4 – спіральна пружина

Рисунок 1.1 – Принцип дії приладу магнітоелектричної системи

Вимірювальний механізм приладу складається з нерухомого підковоподібного магніту 1 з полюсними закінченнями N та S, нерухомого сталевого циліндра 2, рухомої котушки 3, стрілки і спіральної пружини 4. Струм у котушку подається через дві спіральні пружини, що ізольовані від осі. Ці пружини також призначені для створення протидіючого моменту. Обертальний момент, що діє на рухома частину вимірювального механізму, і кут повороту стрілки є

пропорційними величині вимірюваного струму. Тому шкала магнітоелектричних приладів є рівномірною.

У приладів магнітоелектричної системи висока чутливість, велика точність, мала чутливість до зовнішніх магнітних полів, швидко заспокоєння, мале споживання електричної енергії.

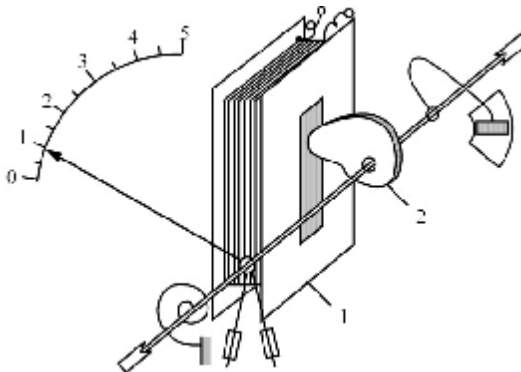
Недоліками приладів магнітоелектричної системи є робота лише за постійного струму, слабка перевантажувальна здатність, порівняно висока вартість.

Магнітоелектрична система застосовується в амперметрах та вольтметрах постійного струму.

При з'єднанні магнітоелектричного механізму і напівпровідникового випрямляча одержуємо детекторний прилад. При з'єднанні механізму з термопарами одержуємо термоелектричний прилад.

Прилади електромагнітної системи. Прилади електромагнітної системи мають нерухому котушку, через обмотки якої протікає електричний струм, що вимірюється, та розташовану на осі зі стрілкою феромагнітну пластину (пелюсток). При протіканні електричного струму через нерухому котушку котушка створює магнітне поле, яке втягує пелюсток всередину котушки.

Принцип дії приладу електромагнітної системи пояснюється на рис. 1.2.



1 – нерухома котушка; 2 – пелюсток із м'якої сталі

Рисунок 1.2 – Принцип дії приладу електромагнітної системи

Вимірювальний механізм приладу складається з котушки 1 з вузькою щілиною усередині, осердя у виді пелюстка з м'якої сталі 2, що, повертаючись навколо осі, може входити в щілину котушки. З віссю пов'язані стрілка, поршень повітряного заспокоювача і спіральна пружина, що створює протидіючий момент. При протіканні струму по котушці осердя втягується усередину котушки із силою, прямо пропорційною квадрату сили струму.

Обертальний момент приладу пропорційний квадрату сили струму і зміні індуктивності системи при повороті рухомої частини.

Прилади електромагнітної системи мають нерівномірну шкалу, їх показання залежать від впливу зовнішніх магнітних полів і мають малу точність.

До позитивних якостей приладів електромагнітної системи слід віднести простоту конструкції, стійкість до перевантажень, придатність до роботи на постійному та змінному струмах, дешевину, можливість виготовлення приладів, розрахованих на великі струми.

Недоліками приладів електромагнітної системи є нерівномірність шкали, особливо в початковій частині, власне споживання електричної енергії, залежність показань від впливу зовнішніх магнітних полів.

Електромагнітна система застосовується в щитових амперметрах та вольтметрах змінного струму.

У приладах електромагнітної системи для усунення впливу зовнішніх магнітних полів може застосовуватися *астатичний вимірювальний механізм*. Астатичний вимірювальний механізм складається з двох нерухомих обмоток та двох осердь на одній осі. Обмотки вмикаються послідовно таким чином, щоб їх магнітні потоки були зустрічними, а моменти, що діють на осердя – узгодженими. При цьому зовнішній магнітний потік посилює обертальний момент одного осердя і послаблює обертальний момент другого осердя. Загальний обертальний момент не залежить від зовнішнього магнітного поля.

Прилади електродинамічної системи. Робота приладів електродинамічної системи ґрунтується на взаємодії магнітних полів провідників зі струмами: два провідники із протилежно спрямованими струмами взаємно відштовхуються, з однаково спрямованими струмами – притягуються.

Принцип дії приладу електродинамічної системи пояснюється на рис. 1.3.

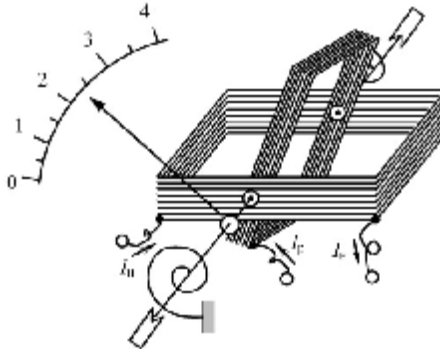


Рисунок 1.3 – Принцип дії приладу електродинамічної системи

Вимірювальний механізм складається з двох котушок: нерухомої і рухомої, розташованої всередині нерухомої котушки. Рухома котушка розташована на одній осі зі стрілкою, крилом повітряного заспокоювача і двома спіральними пружинами. При проходженні струму I_n по нерухомій котушці і струму I_r по рухомій котушці між ними виникає сила взаємодії; при цьому на рухому котушку діє пара сил, що викликає її поворот. За постійного струму момент сил і кут повороту рухомої котушки є пропорційними добутку струмів у котушках.

Електродинамічна система застосовується в амперметрах, вольтметрах та ватметрах змінного струму. Залежно від призначення приладів, їх котушки з'єднуються по-різному:

- в амперметрах, розрахованих на малий струм (до 0,5 А), обидві котушки вмикаються послідовно, а для струму більше 0,5 А – паралельно;

- у вольтметрах обидві котушки завжди вмикаються послідовно;

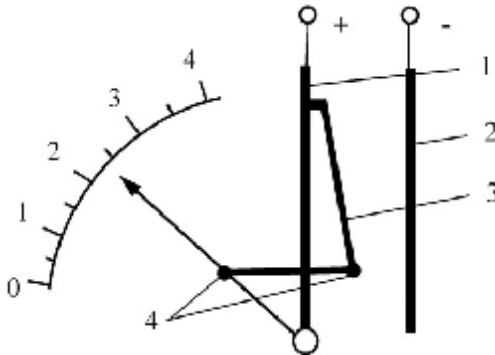
- у ватметрах котушки не з'єднані електрично і мають по дві зовнішні клеми для підключення до мережі. Відносно приймача нерухома котушка (струмова котушка) включається послідовно, а рухома котушка (котушка напруги) – паралельно.

До позитивних якостей приладів електродинамічної системи слід віднести їх високу точність і можливість застосування в колах змінного і постійного струму.

Недоліки приладів електродинамічної системи: через складність виготовлення прилади мають високу вартість, через погані умови охолодження і власне споживання енергії електродинамічні механізми не повинні переважуватися.

Прилади електростатичної системи. Електростатична система вимірювального приладу є різновидністю плоского конденсатора. Відхилення рухомої частини є наслідком зміни ємності конденсатора.

Принцип дії приладу електростатичної системи пояснюється на рис. 1.4.



1, 2 – нерухомі пластини; 3 – рухома пластина; 4 – шарніри
Рисунок 1.4 – Принцип дії приладу електростатичної системи

Вимірювальний механізм складається з двох металевих ізольованих пластин 1 та 2, заряджених різнойменно, та рухомої пластини 3. До рухомої пластини 3 приєднано покажчик. Під дією напруги рухома пластина 3 відштовхується від пластини 1 та притягується до пластини 2. Покажчик показує зміну напруги.

Електростатична система застосовується у вольтметрах постійного та змінного струму.

До позитивних якостей приладів електростатичної системи слід віднести нечутливість до зовнішніх магнітних полів, можливість безпосереднього виміру великих напруг, мале споживання електричної енергії.

Недоліком приладів електростатичної системи є їх низька чутливість.

Прилади феродинамічної системи. Феродинамічна система є різновидністю електродинамічної системи.

Принцип дії приладу феродинамічної системи пояснюється на рис. 1.5.

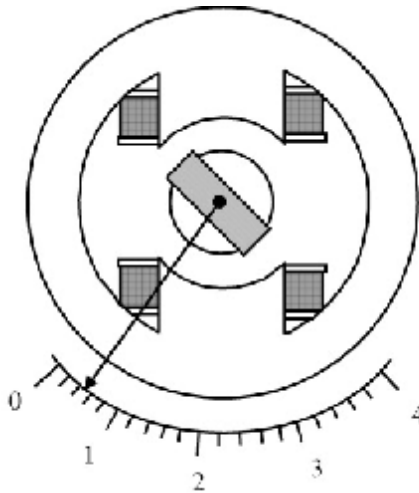


Рисунок 1.5 – Принцип дії приладу феродинамічної системи

Для посилення магнітного поля обмотку нерухомої котушки розташовують на сталевому осердді, а рухома котушка обертається навколо нерухомого циліндричного осерддя (як у приладі магнітоелектричної системи). При такому виконанні прилади захищені від впливу зовнішніх магнітних полів.

Феродинамічна система застосовується в щитових ватметрах.

Прилади індукційної системи. Принцип дії приладів індукційної системи базується на взаємодії магнітного поля, що обертається, з вихровими струмами, що індукуються цим полем у рухомому металевому диску (роторі). Магнітне поле, що обертається, отримується за допомогою двох змінних магнітних потоків, зсунутих у просторі і за фазою один відносно другого.

Принцип дії приладу індукційної системи пояснюється на рис. 1.6. Струми I_1 та I_2 створюють два змінних магнітних потоки Φ_A та Φ_B полюсів AA та BB, осі яких є взаємно перпендикулярними. Якщо потоки Φ_A та Φ_B зсунуто за фазою, то створюється магнітне поле, що обертається. Ротор зі стрілкою намагається почати обертатися. Протидіючий момент створюється пружиною (на рис. 1.6 не показана).

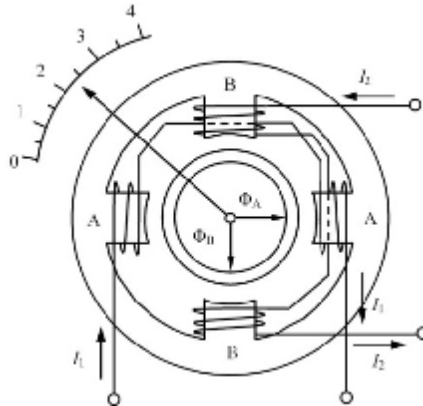
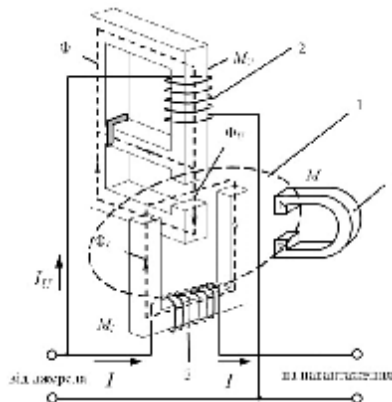


Рисунок 1.6 – Принцип дії приладу індукційної системи

Робота приладів індукційної системи не залежить від впливу зовнішніх магнітних полів. Прилади є стійкими до перевантажень, тривкими за конструкцією і надійними в роботі.

Прикладом приладу індукційної системи є *однофазний індукційний лічильник електричної енергії*. Розглянемо його принцип дії (рис. 1.7).



- 1 – алюмінієвий диск; 2 – обмотка електромагніту, ввімкнена на напругу електричної мережі; 3 – обмотка електромагніту, ввімкнена послідовно в коло навантаження;
4 – постійний магніт

Рисунок 1.7 – Принцип дії однофазного індукційного лічильника електричної енергії

Алюмінієвий диск знаходиться у змінному магнітному полі. Обмотка електромагніту M_U ввімкнена на напругу електричної мережі

змінного струму, обмотка електромагніту M_I ввімкнена послідовно в коло навантаження. Магнітний потік Φ_U є пропорційним напрузі мережі. Магнітний потік Φ_I є пропорційним струму навантаження мережі. Під дією обертального моменту алюмінієвий диск обертається, гальмування диска здійснюється постійним магнітом M . На осі диска розташовано обліковий механізм електричної енергії (на рис. 1.7 не показаний).

Порядок вмикання однофазного індукційного лічильника електричної енергії показано на рис. 1.8.

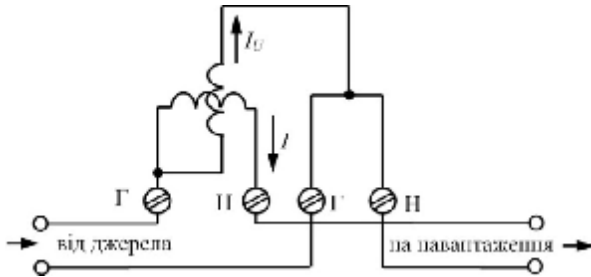
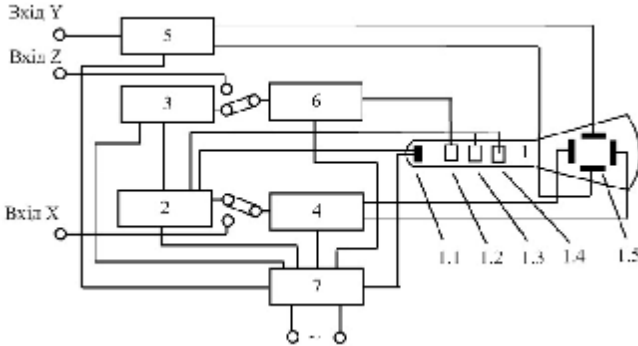


Рисунок 1.8 – Порядок вмикання однофазного індукційного лічильника електричної енергії

Осцилограф. Для реєстрації величин, що швидко змінюються, застосовують електронно-променевої осцилограф. Спрощена блок-схема електронно-променевого осцилографа подана на рис. 1.9.

Основною складовою частиною електронно-променевого осцилографа є електронно-променева трубка 1, в якій за допомогою електронного прожектора (електронної пушки) формується вузький електронний промінь, який відхиляється у двох взаємно-перпендикулярних напрямках. Відхилення променя здійснюється за допомогою електричних полів, що створюються двома парами відхилювальних пластин 1.5. Екран електронно-променевої трубки покритий шаром люмінофору, на якому під дією електронного променя з'являється світлова пляма. При відхиленнях променя світлова пляма рухається по екрану, що дає світлове відображення досліджуваного процесу. Прожектор (електронна пушка) складається з катода 1.1, електрода керування 1.2 та двох анодів 1.3 та 1.4.



- 1 – електронно-променева трубка (1.1 – катод, 1.2 – електрод керування, 1.3 – перший анод, 1.4 – другий анод, 1.5 – відхилювальні пластини); 2 – генератор розгортки;
 3 – генератор відміток часу; 4 – підсилювач горизонтального відхилення;
 5 – підсилювач вертикального відхилення; 6 – підсилювач яскравості;
 7 – блок живлення

Рисунок 1.9 – Блок-схема електронно-променевого осцилографа

Генератор розгортки 2 виробляє напругу, що змінюється за певним законом у часі і є необхідною для дослідження процесів, що швидко змінюються. Генератор відміток часу 3 виробляє серію періодичних сигналів для калібрування масштабу часу. Підсилювачі горизонтального відхилення 4, вертикального відхилення 5 та яскравості 6 підсилюють напругу до значень, необхідних для нормального керування променем осцилографа.

Електронно-променевий осцилограф може працювати у наступних основних режимах:

- режим внутрішньої синхронізації;
- режим зовнішньої синхронізації;
- автоматичний режим;
- режим спеціальної розгортки.

Основні органи керування:

- регулювання яскравості променя (здійснюється зміною напруги на електроді керування електронно-променевої трубки);
- фокусування променя (здійснюється зміною напруги на першому аноді прожектора (електронної пушки) відносно другого анода);

- регулювання променя по горизонталі та вертикалі (здійснюється подаванням постійної напруги на відповідні пари відхилювальних пластин);

- керування швидкістю розгортки (здійснюється зміною параметрів генератора розгортки), звичайно здійснюється двома ручками "плавно" та "грубо";

- регулювання чутливості відхилення по горизонталі та вертикалі (здійснюється регулюванням параметрів підсилювачів горизонтального та вертикального відхилення).

Цифрові вимірювальні прилади побудовані на елементах мікропроцесорної техніки. Цифрові вимірювальні прилади мають високу точність та чутливість вимірювання, є швидкісними, є можливість їх підключення до інших цифрових приладів. Недоліками цифрових вимірювальних приладів є їх складність, висока вартість виготовлення та ремонту.

Вимірювання неелектричних величин (наприклад, рівня рідини, температури тощо) здійснюється шляхом перетворення неелектричної величини в електричну величину, яка є залежною від неї і вимірюванням якої можна визначити й неелектричну величину.

Перетворювач – елемент вимірювального пристрою, який здійснює перетворення неелектричної величини в електричну. Розрізняють перетворювачі параметричні та генераторні.

Параметричний перетворювач – перетворювач, в якому неелектрична величина перетворюється у певний електричний параметр електричного кола (опір, ємність конденсатора, індуктивність котушки індуктивності тощо).

Генераторний перетворювач – перетворювач, в якому неелектрична величина перетворюється в ЕРС.

Види параметричних перетворювачів:

- *реостатний перетворювач* – здійснюється зміна величини опору реостата залежно від положення його рухомого контакту;

- *термочутливий перетворювач* – здійснюється зміна величини опору напівпровідникових резисторів залежно від температури;

- *тензометричний перетворювач* – здійснюється зміна величини опору матеріалів залежно від механічних напруг, що виникають, наприклад, при вигинанні (біметалічна пластина тощо);

–*електромагнітний перетворювач* – здійснюється зміна параметрів електромагнітного поля залежно від параметрів об'єкта вимірювання;

–*ємнісний перетворювач* – здійснюється зміна величини ємності конденсатора залежно, наприклад, від взаємного розташування пластин конденсатору;

–*індуктивний перетворювач* – здійснюється зміна величини індуктивності котушки індуктивності в залежності, наприклад, від положення осердя або взаємного розташування двох котушок;

–*перетворювач вихрових струмів* – інтенсивність генерації вихрових струмів в осерді, наприклад, котушки індуктивності, залежить від електропровідності. Чим більше інтенсивність генерації вихрових струмів, тм менше опір кола збудження.

Види генераторних перетворювачів:

– *п'єзоелектричний перетворювач* – у кристалі, наприклад, кварцу виникає ЕРС під зовнішнім механічним впливом, наприклад, тиском на поверхню;

– *термоелектричний перетворювач* – ЕРС термопари залежить від різниці температур її частин.

–

1.5 Контрольні питання

- а. Що розуміється під вимірюванням?
- б. Що називається значенням фізичної величини?
- в. Що є основним об'єктом вимірювання?
- г. Яка наука займається вимірами?
- д. Поясніть значення величин, що входять до основного рівняння вимірювань.
- е. Перелічіть основні функції вимірювання.
- ж. Із яких операцій складається процес прямого вимірювання?
- з. Перерахуйте основні етапи вимірювань.
- и. Чим характеризується якість вимірювального приладу?
- к. Як оцінюють точність вимірювального приладу?
- л. Що означає клас точності?
- м. Чим відрізняється амперметр від гальванометра?
- н. Яку функцію виконує шунт?
- о. Назвіть правила, яких необхідно дотримуватись при користуванні амперметром.

2 ТЕМА №2 «ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»

Мета роботи: ознайомитись з похибками, які мають місце при електричних вимірюваннях.

2.1 Інструментальні похибки вимірювань

Обов'язковими компонентами будь-якого вимірювання є: фізична величина (ФВ), значення якої треба виміряти; одиниця фізичної величини; метод вимірювання; умови; засіб вимірювання; оператор; результат вимірювання.

Абсолютна похибка вимірювання $\Delta = x - A$, де x – виміряне значення ФВ, A – істинне (дійсне) значення.

$$\text{Відносна похибка вимірювання } \delta(\%) = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta}{A} \cdot 100\%$$

Зведена (приведена) похибка $\varphi(\%) = \frac{\Delta}{A_N} \cdot 100\%$, де A_N – деяке нормуюче значення. За нормуюче значення A_N приймають:

- кінцеве значення шкали A_K ;
- довжину шкали для ЗВТ, шкала яких є суттєво нерівномірною (зазвичай така шкала має позначки 0 і ∞).

Вимірювальні прилади відрізняються за класом точності. Клас точності K чисельно дорівнює найбільшій допустимій зведеній основній похибці, вираженій у відсотках, тобто $K = \varphi_{\max}$

Клас точності присвоюють з ряду (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6)·10ⁿ, де n = 1; 0; -1; -2 ...

Значення максимальної абсолютної похибки даного приладу можна обчислити за його класом точності: $\Delta_{\max} = \frac{K \cdot A_k}{100\%}$

Похибки вимірювальних приладів, які не залежать від значення вимірювальної величини, називаються **адитивними**.

Похибки деяких вимірювальних приладів залежать від значення вимірювальної величини через відповідну зміну їх чутливості. Похибки таких приладів представляють двоچленним виразом:

$\Delta = \pm(a + bA)$, де a – адитивна складова (постійне число), bA – мультиплікативна складова, b – постійне число, виражене у відносних одиницях.

При цьому межі допустимої відносної похибки встановлюють так:

$$\delta = \pm \frac{(a + bA)}{A} = \pm \left[c + d \left(\frac{A_K}{A} - 1 \right) \right],$$

де $c = b + \frac{a}{A_K}$, $d = \frac{a}{A_K}$ – позитивні числа.

Значення c і d вибирають з ряду $(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n$, де $n = 1; 0; -1; -2$ тощо, $d \leq c$. A_K – кінцеве значення діапазону вимірювання. A – кінцеве значення діапазону вимірювання.

2.2 Приклади рішення задач

а. Визначити клас точності вольтметра, якщо показання вольтметра 5В на шкалі 10В і напруга виміряна з похибкою $\pm 1\%$ [12].

Рішення

Дано:

$$U_v = 5 \text{ В}$$

$$U_k = 10 \text{ В}$$

$$\delta_v = \pm 1\%$$

$$K_v = ?$$

1. Запишемо формулу для визначення класу точності

$$\text{вольтметра: } K_v = \frac{\Delta_{\max}}{U_k} \cdot 100$$

2. Максимальну абсолютну похибку знайдемо через

$$\text{задану відносно } \Delta_{\max} = \pm \frac{\delta \cdot U_v}{100\%}$$

Визначасмо клас точності приладу:

$$K_v = \frac{\delta \cdot U_v}{100\%} \cdot \frac{100}{U_k} = \frac{1\% \cdot 5\text{В}}{100\%} \cdot \frac{100}{10\text{В}} = 0,5$$

Відповідь: $K_v = 0,5$.

б. Визначити найбільшу різницю показань двох послідовно включених амперметрів із шкалами 1 мА і класами точності 0,1 і 0,5 при вимірюванні струму 0,5 мА.

Рішення

Дано:

$$I_{k1} = I_{k2} = 1 \text{ mA}$$

$$K_1 = 0.1$$

$$K_2 = 0.5$$

$$I = 0.5 \text{ mA}$$

$$(I_1 - I_2)_{\max} - ?$$

1. При послідовному включенні амперметрів струм, що протікає через них, однаковий і дорівнює $I = 50 \text{ мкА}$. А показання амперметрів будуть різними:

$$I_1 = I \pm \Delta_1$$

$$I_2 = I \pm \Delta_2$$

2. Знайдемо похибки вимірювань кожного амперметра:

$$\Delta_1 = \pm \frac{K_1 \cdot I_{k1}}{100} = \pm \frac{0.1 \cdot 1 \text{ mA}}{100} = \pm 1 \mu\text{A}$$

$$\Delta_2 = \pm \frac{K_2 \cdot I_{k2}}{100} = \pm \frac{0.5 \cdot 1 \text{ mA}}{100} = \pm 5 \mu\text{A}$$

3. Запишемо покази амперметрів

$$I_1 = 500 \pm 1 [\mu\text{A}]$$

$$I_2 = 500 \pm 5 [\mu\text{A}]$$

4. Найбільша різниця показань амперметрів буде, коли, наприклад, показання одного з них найбільші

$$I_1 = I + \Delta_1, \text{ а другого – найменші } I_2 = I - \Delta_2, \text{ тобто}$$

$$(I_1 - I_2)_{\max} = (I + \Delta_1) - (I - \Delta_2) = \Delta + \Delta_2 = 1 + 5 = 6 \mu\text{A}$$

Відповідь: $(I_1 - I_2)_{\max} = 6 \mu\text{A}$.

2.3 Завдання для самостійної роботи

а. Визначте клас точності міліамперметра з кінцевим значенням шкали $I_k = 1 \text{ mA}$ для виміру струму в діапазоні $I_x = (0.1 \dots 0.5) \text{ mA}$ так, щоб відносна похибка вимірів не перевищувала 0.1%.

б. Визначте показання двох послідовно включених міліамперметрів із кінцевим значенням шкал $I_k = 100 \text{ mA}$ і класами точності $K_1 = 1.0$, $K_2 = 0.5$. Дійсне значення струму при вимірі $I = 50 \text{ mA}$. Визначити найбільшу різницю в показаннях двох міліамперметрів.

в. Визначити клас точності міліамперметра з кінцевим значенням шкали $I_k = 0.5 \text{ mA}$, якщо граничне значення абсолютної похибки дорівнює $\pm 0,0015 \text{ mA}$.

г. Необхідно виміряти струм $I = 4 \text{ mA}$. Для цього є два міліамперметри: один класу точності 1.0 із межею вимірювань 20 mA , другий класу точності 2.5 із межею вимірювань 5 mA . Який із приладів забезпечить більш високу точність вимірювань?

д. Два амперметри включені послідовно. Показання першого приладу з класом точності $K = 0,5$ складають 10 mA на межі вимірів 20 mA . Визначити показання другого приладу с класом точності $K = 2,5$ на межі вимірів 50 mA .

е. При перевірці після ремонту вольтметра класу точності 1.5 із кінцевим значенням шкали 5 V у точках шкали 1, 2, 3, 4, 5 В отримані відповідно наступні значення показання зразкового приладу: 0.95; 2.07; 3.045; 4.075; 4.95 В. Визначити, чи зберігся клас точності приладу.

ж. На якій шкалі приладу проведені вимірювання, якщо похибка складає $\Delta = \pm 0.25 \text{ V}$ при класі точності приладу 1.0?

з. Який клас точності має амперметр, якщо при вимірюванні струму на шкалі $100 \text{ }\mu\text{A}$ виміряне значення $10 \text{ }\mu\text{A}$ з відносною похибкою $\pm 1\%$?

и. Запишіть результат вимірювання струму в колі, якщо показання амперметра класу точності 0.1 дорівнює 4.5 A на шкалі з кінцевим значенням 10 A .

к. Визначити, який клас точності повинен мати вольтметр з кінцевим значенням шкали 10 V , щоб при вимірюванні напруги в діапазоні від 5 V до 10 V похибка не перевищувала 0.01% .

л. Що означає клас точності 0.5/0.2 цифрового амперметра з границею вимірювання $I_k = 5 \text{ A}$?

м. Визначити абсолютну похибку вимірювання напруги цифровим приладом з кінцевим значенням шкали 50 V , покази

вольтметра 25 V , з відносною похибкою $\delta_{\text{гр}} = \pm \left[0.5 + 0.2 \left(\frac{U_k}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

н. Визначити, вольтметром якого класу точності можна виміряти напругу 10 V з похибкою 0.1% і кінцевим значенням шкали 20 V .

3 ТЕМА № 3 МЕТОДИЧНІ ПОХИБКИ

Мета: ознайомитися з методичними похибками які з'являються внаслідок недосконалості методу вимірювання величини: неточності формул, виведених з деякими припущеннями; впливу вимірювального приладу на об'єкт вимірювання.

3.1 Методичні похибки

Методичні похибки з'являються внаслідок недосконалості розробленого методу вимірювання даної величини: неточності формул, виведених з деякими припущеннями; впливу вимірювального приладу на об'єкт вимірювання. В наведених нижче задачах систематичні методичні похибки обумовлені в основному впливом на результат вимірювання внутрішніх опорів вимірювальних приладів та особливостями схем вимірювання.

Для компенсації методичної похибки вводиться поправка, яка є абсолютною методичною похибкою зі зворотним знаком: $\Delta = -\Delta_M$.

3.2 Похибки різноманітних методик вимірювань параметрів магнетного стану аустенітних сталей

Вимірювання магнетної сприйнятливості австенітних сталей належить до спільних та непрямих вимірювань. Непрямі – це такі вимірювання, коли вимірювана величина знаходиться за формулою, в яку входять величини, знайдені шляхом прямих вимірювань. В нашому випадку вимірюється струм компенсації (див. формулу 1.1) для повернення зразка, який змістився під дією силового магнетного поля в вихідне (нульове положення). Спільні вимірювання складаються з вимірювань декількох величин в умовах, що змінюються і подальшого визначення залежності між цими величинами.

Для розрахунку малої кількості ферофази P_α необхідно визначення результуючої сприйнятливості χ_∞ (отримуємо методом екстраполяцією експериментальної залежності $\chi(1/H)$) та P_α (пропорційна тангенсу нахилу залежності $\chi(1/H)$). Для універсальності залежність $\chi(1/H)$ позначимо як $Y(X)$, χ_∞ – літерою «Б», тангенс кута нахилу $\chi(1/H)$ – літерою «А». Для визначення величин у вигляді

нахилу (A) отриманої прямої $Y(X)$ та точки перетину (B) з віссю координат задіємо процедуру лінеаризація залежності $Y(X)$ (рис. 3.1).

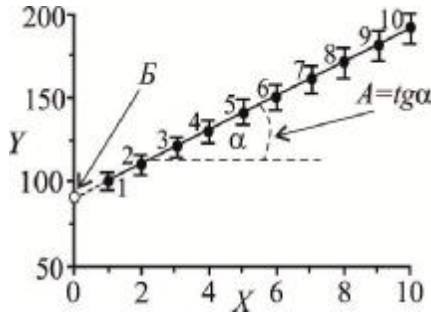
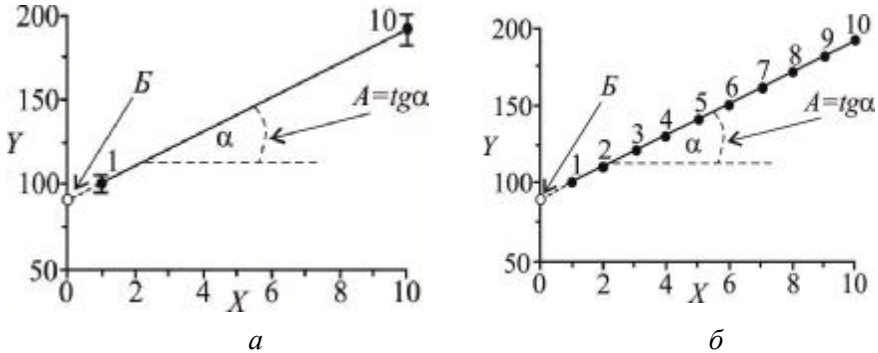


Рисунок 3.1 – Знаходження параметрів A і B з лінеаризації залежності $Y(X)$, яка складається з усереднених значень отриманих багаторазовим вимірюванням кожної точки №1...10 (номер точки – число біля маркеру)

Залежність $Y(X)$, яка потрібна для визначення величин A і B , може отримати чотирма варіантами:

- Вимір по 5 раз кожної точки (№ 1...10), всього 50 вимірювань (рис. 3.1).
- Вимір по 5 раз точок №1 і №10, всього 10 вимірювань (рис. 3.2 а).
- Вимір по 5 раз точок №5 і №6, всього 10 вимірювань.
- Вимір по 1 разу кожну точку №1...10, всього 10 вимірювань (рис.3.2, б).

Найбільш точним, але і трудомістким, для знаходження A і B є варіант 1. Однак час, необхідний для проведення такої кількості вимірювань з їх подальшою обробкою, може бачи критичним, якщо експеримент здійснюється в змінюваному режимі, наприклад при зміні температури (нагрівання) з великою швидкістю. Варіант 2 є кращим за варіант 3, тому що лінеаризація по внутрішнім точкам (№5 і №6) діапазону призведе до більшої похибки величин A і B . Отже необхідно оцінити перевагу варіанту 2 або варіанту 4.



а – багаторазове вимірювання двох точок: №1 і №10;
б – одноразове вимірювання десяти точок: №1...10

Рисунок 3.2 – Визначення параметрів A і B за допомогою лінеаризації експериментальної залежності

Комп'ютерне моделювання експерименту було виконано за допомогою генератора випадкових чисел, що входить до Excel [30]. Початкові і граничні умови чисельного експерименту наступні. Передбачалося, що істинне значення залежності $y_i(x_i)$ має вигляд: 100(1), 110(2), 120(3), 130(4), 140(5), 150(6), 160(7), 170(8), 180(9), 190(10). Цієї залежності $y_i(x_i)$ відповідають дійсні значення $A=10$ і $B=90$. Для генерації використовувалася функція СЛУЧМЕЖДУ, яка повертає випадкове число, що знаходиться в діапазоні між двома заданими числами. Величина відхилення була задана в розмірі 5%, тобто інтервал (min, max) для точки №1 був (95, 105), для точок №2 (104.5, 115.5) і т.д.

Для варіанту 2 було згенеровано по п'ять значень для точок №1 і №10. За середнім значенням $\bar{y}_1(x_1)$ і $\bar{y}_{10}(x_{10})$ складено лінійний тренд та визначені значення A і B .

Для варіанту 4 було згенеровано по одному значенню для точок №1...10. За значеннями $y_i(x_i)$ побудовано лінійний тренд і знайдені значення A і B . Дана процедура виконувалась 3 рази. Для варіанту 2 отримано: $A_{cp} = 9.7$, похибка 3.03 %; $B_{cp} = 91.57$, похибка 1.74 %. Для варіанту 4: $A_{cp} = 9.93$, похибка 0.67 %; $B_{cp} = 90.2$, похибка 0.22 %. Обидва варіанти є прийнятними оскільки похибка нижче критерію у 5%. Однак варіант 4 є більш прийнятним зо меншої похибки.

Отже, для фізичних процесів із змінним станом (в нашому випадку насичення зразка в магнетному полі, безперервний нагрів)

обґрунтована методика проведення вимірювань. Запропонована методика дозволяє уникнути процедури стабілізації процесу для багаторазового вимірювання (фіксовані умови) і проводити одноразове вимірювання (ансамблю величин) не призупиняючи процес. Методика узгоджується з відомою гіпотезою, а саме ергодичною, яка використовується в статистичній фізики, у випадку заміни процедури усереднення величин відповідним усередненням по ансамблю.

Розглянута методики доповідались на Х Ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» [18].

3.3 Приклади рішення задач

а. Виміряти ЕРС джерела E з внутрішнім опором r вольтметром, вхідний опір якого R_v , покази U_v [12]

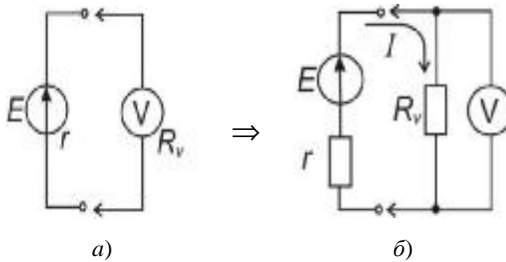


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання

Визначимо абсолютну методичну похибку як різницю між вимірним $U_{\text{вим}}$ та істинним $U_{\text{іст}}$ значенням напруги джерела E : $\Delta_M = U_{\text{вим}} - U_{\text{іст}}$. Відносна методична похибка – це відношення абсолютної похибки до істинного значення напруги $U_{\text{іст}}$

$$\delta_M = \frac{\Delta_M}{U_{\text{іст}}} = \frac{U_{\text{вим}}}{U_{\text{іст}}} - 1.$$

Істинним значенням напруги джерела є величина $U_{\text{іст}} = E$, коли вольтметр не підключено до схеми і він своїм вхідним опором не

шунтує джерело E . Виміряне значення $U_{\text{вим}}$ знаходимо, використовуючи схему на рис. 3.1 б).

$$U_{\text{вим}} = U_{12} = I \cdot R_V = \frac{E}{r + R_V} R_V.$$

Підставимо вирази для $U_{\text{вим}}$ і $U_{\text{іст}}$ в формулу для δ_M , одержимо:

$$\delta_M = \frac{\frac{E}{r + R_V} R_V}{E} - 1 = -\frac{r}{r + R_V}.$$

Абсолютна методична похибка: $\Delta_M = \delta_M \cdot E \approx \delta_M \cdot U_V$, де U_V – покази вольтметра. Для компенсації методичної похибки вводиться поправка $\Pi = -\Delta_M = -\delta_M \cdot E = -\delta_M \cdot U_V$.

Результат вимірювання можна записати як

$$E = U_V + \Pi = U_V - \delta_M \cdot U_V = U_V (1 - \delta_M) \text{ або}$$

$$E = U_V - \delta_M \cdot E, E = \frac{U_V}{1 + \delta_M}.$$

б. Виміряти струм у колі. Внутрішній опір джерела напруги r , внутрішній опір амперметра R_A , опір навантаження R_H , покази амперметра I_A .

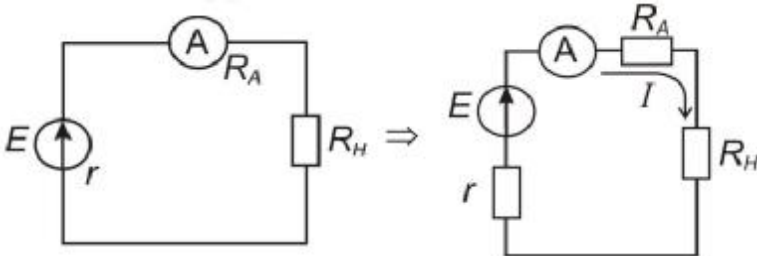


Рисунок 3.4 – Схема вимірювання

Абсолютна методична похибка вимірювання струму

$\Delta_M = I_{\text{вим}} - I_{\text{іст}}$, де $I_{\text{вим}}$ і $I_{\text{іст}}$ – виміряне та істинне значення струму

відповідно. Відносна методична похибка $\delta_M = \frac{\Delta_M}{I_{\text{іст}}} = \frac{I_{\text{вим}}}{I_{\text{іст}}} - 1$.

Істинне значення струму в колі буде при відсутності в ньому амперметра: $I_{\text{іст}} = \frac{E}{r + R_{\text{H}}}$. Вимірне значення знайдемо при наявності

в колі амперметра: $I_{\text{іст}} = \frac{E}{r + R_{\text{A}} + R_{\text{H}}}$.

Визначимо відносну методичну похибку:

$$\delta_{\text{M}} = \frac{\frac{E}{r + R_{\text{A}} + R_{\text{H}}} - \frac{E}{r + R_{\text{H}}}}{\frac{E}{r + R_{\text{H}}}} - 1 = \frac{r + R_{\text{H}}}{r + R_{\text{A}} + R_{\text{H}}} - 1 = -\frac{R_{\text{A}}}{r + R_{\text{A}} + R_{\text{H}}}.$$

Абсолютна методична похибка: $\Delta_{\text{M}} = \delta_{\text{M}} \cdot I_{\text{іст}} \approx \delta_{\text{M}} \cdot I_{\text{A}}$, де I_{A} – покази амперметра. Для компенсації методичної похибки вводиться поправка $\text{II} = -\Delta_{\text{M}} = -\delta_{\text{M}} \cdot I_{\text{іст}} \approx -\delta_{\text{M}} \cdot I_{\text{A}}$. З урахуванням поправки результат вимірювання можна записати у вигляді:

$$I = I_{\text{A}} + \text{II} = I_{\text{A}} - \delta_{\text{M}} \cdot I_{\text{A}} = I_{\text{A}} (1 - \delta_{\text{M}}) \text{ або}$$

$$I = I_{\text{A}} - \delta_{\text{M}} \cdot I, \quad I = \frac{I_{\text{A}}}{1 + \delta_{\text{M}}}.$$

в. Напряга джерела з внутрішнім опором $R_i = (60 \pm 10) \text{ Ом}$ за показами вольтметра складає $U_V = 12.35 \text{ В}$ з допустимою похибкою $\pm 0.5\%$ на шкалі $U_k = 15 \text{ В}$. Вхідний опір вольтметра $R_V = 5 \text{ кОм}$. Визначити систематичну похибку, обумовлену шунтуючою дією вольтметра. Ввести поправку. Оцінити невиключений залишок систематичної похибки.

Рішення

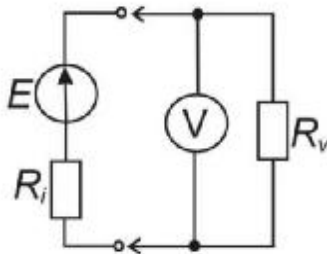


Рисунок 3.5 – Схема вимірювання

Визначимо інструментальну похибку вимірювання напруги

$$\Delta_u = \frac{\delta_v U_v}{100\%} = \pm \frac{0.5\% \cdot 12.35 \text{ В}}{100\%} = \pm 0.06 \text{ В}$$

Розрахуємо методичну похибку вимірювання і поправку:

Абсолютна методична $\Delta_M = U_{\text{вим}} - U_{\text{іст}}$.

Відносна методична

$$\delta = \frac{\Delta}{U} = \frac{U}{U} - 1 = \frac{E \cdot R_v}{(R + R_v) \cdot E} - 1 = -\frac{R_i}{R_i + R_v}$$

$$\Delta_M \approx \delta_M \cdot U_v = -\frac{60 \text{ Ом}}{(60 + 5000) \text{ Ом}} \cdot 12.35 \text{ В} = -0.15 \text{ В}$$

Поправка: $\Pi = -\Delta_M = 0.15 \text{ В}$.

Знайдемо невиключений залишок систематичної похибки (похибки поправки):

$$\Delta_{\Pi} = \pm \frac{\partial \Pi}{\partial U_v} \cdot \Delta U_v = \pm \delta_M \cdot \Delta U_v = \pm 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

Оскільки $|\Delta_n| \ll |\Delta_u|$, нею можна знехтувати.

Результат вимірювання: $E = (12.35 + 0.15) \pm 0.06 = 12.5 \pm 0.1 \text{ [В]}$.

г. Визначити потужність, що розсіюється резистором з опором $R = (10 \pm 0.1) \text{ Ом}$, якщо виміряне вольтметром класу точності 0.1 значення напруги дорівнює 5 В на шкалі 10 В.

Дано:

$$R = (10 \pm 0.1) \text{ Ом}$$

$$U_v = 5 \text{ В}$$

$$U_k = 10 \text{ В}$$

$$K_v = 0.1$$

$$P = ?$$

Визначимо похибку вимірювання напруги за класом точності вольтметра:

$$\Delta_v = \pm \frac{K_v \cdot U_k}{100\%} = \pm \frac{0.1\% \cdot 10 \text{ В}}{100\%} = \pm 0.01 \text{ В}$$

Виміряне значення потужності знайдемо за формулою:

$$P = \frac{U_v}{R} = \frac{5^2 \text{ В}^2}{10 \text{ Ом}} = 2.5 \text{ Вт}$$

Похибку потужності знайдемо за формулою:

$$\begin{aligned}\Delta_P &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial U} \Delta_U\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial R} \Delta_R\right)^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{2U}{R} \Delta_U\right)^2 + \left(\frac{U^2}{R^2} \Delta_R\right)^2} = \\ &= \pm \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 5}{10} \cdot 0.01\right)^2 Bm^2 + \left(\frac{5^2}{10^2} \cdot 0.1\right)^2 Bm^2} = \\ &= \pm \sqrt{10^{-4} Bm^2 + 6.25 \cdot 10^{-4} Bm^2} = \pm 0.027 Bm.\end{aligned}$$

Відповідь: $P = 2.50 \pm 0.03$ [Вт] .

д. Визначити потужність, що розсіюється на резисторі R, якщо покази вольтметра з класом точності 1,0 на шкалі 5 В складають 2 В, а покази амперметра дорівнюють $(2 \pm 0.05)A$ і $R_A = R/10$.

Дано:

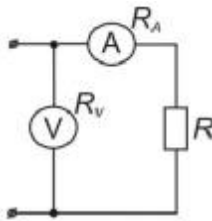
$$K_V = 0.1$$

$$U_V = 2 \text{ В}$$

$$U_k = 5 \text{ В}$$

$$I_A = (2 \pm 0.05)A$$

$$P = ?$$



Знайдемо похибку вимірювання напруги за класом точності вольтметра:

$$\Delta_U = \pm \frac{K_V \cdot U_k}{100\%} = \pm \frac{1.0\% \cdot 5B}{100\%} = \pm 0.05B$$

Напишемо вираз для визначення вимірюваної потужності і розрахуємо P:

$$P = U \cdot I = UV \cdot IA = 5 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 10 \text{ Вт}$$

Знайдемо інструментальну похибку вимірювання потужності:

$$\begin{aligned}\Delta_P &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial U} \Delta_U\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I} \Delta_I\right)^2} = \pm \sqrt{(I \Delta_U)^2 + (U \Delta_I)^2} = \\ &= \pm \sqrt{(2 \cdot 0.05)^2 + (2 \cdot 0.05)^2} = \pm 2\sqrt{2} \cdot 0.5 \text{ Вт} = \pm 0.14 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Знайдемо методичну похибку та поправку вимірювання потужності відповідно до схеми вимірювання:

Відносна методична похибка:

$$\begin{aligned} \delta_M &= \frac{P_{\text{вим}}}{P_{\text{іст}}} - 1 = \frac{U_V I_A}{U_R I_R} - 1 = \frac{U_V I_A}{(U_V - U_A) I_A} - 1 = \\ &= \frac{U_A}{U_V - U_A} = \frac{1}{\frac{U_V}{I_A \cdot R_A} - 1} = \frac{1}{\frac{R}{R_A} - 1} = \frac{1}{10 - 1} = \frac{1}{9} \end{aligned}$$

Абсолютна методична похибка: $\Delta_M \approx \delta_M \cdot P_M = \frac{1}{9} \cdot 10 \text{ Вт} \approx 1.11 \text{ Вт}$

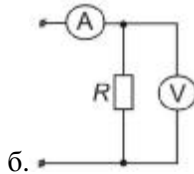
Поправка до вимірної потужності: $\Pi = -\Delta_M = -1.1 \text{ Вт}$

Відповідь: $P = P_{\text{вим}} + \Pi \pm \Delta_p = [(10 - 1.1) \pm 0.14] 8.9 \pm 0.1 \text{ Вт}$

3.4 Завдання для самостійної роботи

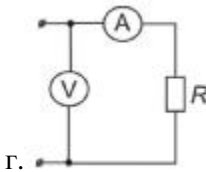
а. Визначити методичну похибку при вимірюванні струму в колі з $R = 100 \text{ Ом}$ амперметром, що має опір $R_A = 100 \text{ Ом}$, якщо покази амперметра 50 мА [12].

б. Одержати формулу для визначення методичної похибки вимірювання опору R опосередкованим методом.



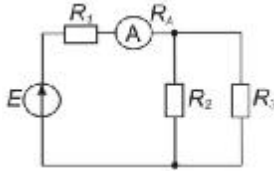
$R_V = 10 R$; $R_A = R/10$; покази приладів I_A , U_V

в. Одержати формулу для визначення методичної похибки вимірювання опору R опосередкованим методом.



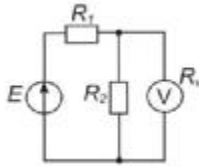
$R_V = 10 R$; $R_A = R/10$; покази приладів I_A , U_V

д. Знайти струм у колі, якщо покази амперметра 10 мА на шкалі 20 мА з класом точності 0.5 ; $R_1 = R_2 = R_3 = R$; $R_A = \frac{R}{2}$.



е. Одержати формулу для визначення методичної похибки вимірювання потужності, що розсіюється на опорі R_2 .

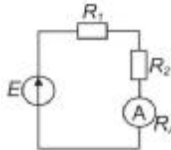
$$R_2 = 2R_1; R_v = 10R_2; U_v = U$$



ж.

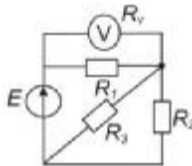
з. Одержати формулу для визначення методичної похибки вимірювання потужності, що розсіюється на опорі R_2 .

$$R_2 = R_1, R_A = \frac{R_1}{2}$$



и. Одержати формулу для визначення методичної похибки вимірювання напруги на опорі R_1 .

$$R_2 = 2R_3; R_1 = R_2; R_v = 5R_1; U_v = U$$



к. Визначити напругу на резисторі $R = 10$ кОм, яка вимірюється вольтметром зі шкалою $U_k = 10$ В, класом точності $K_V = 2.5$ і вхідним опором $R_V = 100$ кОм. Показання вольтметра $U_V = 5$ В.

4 ТЕМА № 4 «ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ»

4.1 Приклади рішення задач

а. Проведено 10 вимірювань напруги. Результати: 1 В – 2 рази; 1.2 В – 5 разів; 1.3 В – 3 рази. Знайти середнє значення напруги і середньоквадратичне відхилення цього значення [12].

Рішення

Дано:

$N=10$ вимірів

1 В – 2 рази

1.2 В – 5 разів

1.3 В – 3 разів

$U_{\text{сер.}} - ?$

$U_{\text{сер.кв.}} - ?$

Знайдемо середнє значення виміряної напруги:

$$U_{\text{сер.}} = \frac{1}{10}(2 \cdot 1В + 5 \cdot 1.2В + 3 \cdot 1.3В) = 1.19В$$

Знайдемо похибки вимірювань (різницю між виміряними та середнім значенням):

$$\Delta_1 = 1В - 1.19В = -0.19В$$

$$\Delta_2 = 1.2В - 1.19В = 0.01В$$

$$\Delta_3 = 1.3В - 1.19В = 0.11В$$

Знайдемо суму квадратів похибок

$$\sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2 = 2 \cdot (0.19)^2 + 5 \cdot (0.01)^2 + 3 \cdot (0.11)^2 = 0.0722 + 5 \cdot 10^{-4} + 0.0363 = 0.1090$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2} = \sqrt{\frac{0.109}{9}} = 0.11В$$

б. Вимірюється струм. Усього проведено 36 вимірювань. Виміряні значення наведено в таблиці:

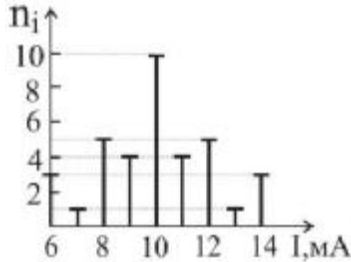
I, мА	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n, число вимірів	3	1	5	4	10	4	5	1	3

Знайти середнє значення струму, дисперсію, середньоквадратичне значення.

Рішення

Побудуємо гістограму результатів вимірювань. Як видно з рисунку, середнє значення струму $I_{\text{сер}} = 10\text{мА}$. Це значення можна знайти за формулою:

$$I_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = \frac{1}{36} (3 \cdot 6 + 1 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 4 \cdot 9 + 10 \cdot 10 + 4 \cdot 11 + 5 \cdot 12 + 1 \cdot 13 + 3 \cdot 14) = 10 \text{ мА}$$



Знайдемо похибки вимірювання струму як різниці між вимірними і середнім значеннями та квадрати похибок:

$I, \text{ мА}$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\Delta_i = I_i - I_{\text{ср}}, \text{ мА}$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
n_i	3	1	5	4	10	4	5	1	3
$\Delta_i^2, \text{ мА}^2$	16	9	4	1	0	1	4	9	16

Дисперсію вимірювань знайдемо за формулою:

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{36} \Delta_i^2}{36-1} = \frac{2}{35} (3 \cdot 16 + 1 \cdot 9 + 5 \cdot 4 + 4 \cdot 1 + 0) = 4.63 \text{ мА}^2$$

Знайдемо середньоквадратичне значення похибки

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{4.63} = 2.15 \text{ мА}$$

4.2 Завдання для самостійної роботи

а. Проведено вимір сили струму, мА: 10.07; 10.08; 10.10; 10.12; 10.13; 10.15; 10.16; 10.17; 10.20; 10.40. Спостереження 10.40 відрізняється від інших. Чи не можна його відкинути як таке, що містить грубу похибку?

б. Проведено однократний вимір потужності 0.51 Вт. Оцінити випадкову похибку цього виміру, якщо раніше проведені виміри із багатократними спостереженнями дали результати: 0.62; 0.59; 0.61; 0.58; 0.59; 0.58.

в. Похибка виміру часового інтервалу має трикутний розподіл із нульовим середнім значенням і межами $\pm\tau$ (інтервал квантування). Скільки необхідно провести незалежних вимірів, щоб межі похибки зменшилися в 10 разів.

г. У вимірювальному приладі відстань між сусідніми мітками шкали постійна і дорівнює a . При округленні відліку до найближчого цілого похибка округлення по абсолютному значенні не перевищує половини відстані між сусідніми мітками шкали. Знайти густину розподілу імовірності, математичне очікування і дисперсію похибки округлення.

д. Визначити максимальну похибку виміру напруги, якщо зовнішні шуми мають $\sigma = 2$ мВ, а власні шуми приладу $\sigma = 0.1$ мВ при нормальному законі розподілу.

е. Чи правильно записані результати вимірів: 1) 85.6342 В; $\Delta = 0.04$ В; $P = 0.952$; 2) 85.63 В; Δ від -0.04 В до $+0.04$ В; $P = 0.95$; 3) 74.725 В; $\Delta = \pm 0.015$ В; $P = 0.95$; 4) 50.7 Вт; $\delta = \pm 0.7\%$; $P = 0.99$

ж. 5. Скільки необхідно провести вимірювань, щоб інтервал похибки, що має нормальний закон розподілу, зменшити в 5 разів при збереженні довірчої ймовірності?

з. Визначте максимальне значення похибки, що має нормальний закон розподілу з $\sigma = 0.1$, після проведення 100-кратних вимірювань розміру.

и. Визначити максимальне значення похибки, що має нормальний закон розподілу і $\sigma = 0.2$, якщо проведено 36 вимірювань і за результат прийняте середнє значення.

к. При вимірюванні напруги отримані наступні значення: 3 В – 5 разів; 3.2 В – 7 разів; 2.9 В – 7 разів. Знайдіть оцінку середньоквадратичного значення напруги.

л. Визначити ентропію похибки з рівномірним законом розподілу в діапазоні $\pm a$.

м. Визначити кількість інформації, отриманої при вимірюванні напруги, що має в діапазоні від 0 В до 10 В рівномірний закон розподілу, якщо похибка вимірювань має також рівномірний закон і $\sigma = 0.1$ В.

н. Визначити кількість інформації, яку можна одержати від амперметра зі шкалою 100 мА, якщо амперметр має адитивну випадкову похибку з нормальним законом розподілу при $\sigma = 0.01$ мА.

5 ТЕМА № 5 «КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ ВИРОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ»

5.1 Види і методи контролю

До якості сучасної радіоелектронної апаратури (РЕА), як побутової, так і спеціального призначення, висувають дуже високі вимоги. Основною елементною базою РЕА є напівпровідникові прилади й інтегральні мікросхеми (ІМС), які повинні відповідати ще більш високим вимогам з якості. У рішенні проблеми забезпечення якості виробів мікроелектроніки значна роль належить їх контролю і випробуванням у процесі розробки, виготовлення і застосування.

Сукупність властивостей виробів, які зумовлюють їхню придатність задовольняти певним потребам відповідно до призначення, називають *якістю*.

Якість - ступінь досконалості виробів - відповідає вимогам, які враховують запити споживачів, можливості виробництва, і залежить від етапів їхнього створення. Так на етапі проектування технічні рішення повинні відповідати технічному завданню (ТЗ), на етапі виробництва — вимогам технічної документації (ТД), а при застосуванні — задовольняти споживача.

Основним єдиним комплексним показником оцінки якості виробів мікроелектроніки є *коефіцієнт якості*.

За вищу оцінку умовно приймають коефіцієнт якості, який дорівнює одиниці, і залежить від відсотка здачі виробів з першого пред'явлення, кількості бракованих виробів, претензій споживача, стану технологічної дисципліни й ін. При погіршенні кожної із цих складових коефіцієнт якості знижується. У ряді випадків критерієм якості є відсутність рекламцій на готові вироби. Іноді якість виробів мікроелектроніки визначають за результатами порівняння кількісних показників якості даного виробу з нормативами діючого стандарту.

Оцінка якості напівпровідникових приладів й ІМС здійснюється за вісьмома групами властивостей: призначенню, надійності, стандартизації й уніфікації, технологічності, економічності, ергономічності та естетичності.

Розробка, виготовлення і експлуатація виробів мікроелектроніки супроводжуються великою кількістю контрольно-вимірювальних операцій. Незважаючи на те, що в основу цих

операцій покладені сходині фізичні методи, призначення і методика їхнього проведення на різних етапах створення і застосування виробів мікроелектроніки різні.

Залежно від етапу виробництва і застосування виробів мікроелектроніки використовують різні види контролю.

На етапі ескізного проектування – це контроль, за допомогою якого обґрунтовується застосування технологічного процесу для виготовлення даних виробів і здійснюється вибір матеріалів.

На етапі технічного проектування виробів – це контроль технічної документації; електричної принципової або функціональної схеми на відповідність проектним нормам (конструктивним, технологічним) і обмеженням, які викладені в стандартах єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) та єдиної системи технологічної документації (ЄСТД).

На етапі виготовлення – це виробничий контроль і контроль готових виробів. Виробничий контроль якості є складовою частиною типового технологічного процесу і зводиться до визначення двох складових: явних дефектів, які характеризують відсоток виходу придатних виробів, і прихованих дефектів, які знижують надійність виробів. В обох випадках контроль може носити як активний (діагностуючий) характер, так і пасивний.

Контроль, в ході якого отримують інформацію про природу дефектів, і який дозволяє вносити необхідні корективи у виробництво, називають *діагностуючим* (діагностикою). Контроль, при якому реєструють тільки факт існування дефекту, не розкриваючи його механізму, за принципом придатний або непридатний виріб, називають *пасивним*. При контролі якості за явними дефектами пасивний контроль зводиться до сортування – розділення виробів або напівфабрикатів на групи, або за принципом 100 %-го відсіювання (придатний - непридатний).

Метою виробничого контролю є не тільки своєчасне відбраковування дефектних виробів на різних етапах виготовлення, але й одержання необхідної якості приладів, що забезпечується контролем технологічних операцій і процесів. При цьому вимірюють параметри структур, сформованих у результаті проведення технологічних операцій або процесів, а також контролюють їхні технологічні режими і параметри. Виробничий контроль складається

з комплексу різних фізичних, хімічних і електричних методів вимірювань, призначених як для перевірки параметрів матеріалів, напівфабрикатів, структур і готових виробів, так і технологічних режимів і параметрів окремих операцій і процесів, і підрозділяється на вхідний, поопераційний (міжопераційний) та фінішний.

Вхідний контроль проводять для оцінки якості матеріалів, напівфабрикатів, допоміжних і комплектуючих виробів, які надходять на дану операцію.

Поопераційний контроль проводять для оцінки якості виконуваних операцій: очищення, епітаксіального нарощування, окислювання, дифузії, нанесення металізації, напилювання плівок, фотолітографії, різання пластин на кристали, монтажу й інших.

Поопераційний контроль проводять у процесі або після виконання технологічної операції. Причому контрольованими об'єктами є як виготовлені структури, так і технологічні режими і середовища.

Різновидом поопераційного контролю є *тестовий контроль*, який виконують на *тестових схемах*. Тестова схема у вигляді тестової комірки, кристала або плати – це, як правило, аналог реального напівпровідникового приладу, ІМС або мікросбірки (МЗБ), яка містить спеціальні структури, призначені для одержання інформації про якість технологічних процесів і виробів.

Для тестового контролю використовують:

- тестові комірки, вмонтовані у робочі кристали (плати);
- тестові кристали (плати), які займають певні місця на пластині;
- тестові пластини-супутники, які супроводжують техпроцес.

Вибір варіанта тестового контролю залежить від певної інформації й умов виробництва. Одержання інформації зумовлене призначенням контролю (аналізом конструкції виробу або управління технологією) і кількістю контрольованих параметрів.

Оскільки якість готових виробів мікроелектроніки визначається переважно електрофізичними властивостями сформованих шарів, дотриманням необхідних розмірів і досконалістю топології, контрольовані при тестовому контролі параметри підрозділяють на електрофізичні, геометричні і структурні.

Фінішний контроль проводять для оцінки параметрів виробів по завершенню певного етапу їхнього виготовлення. При цьому

перевіряють параметри пасивних елементів і комутаційних плат гібридних ІМС, напівпровідникові ІМС – на функціонування на нерозділеній пластині й т.п. На завершальному етапі виготовлення виробів фінішний контроль збігається з контролем готових виробів.

Контроль якості готових виробів є завершальною контрольно-вимірювальною операцією в типовому технологічному процесі виробництва. Крім того, цей контроль застосовують при використанні виробів мікроелектроніки (наприклад, перед їхньою установкою до апаратури) або при їхньому дослідженні (наприклад, при випробуваннях і в процесі аналізу відмов).

Контроль якості виготовлених виробів мікроелектроніки полягає у вимірюванні електричних параметрів, які характеризують їхнє функціональне призначення. Вимірювання виконують за нормальних умов навколишнього середовища, або в режимах, які імітують умови експлуатації. В іншому випадку електричні параметри виробів контролюють після випробувань.

Контроль якості готових виробів може бути суцільним, при якому перевіряють 100 % виробів, або вибіркоvim, при якому перевіряють певну частку виробів, а результати статистично обробляють і переносять на всю партію

Контроль і випробування виробів мікроелектроніки на відповідність технічній документації проводить спеціальна служба – відділ технічного контролю (ВТК) підприємства через свої цехові пости.

Із впровадженням системи керування якістю виробів мікроелектроніки значно змінилися завдання, які постають перед ВТК: оперативний збір, обробка і передача інформації про зміну якості виробів на етапах їх розробки, виготовлення і застосування. Ця інформація використовується для прийняття відповідних організаційних і технічних заходів. Причому контроль і випробування базуються на застосуванні математичних методів, автоматизованих засобів і ЕОМ.

У виробництві виробів мікроелектроніки виправдала себе система керування якістю, яка базується на комплексній службі, очолюваній головним контролером, наділеним правами заступника директора підприємства з якості, і складається, як правило, з наступних підрозділів:

- відділу надійності і управління якістю, якій приділяється роль основного контролера;
- відділу випробувань, призначеного для імітації умов експлуатації виробів, а також одержання інформації про фактичну якість виробів, що дозволяє встановити зворотний зв'язок у системі якість - технологічний процес;
- відділу технічного контролю, основним завданням якого є запобігання дефектів у виробках і відхилень від установлених норм.

Забезпечити повноту, вірогідність і оперативність інформації про якість продукції можна лише широко застосовуючи математичні методи і обчислювальну техніку при плануванні, обробці результатів і оптимізації контролю.

5.2 Технічні засоби контролю і вимірювань

Складовою частиною виробничого контролю якості напівпровідникових приладів й ІМС є вимірювання їх параметрів і перевірка на функціонування. Цей контроль виконують на завершальних стадіях виготовлення виробів (при збірці, герметизації), а також при випробуваннях, дослідженнях відмов і застосуванні в апаратурі.

Основними вимогами, які висувають до контрольно-вимірювальних операцій, є висока точність, вірогідність і відтворюваність результатів.

Висока точність зумовлена досить жорсткими нормами на контрольовані величини (струми, напруги, час) і дуже вузькими діапазонами їх вимірювання. Так, вхідні струми деяких ІМС становлять одиниці наноАмпер (10^{-9} А), час затримки поширення сигналу - одиниці мікросекунд (10^{-6} с) при нормах на ці параметри того ж порядку.

Висока вірогідність результатів вимірювань забезпечує оцінку придатності виробів до експлуатації без ризику появи відмов, дозволяє вчасно виявляти дефектні вироби і вносити корективи в технологію виготовлення або конструкцію. Висока відтворюваність результатів є найважливішою вимогою, яка висувається до вимірювань, і забезпечується при виконанні наступних умов:

- застосування тільки перевіреного і атестованого вимірювального устаткування;

- завдання електричних режимів і підтримка їх у точній відповідності з технічною документацією;
- дотримання всіх режимів проведення вимірювань, оговорених у технічній документації (температури, вологості й ін.).

В умовах серійного і крупносерійного виробництва великого значення набуває вимога високої продуктивності контрольно-вимірювальних операцій.

Постійне підвищення функціональної складності виробів мікроелектроніки спричинило розширення системи контрольованих параметрів і значне збільшення кількості тестових комбінацій, необхідних для перевірки працездатності. Вирішити цю проблему без широкого впровадження автоматизованих вимірювальних систем на базі ЕОМ неможливо.

Можливості використання напівпровідникових приладів та ІМС у радіоелектронній апаратурі визначають за результатами контрольно-вимірювальних операцій. Це означає, що параметри виробів повинні відповідати певним вимогам, які висуваються споживачами.

Електричні параметри виробів повинні відповідати нормам, установленим технічною документацією, оскільки через специфіку виробництва одержати абсолютно однакові значення будь-якого параметра всіх виробів мікроелектроніки одного типу неможливо. Норми задаються у вигляді максимальних або мінімальних допустимих значень. Іноді задається діапазон допустимих значень.

У процесі виробництва поступово накопичуються дані про дійсні значення параметрів виробів. Статистична обробка цих даних дозволяє визначити запаси щодо норм по кожному параметру.

Як ми вже зазначали, всі напівпровідникові прилади й ІМС проходять кілька етапів виробничого контролю. Цехам для перевірки електричних параметрів виготовлених виробів установлюються цехові норми, за якими проводиться суцільний контроль. Готові вироби контролюються за іншими нормами – нормами ВТК підприємства. Крім того, вироби здаються споживачу за здавальними нормами.

При виборі цехових, норм ВТК і здавальних норм необхідно враховувати наступне. По-перше, при контролі ці норми і режими вимірювань повинні забезпечувати збереження виробничих запасів, встановлених при розробці виробів. По-друге, будь-якому вимірюванню повинна відповідати певна погрішність, яка оцінюється сумарною відносною погрішністю вимірювань. Звичайно контроль

виробів за цеховими нормами, нормами ВТК і здавальними нормами виконують на одному обладнанні.

Цехові норми встановлюються більше жорсткими, ніж норми ВТК, а норми ВТК більш жорсткими, ніж здавальні. Ці норми відрізняються один від одного на значення, приблизно рівні двом відносним погрішностям вимірювання конкретного параметра на даному обладнанні при однакових зовнішніх умовах. Так, якщо сумарна відносна погрішність вимірювання вихідної напруги логічної одиниці $U_{\text{вих}}^1$ становить 5%, а здавальна норма на цей параметр - 2,4 В, то норму ВТК визначають так: $2,4 \text{ В} + (2 \times 2,4 \times 0,05) \text{ В} = 2,64 \text{ В} \approx 2,6 \text{ В}$. Відповідно цехова норма на цей параметр буде 2,8 В.

Електричні параметри виробів мікроелектроніки повинні задовольняти здавальним нормам при впливі підвищеної або зниженої температури. Тому цехові норми на електричні параметри виробів, які перевіряють за нормальних умов, встановлюються більш жорсткими, ніж норми ВТК або здавальні норми, з урахуванням можливих змін параметрів при підвищенні або зниженні температури до крайніх допустимих значень. Вироби, параметри яких можуть вийти за межі здавальних норм в умовах підвищеної або зниженої температури, при проведенні цехового контролю сортують.

Під електричними режимами розуміють значення і характер електричних величин – постійних, змінних або імпульсних струмів і напруг на виходах контрольованих виробів.

При вимірюванні різних параметрів задають різні електричні режими, тобто подають напругу живлення, яка забезпечує на входах напівпровідникового приладу або ІМС відповідні вхідні струми або напруги, а на виході – електричне навантаження.

Під умовами проведення вимірювань розуміють вплив на вироби зовнішніх факторів: температури, вологи, вібрації, лінійних прискорень і т.п. У виробництві виробів мікроелектроніки розроблені основні принципи вибору електричних режимів і умов вимірювань.

Перший принцип – електричний режим і умови проведення вимірювань повинні повторювати (імітувати) реальні умови роботи виробів у радіоелектронних апаратурах різного призначення.

Другий принцип пов'язаний із забезпеченням електричного навантаження на виході напівпровідникового приладу або ІМС при проведенні вимірювань і випробувань. На практиці електричне

навантаження контрольованого виробу може бути реалізоване залежно від вимірюваних параметрів різними способами.

При вимірюванні статичних параметрів, коли задаються постійні струми і напруги, необхідно, щоб на контрольованому виході постійний навантажувальний струм був таким самим, як і при роботі виробу в апаратурі. Це стосується і напруги.

При вимірюванні динамічних параметрів варто враховувати як монтажні, так і вхідні ємності й індуктивності, які можуть суттєво впливати на протікання перехідних процесів і змінювати значення динамічних параметрів.

Вимірювання і випробування проводять у найгірших для виробів умовах, при самих несприятливих сполученнях вхідних сигналів, відхиленнях напруги живлення, підвищеній і зниженій температурі. Для правильного підбору несприятливих сполучень різних впливів (електричних, кліматичних та ін.) на вироби необхідно знати залежність між кожним електричним параметром і фактором, який впливає. Крім того, при проведенні вимірювань і випробувань треба враховувати фізичні і конструктивні особливості виробів.

У наш час для контролю статичних і динамічних параметрів широко використовують автоматичні вимірювальні системи на базі ЕОМ, в яку вводиться спеціальна програма. За цією програмою ЕОМ управляє вимірювальним процесом, тобто задає електричні режими на виводи напівпровідникового приладу або ІМС, визначає значення електричних параметрів, оцінює контрольовані вироби на відповідність технічним умовам (ТУ).

Будь-яке вимірювання є результатом взаємодії вимірювального обладнання і об'єкта вимірювання. Але вимірювання не можуть виконуватися без участі людини. Тому аналізуючи причини виникнення помилок у процесі вимірювань, необхідно враховувати порушення в роботі вимірювального обладнання, помилки оператора і помилки в проектуванні напівпровідникових приладів або ІМС, які зустрічаються порівняно рідко і звичайно виявляються до початку виробництва.

Розглянемо більш докладно помилки, які виникають у процесі вимірювання у вимірювальному устаткуванні, яке звичайно складається з наступних систем:

- задавального електричного режиму на виводах контрольованого виробу;

- вимірювальної системи, яка задає зовнішні умови виробу;
- системи управління.

Залежно від призначення контрольно-вимірювальної операції склад обладнання може змінюватися. Чим складніше вимірювальне обладнання, тим більше блоків входить до нього, тим більше ймовірність незначного порушення або відмови в роботі всієї системи.

Порушення роботи вимірювального обладнання можуть викликати такі зовнішні фактори, як більші викиди струмів у ланцюгах живлення при вимиканні або включенні потужних електроустановок, короткі замикання і несправності цих ланцюгів, неправильне заземлення, збурювання електричних і магнітних полів і т.п. Для захисту обладнання від впливу зовнішніх факторів використовують різні види заземлення, екранування, плавкі запобіжники й ін.

Крім того, надійність роботи вимірювального обладнання залежить від ряду внутрішніх причин. Виявити відмови обладнання, викликані цими причинами, не завжди можливо. Часто помилки в роботі обладнання залишаються непомітними, оскільки несправність може і не призводити до значних відхилень у процесі вимірювань.

Помилки вимірювального обладнання можна звести до мінімуму його вдосконаленням, підвищенням надійності, автоматизацією операцій, введенням систематичних перевірок.

Помилки в роботі оператора можуть звести нанівець всі прикладені зусилля щодо вдосконалення вимірювальних процесів. Від правильності дій оператора залежить виконання самих відповідальних операцій: підготовка робочого місця до вимірювань, проведення вимірювань і оформлення результатів.

Підготовка робочого місця починається з перевірки складу вимірювального обладнання. Попередньо всі прилади і установки, які входять у вимірювальний стенд, мають бути перевірені і атестовані службою метрологічного контролю. Виконання вимірювань на не атестованому обладнанні призводить до того, що отримані результати втрачають цінність, оскільки не може бути гарантована точність завдань режимів і вимірювань, а отже, й вірогідність результатів.

У підготовку робочого місця входить також перевірка правильності роботи всіх приладів і установок, контроль працездатності самого вимірювального стенда перед початком кожного циклу вимірювань. Послідовність дій оператора при цьому

звичайно викладена в методиці даних вимірювань і повинна строго виконуватися. Саме на цьому етапі встановлюються і перевіряються електричні режими і задаються зовнішні умови вимірювань (температура, рівень механічних, кліматичних та інших впливів). Ретельне виконання цих операцій є необхідною умовою для забезпечення точності і вірогідності результатів вимірювань. Переконалися в готовності робочого місця до початку вимірювань можна, виконавши вимірювання контрольного (еталонного) виробу. У більшості випадків такий є єдиним.

У процесі вимірювань, як правило, виконуються три операції:

- 1)установлюється контрольований виріб у контактуючий пристрій;
- 2)виконується операція вимірювання;
- 3)фіксуються показання приладів.

Крім того, оператор має стежити за тим, щоб не було збоїв і відмов у роботі обладнання. Однією з помилок є неправильна установка контрольованого виробу в контактуючий пристрій - виводи корпусу виробу не відповідають гніздам контактуючого пристрою. Внаслідок цього виріб може бути або забракований, або вийти з ладу (перегоріти). Інша помилка - помилкове зчитування показань із вимірювальної системи (людський або апаратний фактор), що може бути зумовлено вимірюванням на межі діапазонів, інерційності вимірювальної системи. Все це ускладнює наступну обробку і аналіз результатів вимірювань.

Також для виключення помилок вимірювань через неправильні дії оператора йдуть шляхом мінімальної участі людини у вимірювальному процесі, тобто повністю автоматизують і механізують контрольно-вимірювальні операції.

Останньою, завершальною стадією вимірювань є оформлення результатів. Хоча цей процес полегшений введенням друкувальних пристроїв для відображення результатів вимірювань на папері, але й тут можуть бути грубі помилки. Наприклад, на роздруківках нумерація результатів вимірювань не відповідає нумерації перевірених виробів, не наведено режими випробувань, неправильно проставлені одиниці електричних величин, нумерація контрольованих виробів не відповідає номеру партії й ін. Такі помилки ускладнюють пошук причин порушення технологічного процесу при аналізі результатів вимірювань або приймаються невірні рішення.

Основними вимогами, які висуваються до вимірювальних приладів, є:

- досить широка межа вимірювань;
- мінімальність основної й додаткової погрішностей;
- висока чутливість приладу;
- зручність відліку і керування (бажані рівномірна шкала і мінімальна кількість ручок керування);
- висока швидкодія (характеризує час установлення показання приладу з моменту вимірювання величини);
- мінімальний вплив на роботу контрольованих виробів (для цього вхідний опір приладів, які включають послідовно, має бути якнайменшим, а включених паралельно – якнайбільшим);
- швидка готовність до роботи;
- мале споживання електроенергії;
- висока надійність;
- безпека експлуатації.

Вимірювальні прилади поділяють на електровимірювальні, радіовимірювальні та цифрові, призначені для як електро-, так і для радіовимірювань. Електровимірювальні прилади залежно від способу одержання інформації про результати вимірювань поділяють на ті, які показують, реєструють, самописні, друкуючі та інтегруючі, тобто які підсумовують вимірювану величину за певний період часу (наприклад, лічильник електричної енергії).

Залежно від вимірюваної величини електровимірювальним приладам привласнюють наступні найменування: вольтметр (для вимірювання напруги); амперметр (для вимірювання струму); частотомір (для вимірювання частоти) і т.п. Електровимірювальні прилади, крім того, поділяють за принципом дії, призначенням, ступенем точності, родом струму, захищеністю від зовнішніх полів, умовами експлуатації, стійкістю до механічних впливів, габаритами.

За принципом дії розрізняють прилади магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, електростатичні, теплові або вібраційні.

Радіовимірювальні прилади залежно від характеру вимірювань і виду вимірюваних величин підрозділяються на 20 груп, позначених буквами алфавіту (наприклад, А - для вимірювання струму; В - напруги; Е - ланцюгів із зосередженими параметрами - опорами, індуктивностями, ємностями і т.п.; М - для вимірювання потужності).

У кожену групу входить підгрупа приладів, об'єднаних за виконанням функції (наприклад, група А складається з п'яти підгруп: прилади для перевірки амперметрів, амперметри постійного і змінного струму, універсальні амперметри, перетворювачі струму).

Залежно від діапазонів значень вимірюваних величин, погрішностей, типу та інших параметрів, прилади в підгрупах позначають порядковими номерами. Крім того, електровимірювальні прилади можуть бути безпосередньої оцінки і порівняння.

У техніці вимірювань застосовують переважно цифрові вимірювальні прилади, оскільки вони мають високу швидкодію, точність і зручність відліку вимірюваної величини, що виключає суб'єктивні погрішності, внесені оператором. Крім того, результати вимірювань автоматично реєструються ЕОМ.

Цифрові вимірювальні прилади використовують для вимірювання постійного і змінного струму і напруги, опору, ємності, індуктивності, добротності, частоти, часових інтервалів, фази, а також параметрів сигналів цифрових осцилографів. Насамперед слід зазначити, що вмикання амперметра і вольтметра в досліджуваній ланцюг змінює значення вимірюваної величини. Тому навіть при ідеально точних вимірюваннях отримане значення відрізняється від реального значення величини в досліджуваному ланцюзі до включення приладу. Це викликано тим, що опір амперметра не дорівнює нулю, а опір вольтметра не дорівнює нескінченності.

При вимірюванні в ланцюгах змінного струму в стаціонарних режимах використовують прилади, за допомогою яких залежно від принципу дії їхньої вимірювальної системи визначають одне з наступних значень вимірюваної величини: діючі значення струму I і напруги U ; середні значення струму I_{cp} і напруги U_{cp} ; амплітудні (максимальні) значення струму I_{max} і напруги U_{max} .

5.3 Контроль і вимірювання параметрів ІМС

Виготовлені ІМС відрізняються різноманітністю функціонального призначення і конструктивного виконання, схемотехнікою, застосовуваною технологією виготовлення, електричними характеристиками, типами корпусів.

Лінійними ІМС є операційні підсилювачі, аналогові ключі, різного роду функціональні, вимірювальні, аналого-цифрові й цифро-

аналогові перетворювачі та інші схеми промислової автоматики. Лінійні ІМС характеризуються декількома десятками параметрів, що істотно ускладнює метрологічне забезпечення при їх виготовленні та застосуванні.

Так, операційні підсилювачі, тобто підсилювачі напруги, що мають в ідеалі нескінченно великі коефіцієнти підсилення по напрузі й вхідний опір, та нульовий вихідний опір, є найбільш простими і універсальними елементами лінійних ІМС і характеризуються наступними параметрами:

- вхідною напругою, яку необхідно прикласти до входів, щоб вихідна напруга стала рівною нулю;
- різницею вхідних струмів – різниця між струмами на двох входах при вихідній напрузі, рівній нулю;
- діапазоном допустимих синфазних напруг – максимальним діапазоном вхідних напруг, які можна одночасно прикласти до входів, не переводячи підсилювач у режим відсікання;
- коефіцієнтом придушення синфазного сигналу – відношенням коефіцієнта підсилення диференціального сигналу до коефіцієнта підсилення синфазного сигналу при розімкненому ланцюгу зворотного зв'язку;
- коефіцієнтом ослаблення впливу напруги джерела живлення – зміна вихідної напруги при зміні напруги джерела живлення на 1 В;
- швидкістю наростання вихідної напруги – максимальною швидкістю зміни вихідної напруги при подачі на вхід змінної напруги; шириною смуги, у якій забезпечується повна потужність підсилювача, тобто максимальної частоти, на якій ще може бути отримана максимальна амплітуда вихідної напруги;
- частотою зрізу – смугою частот, обмірюваною на рівні спаду посилення на 3 Дб, при замкненому ланцюзі зворотного зв'язку і коефіцієнті передачі ланцюга зворотного зв'язку, рівному одиниці;
- часом відновлення - часом, необхідним для повернення роботи вихідного каскаду в активну область із області глибокого насичення.

Розробка контрольно-вимірювального обладнання для перевірки такої великої кількості параметрів досить складна з технічної точки зору і часто не виправдана з економічної. Завдання ускладнюється також різноманіттям застосовуваних для вимірювання однорідних параметрів, методів та їх схемних реалізацій. Трудомісткість вимірювання значної кількості параметрів лінійних ІМС при

зростаючому обсязі їхнього випуску висуває на перший план проблему скорочення кількості контрольованих параметрів.

Наразі є два основних шляхи вирішення цієї проблеми.

Перший шлях полягає в пошуку найбільш інформативних параметрів оцінки якості лінійних ІМС у цілому і виключення із числа контрольованих параметрів залежних від них, але які не несуть нової інформації. Виконують це статистичним відпрацюванням експериментальних даних або результатів розрахунку динамічних і статистичних параметрів електричної схеми ІМС.

Другий шлях полягає в об'єднанні споріднених параметрів, що входять в одну групу і часто функціонально пов'язані один з одним, наприклад такі динамічні параметри лінійних ІМС, як амплітудно-фазова і перехідна характеристики, вимірювання яких займають до половини часу циклу контролю.

При вимірюванні і контролі параметрів лінійних ІМС широко поширені практично всі методи вимірювальної техніки. З погляду метрологічних характеристик кращими варто визнати прямі методи вимірювання, які не вимагають додаткової математичної обробки отриманих результатів, здатної внести додаткову погрішність.

Однак фізична різnorodність параметрів лінійних ІМС і широкий діапазон їх значень вимагають створення вимірювальних пристроїв, що складаються з набору різnorodних вимірювальних схем, найчастіше не пов'язаних один з одним. Тому наразі перевагу віддають універсальним схемам, які базуються на використанні непрямих методів вимірювання, тобто коли параметри лінійних ІМС перетворюються у деякий уніфікований сигнал – звичайно це постійна напруга.

На початковому етапі розвитку техніки вимірювань і контролю параметрів лінійних ІМС використовували спеціалізоване неавтоматизоване обладнання, призначене для визначення декількох параметрів лінійних ІМС одного типу. Сьогодні для контролю лінійних ІМС створюють спеціалізоване і багатоцільове обладнання.

5.4 Випробування виробів мікроелектроніки

Метою випробувань виготовлених напівпровідникових приладів й ІМС є перевірка відповідності їх електричних параметрів установленим нормам у технічних умовах.

Однак якість виробів мікроелектроніки визначається не тільки їх властивостями у момент передачі споживачеві, але і здатністю зберігати їх в умовах експлуатації або зберігання. Властивість виробів виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу, називають *надійністю*.

Одним з основних показників надійності виробів мікроелектроніки є термін безвідмовної роботи. При виготовленні за однією технологією параметри різних виробів лежать у деякому інтервалі, тобто їх значення носять випадковий характер. Також випадковою величиною є час, протягом якого даний виріб буде працювати до того моменту, коли з будь-яких причин він відмовить. Отже, точно передбачити час, коли відбудеться відмова, неможливо.

Для характеристики подій, які можуть відбутися, у теорії надійності вводиться поняття ймовірності здійснення даної події. Ймовірність - число, значення якого лежить між 0 і 1. Позначають ймовірність буквою P (від англ. probability – ймовірність). При $P = 0$ подія неймовірна, тобто взагалі не може відбутися; при $P = 1$ подія ймовірна, тобто обов'язково відбудеться, при $0 < P < 1$ подія ймовірна, тобто може відбутися, а може і не відбутися.

Ймовірність того, що відбудуться дві події A і B , дорівнює добутку ймовірностей здійснення кожної події окремо:

$$P(A \text{ і } B) = P(A) \cdot P(B) .$$

Ця формула справедлива для будь-якої кількості подій, але тільки в тому випадку, якщо вони незалежні, тобто ймовірність кожного з них не залежить від того, відбулися інші події, чи ні.

Отже, для характеристики надійності виробів мікроелектроніки треба знати ймовірність їхньої безвідмовної роботи $P(t)$, де t – час роботи виробу. Ясно, що ця ймовірність при різній тривалості роботи різна. Так, ймовірність безвідмовної роботи протягом 100 годин звичайно більше, ніж протягом 500 годин.

Розрахувати заздалегідь $P(t)$ виробів неможливо, оскільки для кожного з них існує безліч факторів, що не піддаються врахуванню, але які визначають тривалість безвідмовної роботи. Тому для визначення $P(t)$ вироби мікроелектроніки піддають випробуванням.

Проаналізуємо результати випробувань 1000 ІМС (табл. 5.1) і розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$. Протягом 7 годин, що пройшли з початку випробувань, могли б безвідмовно працювати

всі 1000 ІМС (кількість можливих випадків дорівнює 1000), але проробили так усього 497 ІМС (число сприятливих випадків дорівнює 497), тобто $P(7) = 0,497$. У другому стовпчику табл.5.1 дані аналогічні результати для всіх проміжків часу, наведених у першому стовпчику.

Таблиця 5.1 — Результати випробувань 1000 ІМС

Час, що пройшов від початку випробувань, t, год.	Кількість ІМС, які зберегли працездатність, шт.	Кількість ІМС, що відмовили протягом останньої години, шт.
0	1000	0
1	905	95
2	819	86
3	741	78
4	670	71
5	606	64
6	549	57
7	497	52
8	449	48
9	407	42
10	368	39

Уведемо ще один показник надійності — інтенсивність відмов λ . Значення цього параметра розраховуємо за даними, наведеними у табл. 5.1, прийнявши ймовірність того, що певна кількість ІМС відмовить в інтервалі між восьмою і дев'ятою годинами їхньої роботи. Наприклад, до початку восьмої години працездатні були 497 ІМС, а за восьму годину відмовили 48 ІМС. Відношення кількості ІМС, що відмовили, до кількості працюючих протягом заданого інтервалу часу, називають інтенсивністю відмов. У нашому випадку $\lambda = 48/497$ шт./год. = 0,0957 од./год. У третьому стовпчику табл. 5.2 наведено розраховану за результатами випробувань, наведених у табл. 5.1, інтенсивність відмов.

Особливістю отриманих результатів є те, що інтенсивність відмов не залежить від часу, тобто $\lambda = \text{const}$. Тобто ймовірність відмови ІМС, яка пропрацювала 1 годину, така ж, як для ІМС, яка пропрацювала протягом наступної години, двох, трьох і т.д. годин.

Експерименти показують, що в багатьох випадках одержують саме такий результат.

Таблиця 5.2 – Данні розрахунків за результатами випробувань

Час, що пройшов від початку іспитів, t , год.	Імовірність безвідмовної роботи протягом часу t , $P(t)$	Інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-2}$, 1/год
1	0,905	9,5
2	0,819	9,5
3	0,741	9,52
4	0,670	9,58
5	0,606	9,55
6	0,549	9,4
7	0,497	9,48
8	0,449	9,57
9	0,407	9,36
10	0,368	9,6

У тих випадках, коли інтенсивність відмов постійна, ймовірність безвідмовної роботи залежить від часу експоненційно, тобто $P(t)=e^{-\lambda t}$.

Так, при $\lambda = 1,0$ 1/годин імовірність того, що ІМС проработить без відмови 2 години, дорівнює 0,135, тобто через 2 години із 1000 спочатку придатних ІМС залишиться лише близько 135. При $\lambda = 10^{-7}$ 1/год, що відповідає реальним ІМС, перша відмова з 1000 ІМС буде спостерігатися приблизно через 10^4 годин $\approx 1,1$ року (такий висновок справедливий лише при $\lambda = \text{const}$). Це відповідає експоненційному розподілу ймовірності безвідмовної роботи. При такому розподілі середній час безвідмовної роботи $T_{\text{ср}}=1/\lambda$.

На завершальній стадії виробництва готові вироби мікроелектроніки піддають серії різноманітних випробувань для визначення їхньої якості і надійності при впливі різних зовнішніх факторів. У процесі проведення випробувань у лабораторних або заводських умовах відповідні фактори, що впливають, імітують за допомогою спеціально призначених для цих цілей установок.

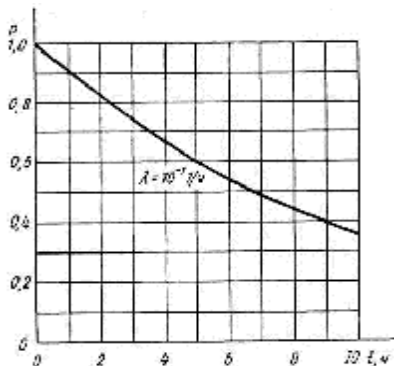


Рисунок 5.1 – Графік імовірності безвідмовної роботи ІМС

Усі фактори, які впливають, підрозділяють на три групи: електричні – напруги і струми джерел живлення і вхідних сигналів, статичні і динамічні перешкоди, електричне навантаження, електричні і магнітні поля; механічні – вібраційне, ударне і лінійне (відцентрове) навантаження; кліматичні – підвищена і знижена температура (зміна температур), вологість, тиск, морський туман, цвілеві грибки; радіаційні (космічні та ядерні випромінювання).

Значення параметрів факторів, що впливають, регламентуються стандартами і залежать від цілей випробувань та умов експлуатації виробів мікроелектроніки, і в кожному конкретному випадку визначаються технічними умовами.

Залежно від поставленої мети і призначення випробування виконуються для контролю якості й надійності.

Випробування контролю якості проводять для оцінки відповідності виготовлених виробів вимогам технічних умов або іншої документації. Фактично ці випробування дозволяють визначити придатність виготовлених виробів до роботи в радіоелектронній апаратурі, виявити явні або приховані дефекти технології їх виготовлення або конструкції, не виявлені раніше, встановити наявність відхилень або порушень у технологічному процесі, які зменшують відсоток виходу придатних виробів.

Випробування на надійність проводять для оцінки відповідності рівня надійності виготовлених виробів вимогам технічних умов і отримання даних про такі кількісні показники надійності, як імовірність безвідмовної роботи й інтенсивність відмов залежно від

часу наробітку, на які впливають фактори зовнішнього середовища і навантаження.

Контрольні випробування – кваліфікаційні, приймально-здавальні, періодичні, типові й технологічні - проводять за заздалегідь розробленими планами, які встановлюють їх обсяг, порядок виконання і критерії припинення. На підставі цих планів розробляють програми випробувань. Випробуванням піддають не всі виготовлені вироби, а частину партії (вибірку), поширюючи результати на всю партію.

У програмі вказують обсяг вибірки, склад, послідовність і методику проведення випробувань, а також критерій ухвалення рішення залежно від результатів. Критерієм прийняття рішення є кількість виробів, які відмовили у вибірці (приймальна кількість), при якій результати випробувань вважаються позитивними.

Періодичність випробувань установлюють залежно від призначення і умов експлуатації виробів, виду виробництва, обсягу випуску і категорії випробувань.

Кваліфікаційні випробування проводять на кожному підприємстві-виробнику під час приймання установочної партії по восьми групам K1 - K8, визначаючи для кожної групи з вибірки вид і послідовність випробувань, а також значення приймальної кількості придатних виробів.

При випробуваннях по групі K1 перевіряють зовнішній вигляд, маркування і електричні параметри виробів.

Обсяг вибірок $n_1 = 50$ шт. і $n_2 = 100$ шт. установлюють для напівпровідникових приладів й ІМС першого і другого ступенів інтеграції, та $n_3 = 10$ шт. – для ІМС третього ступеня інтеграції. Допустима кількість ІМС, що відмовили при випробуванні $C_1 = 1; C_2 = 0, C_3 = 0$.

При випробуваннях по групі K2 перевіряють електричні параметри, теплостійкість, холодостійкість, стійкість до впливу лінійних прискорень, ударну міцність, вібростійкість і вологостійкість виробів, а також їхню стійкість на вплив термоциклів.

Обсяг вибірок при цьому встановлюють $n_1 = 20$ шт., $n_2 = 40$ шт. Для ІМС третього ступеня інтеграції обсяг вибірки (шт.) визначають за формулою: $n_3 = 2000/N; n_3 = 4000/N$, де N — кількість елементів в

ІМС третього ступеню інтеграції. Допустима кількість ІМС, які відмовили, відповідно становить: $C_1 = 1$, $C_2 = 1$, $C_3 = 0$.

Група К3 включає перевірку наробітку виробів при короткочасних випробуваннях, а група К4 - при тривалих. Короткочасні випробування на наробіток проводять при максимальному електричному навантаженні і підвищеній температурі на кожній партії виробів. Режими цих випробувань звичайно вказуються в ТД. Тривалі випробування на наробіток проводять тільки при кваліфікаційних випробуваннях протягом 10000 год. Оцінюють результати цих випробувань за накопиченій з установочної партії вибірці обсягом $n_{1,2} = 100$ шт. і $C_{1,2} = 5$; $n_3 = 20$ шт. і $C_3 = 1$.

При випробуваннях по групі К5 перевіряють здатність виводів до припаювання або зварювання, по групі К4÷К6 – масу і габаритні розміри виробів, по групі К7 – механічну міцність виводів, по групі К8 – здатність безкорпусних приладів й ІМС до монтажу. Випробуванням по групах від К2 до К8 піддають вироби, які пройшли приймально-здавальні випробування. Результати кваліфікаційних випробувань вважають позитивними, якщо вони задовольняють вимогам, установленим для всіх груп, за винятком групи К4. При незадовільних результатах кваліфікаційних випробувань вживають заходів з підвищення якості виробів і призначають нові випробування.

До приймально-здавальних випробувань пред'являють ІМС третього ступеня інтеграції – партіями від 10 до 100 шт., ІМС другого ступеня інтеграції – від 100 до 1000 шт., ІМС першого ступеня інтеграції, а також напівпровідникові прилади – від 100 до 5000 шт., комплектуючи з них вибірки. Якщо партія представлених виробів менше встановленої, приймально-здавальні випробування проводять двоступінчастим вибірконим або суцільним контролем.

При приймально-здавальних випробуваннях перевіряють зовнішній вигляд, маркування і електричні параметри виробів. При двоступінчастому контролі обсяг вибірок $n_1 = 50$ шт., $n_2 = 100$ шт., $n_3 = 25$ % партії; $C_1 = 1$ і $C_2 = 0$, $C_3 = 0$.

Партія виробів, яка не витримала приймально-здавальних випробувань, прийманню не підлягає. Такі вироби піддають 100 %-му повторному огляду, видаляючи забраковані. Після цього складають нові партії, формують вибірки і проводять повторні випробування.

При негативних результатах повторних випробувань партію ІМС бракують остаточно без права подальшого пред'явлення.

Періодичні випробування проводять один раз у квартал (для першого року виробництва) і надалі один раз у півріччя. Періодичним випробуванням піддають вироби одного типу, поширюючи результати на всю серію. Вибірку комплектують із різних партій виробів, які пройшли приймально-здавальні випробування.

Періодичні випробування проводять по трьох групах П1 - П3. При випробуваннях по групі П1 перевіряють електричні параметри, тепло- і холодостійкість, стійкість до впливу лінійних прискорень, ударну міцність, вібростійкість, віброміцність, вологостійкість виробів, а також їхню стійкість до термоциклів. Група П2 включає перевірку наробітку виробів при короточасних випробуваннях. При випробуваннях по групі П3 перевіряють габаритні і приєднувальні розміри виробів. Випробування по групі П3 проводять методом дворазової вибірки. Обсяг вибірок $n'_{1,2} = 20$ і $n''_{1,2} = 10$, а $n'_3 = n''_3$ визначають як при приймально-здавальних випробуваннях. При цьому $C'_{1,2} = 1$ і $C''_{1,2} = 1$ при $n'_{1,2} = 10 \div 20$ і $n''_{1,2} = 20 \div 40$; $C'_3 = C''_3 = 0$ при $n'_3 = 2 \div 4$ і $n''_3 = 4 \div 8$.

Планують і оцінюють результати випробувань по групі П2 виходячи із заданих значень імовірності безвідмовної роботи P , ризику замовника β і приймального числа C .

Ризик замовника β - це ймовірність одержання замовником бракованої партії виробів. Планування ведеться для двох випадків: тривалості випробувань t_i , рівній часу гарантованого наробітку t_r , тобто $t_i = t_r$, і не рівній їй - $t_i \neq t_r$. Проводять випробування в обох випадках методом одноразової або дворазової вибірок. Метод дворазової вибірки застосовують тільки при $P \geq 0,9$.

Готові вироби випробовують для своєчасного виявлення і усунення в них відкритих виробничих дефектів, а також дефектів, що з'явилися після герметизації. Більшість таких дефектів проявляється лише після тривалого впливу термоелектричного навантаження. Тому вироби з подібними дефектами потенційно ненадійні.

Ефективність відбраковування потенційно ненадійних виробів залежить від багатьох факторів і має оцінюватися з урахуванням економічної доцільності. Крім того, при визначенні оптимальної програми відбракувальних випробувань необхідно виходити з міркувань забезпечення гарантії збереження якісних виробів.

Відомо, що випробування термоциклюванням і на вібростійкість, вологостійкість і т.п. у ряді випадків є ресурсними. Надмірно жорсткі режими їх проведення можуть призвести до зворотного ефекту – вироблення ресурсу і зниження надійності якісних виробів. Випробування на надійність поділяють на контрольні і означальні.

Контрольні випробування на надійність проводять для перевірки відповідності кількісних показників надійності виробів мікроелектроніки вимогам стандартів або технічних умов. Для оцінки або контролю цих показників проводять випробування на безвідмовність, довговічність і збережуваність.

Випробування на безвідмовність проводять для контролю безвідмовності виробів протягом часу, достатнього для виявлення дефектів, які можуть виникнути в процесі виготовлення і спричинити відмову. Випробування на довговічність проводять для підтвердження встановленого технічними умовами часу мінімального наробітку на відмову.

При випробуваннях на безвідмовність і довговічність перевіряють відповідність виробів вимогам мінімального наробітку на відмову. Тому задовільними вважають результати, при яких у процесі випробування не спостерігаються відмови, або їхня кількість не перевищує встановлених технічними умовами.

5.5 Вхідний контроль виробів мікроелектроніки

Експлуатаційна надійність напівпровідникових виробів є комплексною характеристикою виробів, що залежить від якості їх конструкції і виготовлення, а також від якості конструкції і виготовлення апаратури, від режимів роботи напівпровідникових виробів і умов експлуатації радіоелектронної апаратури. Експлуатаційна надійність напівпровідникових виробів характеризується інтенсивністю відмов за термін служби апаратури і визначається як $I=(C_1+C_2+C_3)/(NT)$, де C_1 , C_2 – частка відмов виробів, зумовлена якістю конструкції і виготовлення напівпровідникових виробів і якістю конструкції та виготовлення апаратури, відповідно; C_3 – частка відмов, зумовлена режимом експлуатації; N – сумарна кількість напівпровідникових виробів, експлуатована в складі радіоелектронної апаратури; T – термін служби апаратури.

На жаль, вимога до радіоелектронної апаратури по надійності не завжди підтверджується фактичною надійністю поставлених партій напівпровідникових виробів (напівпровідникових приладів й ІМС). Найчастіше партії напівпровідникових виробів, що надходять від виробників, містять вироби, які не відповідають вимогам технічних умов на них. Характерні види відмов залежать не тільки від конструктивно-технологічних особливостей виробів, але й від підприємства-виробника і періоду виготовлення. Так для ІМС однієї серії, але різних підприємств-виробників відсоток засміченості партії дефектними виробами значно відрізняється (наприклад, більш ніж на порядок для ІМС серії 564), з іншого боку, у різних серій ІМС одного підприємства-виробника спостерігаються співпадаючі види відмов.

Крім того, до споживачів надходять напівпровідникові вироби з прихованими дефектами, які б мали відбракуватися технологічними відбракувальними випробуваннями на підприємствах-виробниках, але з ряду причин не відбраковані. Тому практично всі підприємства-виробники радіоелектронної апаратури проводять вхідний контроль придбаних напівпровідникових виробів у тому чи іншому обсязі. Висвітлення питань про доцільність і значення вхідного контролю в технічній літературі, на наш погляд, дуже незначне, тому нам здається доцільним узагальнити наявні матеріали у цьому напрямку.

Зі збільшенням складності апаратури, що випускається, і поліпшенням її споживчих властивостей і експлуатаційних характеристик для підприємств-виробників радіоелектронної апаратури усе більшого значення набуває якість комплектуючих напівпровідникових виробів, оскільки виробник апаратури зобов'язаний реагувати на скарги споживачів, зазнавати збитків після виконання гарантійних зобов'язань.

Дані про засміченість партій виробів потенційно ненадійними напівпровідниковими виробами і про відмови електронних плат з 100 і 400 виробів на кожній платі в процентному співвідношенні наведено табл. 5.3.

Результати випробувань декількох мільйонів ІМС, проведені центральною лабораторією електротехнічних випробувань Франції, показали, що близько 2% ІМС відмовляють на етапі настроювання приладу. Якщо як приклад розглянути електронні блоки, у яких установлено до 50 таких ІМС, то на етапі приймального контролю більше половини таких блоків виявляться дефектними.

Таблиця 5.3 – Залежність кількості відмов виробів від дефектності вхідних складових

Засміченість партії напівпровідникових виробів, %	Відмови електронних блоків, %	
	зі 100 виробами	з 400 виробами
5,0	99,4	
2,0	86,7	99,97
1,0	63,4	
0,1	9,5	
0,01	1,0	
0,001	0,1	4,0

За розрахунками зниження частки дефектних виробів у партії з 0,5 до 0,01% зменшує втрати від браку з 19,5 до 0,5 тис. у.о. для партії з 1000 печатних плат, які містять по сто ІМС на платі.

Зменшення витрат на усунення браку при виготовленні радіоелектронної апаратури вимагає проведення випробувань на можливо більш ранніх етапах цього виробництва, наприклад на вхідному контролі. Класична оцінка – "фактор десяти", яка стверджує, що виявлення відмов на кожній наступній стадії виробництва радіоелектронної апаратури збільшує витрати на виправлення виявленого дефекту в десять разів, у сучасних умовах стала недостатньою. Фактично витрати значно збільшуються. Радіоелектронна апаратура стає складнішою, усунення відмов у ній ускладнюється, що пов'язано з необхідністю складного її демонтажу, перерегулювання, заміни багатьох деталей, тому невиявлення дефекту на рівні випробувань напівпровідникових виробів, плат, вузлів і блоків часто спричинює значне збільшення витрат на усунення дефектів у готовій радіоелектронній апаратурі.

З табл. 5.4 видно, як різко зростає вартість виявлення і вилучення дефектних ІМС на різних етапах їх застосування.

Організація вхідного контролю електронних виробів на підприємствах – виробниках радіоелектронної апаратури є важливою, оскільки кожна у.о., витрачена на усунення браку на вхідному контролі, дає збільшення прибутку на 5,45 у.о.

Таблиця 5.4 – Порівняння вартості виявлення і заміни дефектних ІМС на різних етапах застосування

Область застосування радіоелектронної апаратури	Вартість відмови ІМС на різних етапах їх застосування, у.о:			
	При вхідному контролі	При монтажу блоків	При випробуваннях радіо - електронної апаратури	В умовах експлуатації радіоелектронної апаратури
Широкого застосування	2	5	15	50-100
Промислового призначення	4	25	45	215
Військового призначення	7	50	120	1000
Космічного призначення	15	75	300	2000000

При використанні напівпровідникових виробів, якість партій яких характеризується 55 дефектними виробами на мільйон, досконалість випробувань, проведених на вихідному контролі, може статися недостатній. Але, проведення відбракувальних випробувань напівпровідникових виробів перед їх установкою в радіоелектронній апаратурі вимагає значних капітальних і трудових витрат.

Для ухвалення рішення про введення відбракувальних випробувань напівпровідникових виробів у технологічний цикл серійного виготовлення апаратури необхідна оцінка ефективності таких випробувань уже на початкових етапах їх планування. Ця оцінка впливу вхідного контролю напівпровідникових виробів на підприємствах-виробниках радіоелектронної апаратури і електротренування напівпровідникових виробів у складі вузлів і блоків апаратури проводиться шляхом уведення коефіцієнта у формулу очікуваної експлуатаційної інтенсивності відмов напівпровідникових виробів, що наводиться в довіднику з надійності чи в технічних умовах: $k = 1 / (1 k_j)$, де λ і λ' – інтенсивність відмов

напівпровідникових виробів на відповідно наступному і попередньому етапі виробництва чи експлуатації радіоелектронної апаратури; k_3 – коефіцієнт експлуатації напівпровідникових виробів (для вхідного контролю $k_3=1$, для виготовлення блоків $k_3 = 0.1$).

Використовуючи отримані статистичні дані, розраховують ефективність впливу вхідного контролю на підвищення надійності напівпровідникових виробів.

5.6 Контрольні питання

- а. Що розуміють під якістю виробу?
- б. Як оцінюють якість виробів, які випускаються?
- в. Які види контролю в залежності від етапу виробництва Ви знаєте?
- г. Яка мета виробничого контролю і контролю готових виробів?
- д. Як організують контроль якості й випробування виробів на підприємстві?
- е. Які вимоги висувають до контрольно-вимірювальних операцій?
- ж. Які норми контролю Ви знаєте?
- з. За якими принципами вибирають електричні режими й умови вимірювання?
- и. Які помилки впливають на результати вимірювань?
- к. Як класифікують і позначають вимірювальні прилади?
- л. Які методи вимірювання фізичних величин Ви знаєте?

6 ТЕМА №6 «ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗАСОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ»

Чисельність контролерів у масовому і крупносерійному виробництві розраховують у наступному порядку.

6.1 Трудомісткість контрольних робіт на річний випуск.

Трудомісткість кожного переходу контролю визначають, виходячи з встановленого нормативу часу і проценту вибіркової контролю за кожним технологічним переходом: $T_{к.пер} = H_ч \cdot k_в \cdot k_{відх}$, де $H_ч$ – норматив часу на виконання даного переходу контролю; $k_в$ – коефіцієнт вибіркової контролю; $k_{відх}$ – коефіцієнт, який враховує відхилення від встановлених нормативами умов виконання контрольного переходу.

Оперативний час на виконання операції контролю визначають як суму трудомісткості окремих переходів на даній операції контролю:

$T_{опер} = \sum_{t=1}^k T_{к.пер}$, де k – кількість контрольних точок або переходів.

Тривалість операції контролю враховує, крім оперативного часу, час на відпочинок і особисті потреби, а також на виконання покладених на працівника додаткових функцій: $T_{ум} = T_{опер} \cdot K_д$, де $K_д = 1,28$ – для масового і крупносерійного виробництва і $K_д = 1,35$ – для серійного виробництва.

Трудомісткість контролю на річний випуск: $T = \sum_{j=1}^M T_{ум.j} \cdot N_j$,

де M – кількість контрольованих виробів; j – номер виробу, який контролюється; N_j – річна програма j -го виробу.

Розраховують явочну чисельність контролерів: $H_{яв} = \frac{T \cdot K_c}{\Phi}$,

де Φ – річний фонд часу (номінальний) одного працівника; K_c – коефіцієнт, що враховує переведення частини працівників на

самоконтроль: $K_c = \frac{H_p - H_{p.c}}{H_p}$, де H_p – загальна кількість

виробничих працівників в цеху (на ділянці), для яких розраховується кількість контролерів; $H_{p.c}$ – кількість робітників, переведених на самоконтроль.

Розраховують чисельність за списком контролерів (у штатному розкладі): $H_{cn} = H_{яв} (1 + p/100)$, де p – заплановані невиходи на роботу через навчальну відпустку, хворобу тощо, %.

Завдання

Необхідно визначити чисельність контролерів механічного цеху крупносерійного виробництва.

Вихідні дані: трудомісткість контрольних робіт на річний випуск продукції цеху за планом – 82000 год.; загальна кількість виробничих працівників у цеху – 420 чол.; з них здійснює самоконтроль – 37 чол.; заплановані невиходи на роботу – 12%; річний фонд часу одного працівника – 2085 год.

Рішення.

$$K_c = \frac{H_p - H_{p.c}}{H_p} = \frac{420 - 37}{420} = 0,91.$$

$$H_{яв} = \frac{T \cdot K_c}{\Phi} = \frac{82000 \cdot 0,91}{2085} = 35,8 \text{ (чол.)}$$

$$H_{cn} = H_{яв} (1 + p/100) = 35,8 (1 + 12/100) = 40 \text{ (чол.)}$$

6.2 Розрахунок чисельності контролерів

Розрахунок чисельності контролерів серійного, дрібносерійного і одиничного виробництва проводиться у наступному порядку. Встановлюється норма обслуговування H_o для кожної галузі з урахуванням наступних умов: остаточному контролю піддаються всі виготовлені деталі і вузли; працівників, переведених на самоконтроль, нема; контроль суцільний. Норми обслуговування наводяться в галузевих рекомендаціях або методиках. В табл. 6.1 наведені норми обслуговування для електронної галузі. Визначається явочна кількість

контролерів цеху (ділянки): $H_{яв} = \frac{H_p}{H_0}$. Якщо в цеху (на ділянці)

частина працівників здійснює самоконтроль, і крім суцільного контролю застосовується ще й вибірковий, то потрібно внести поправку і отриману кількість помножити на коефіцієнти K_c і K_v .

Отже, явочна чисельність $H_{яв} = \frac{H_p \cdot K_c \cdot K_v}{H_0}$. Визначається

кількість за списком контролерів цеху (ділянки) так же, як і для умов масового виробництва: $H_{сн} = H_{яв}(1 + p/100)$.

Завдання

Необхідно визначити чисельність контролерів для механічної ділянки механозбирального цеха з серійним типом виробництва. Вихідні дані: загальна чисельність виробничих працівників – 120 чол., в т.ч. 15 чол. здійснюють самоконтроль; середня маса виробів, що перевіряються – 5 кг; обробка здійснюється за 3 класом точності; контроль суцільний і вибірковий, в середньому контролюється близько 60% виготовленої продукції; заплановані невиходи на роботу – 12%.

Таблиця 6.1 – Норми обслуговування контролерів якості продукції. Серійне й дрібносерійне виробництво

Виробництво мікросхем															
Клас точності робіт, які перевіряються	Цех підготовки пластин				Цех виготовлення мікросхем				Цех виготовлення гібридних ІМС						
	Середня кількість виробів (тис.шт.), що перевіряються														
	3	10	20	30	>30	3	10	20	30	>30	3	10	20	30	>30
	Кількість виробничих працівників, які обслуговуються одним контролером – H_0														
1-2	14	12	11	9	8	16	13	12	10	8	18	15	14	11	10
3	16	13	12	10	9	18	15	14	11	10	21	18	16	13	11
4-5	18	15	14	11	10	21	18	16	13	11	-	-	-	-	-

Рішення

З табл. 6.1 знаходимо для заданих умов виробництва норму обслуговування – $H_0=15$. (Цех підготовки пластин, кількість до 3 тис.

шт., 3-й клас точності робіт) $K_c = \frac{H_p - H_{p.c}}{H_p} = \frac{120 - 15}{120} = 0,88$; $K_e = 0,6$;

$$H_{яв} = \frac{H_p \cdot K_c \cdot K_e}{H_0} = \frac{120 \cdot 0,88 \cdot 0,6}{15} = 4,85 \text{ (чол.)}$$

$$H_{сн} = H_{яв} (1 + p / 100) = 4,85 (1 + 12 / 100) = 5,45 \text{ (чол.)}$$

Отже, в штатному розкладі повинно бути вказано 6 контролерів.

Розрахунок чисельності інженерно-технічних робітників ОТК рекомендується проводити за наступною формулою:

$$H_{нтр} = \frac{T_0}{\Phi_n \cdot K_{e,n}}, \text{ де } H_{нтр} - \text{чисельність за списком ІТР ОТК, чол.};$$

Φ_n - місячний корисний фонд часу одного робітника, год.; $K_{e,n}$ - запланований коефіцієнт виконання норм; T_0 - місячна трудомісткість

всіх виконуваних робіт, год., $T_0 = \sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i$, де t_i - норма часу виконання i -го виду робіт, год.; N_i - кількість робіт i -го виду; $i = 1, 2, \dots, n$ - види виконуваних робіт.

Якщо кількість робіт не планується, то можуть бути використані дані про кількість робіт, виконаних за звітних період, з відповідним коригуванням на запланований коефіцієнт зміни обсягу робіт.

Завдання

Визначити необхідну чисельність робітників технічного бюро ОТК, якщо за попередніми розрахунками встановлено, що місячна трудомісткість робіт цього підрозділу ОТК складає 1000 год.

Рішення

Місячний корисний фонд часу одного працівника складає 177 год. (при робочій неділі 41 год.), а запланований коефіцієнт виконання норм дорівнює 1,2. Чисельність працівників технічного бюро ОТК повинна складати:

$$H_{нтр} = \frac{1000}{177 \cdot 1,2} = 4,7 + 5 \text{ (чол.)}$$

Отже, для визначення фактично необхідної чисельності інженерно-технічних працівників і службовців ОТК необхідна укрупнена оцінка трудомісткості виконуваних ними робіт.

7 ТЕМА №7 «ТЕХНІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»

7.1 Відповідність засобів вимірювальної техніки

Постанова кабінет міністрів України від 24.02.2016 № 163 «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» із змінами (далі – Технічний регламент). Вимоги до засобів вимірювальної техніки та розроблений на основі Директиви 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно надання на ринку вимірювальних приладів.

Процедури оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки. Суттєві вимоги до засобів вимірювальної техніки (Додаток 1 до Технічного регламенту). Допустимі похибки. Кліматичні умови навколишнього середовища. Зовнішні механічні умови. Зовнішні електромагнітні умови. Застосовність вимог Технічного регламенту до вузлів. Надання на ринку та/або введення в експлуатацію на території України засобу вимірювальної техніки. Обов'язки суб'єктів господарювання (обов'язки виробників засобів вимірювальної техніки, уповноважених представників, імпортерів, розповсюджувачів).

Презумпція відповідності засобів вимірювальної техніки. Процедури оцінки відповідності. Технічна документація. Декларація про відповідність. Маркування відповідності. Загальні принципи нанесення знака відповідності.

7.2 Органи з оцінки відповідності

Призначення органів з оцінки відповідності. Вимоги до призначених органів. Залучення призначеними органами субпідрядників та дочірніх підприємств до виконання певних робіт, пов'язаних з оцінкою відповідності. Акредитовані внутрішні органи з оцінки відповідності виробників.

7.3 Державний ринковий нагляд і контроль засобів вимірювальної техніки. Контроль виробництва

Формальна невідповідність. Заходи щодо усунення формальної невідповідності. Таблиця відповідності положень Директиви

2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно надання на ринку вимірювальних приладів.

Внутрішній контроль виробництва – процедура оцінки відповідності, згідно з якою засоби вимірювальної техніки відповідають застосовним вимогам Технічного регламенту щодо засобів вимірювальної техніки (далі – Технічний регламент).

Технічна документація. Вимоги, що застосовуються і відомості про конструкцію, виробництво та функціонування засобу вимірювальної техніки в обсязі, необхідному для проведення оцінки. Виробництво. Маркування відповідності та декларація про відповідність. Обов'язки виробника.

Внутрішній контроль виробництва з наглядовими перевірками засобів вимірювальної техніки через довільні інтервали часу. Відповідність типу на основі внутрішнього контролю виробництва. Відповідність типу шляхом забезпечення якості виробничого процесу. Система управління якістю. Забезпечення якості кінцевого контролю та випробувань засобів вимірювальної техніки. Перевірка відповідності шляхом досліджень та випробувань кожного засобу вимірювальної техніки.

7.4 Вимоги до приладів (Додатки 1 і 3 «Технічного регламенту»)

Основні правила для випробувань і визначення похибок. (Додаток 1 до Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки, Постанова КМ України від 24.02.2016 № 163). Відтворюваність, повторюваність, поріг реагування і чутливість, надійність, придатність, захист від несанкціонованого втручання, показання. Інформація, нанесена на засіб вимірювальної техніки або така, яка його супроводжує. Особливі вимоги до приладів (Додаток 3 до Технічного регламенту): до лічильників води, призначених для вимірювання об'єму чистої холодної або гарячої води для побутових потреб та комерційного обліку; лічильників газу та пристроїв перетворення об'єму; лічильників активної електричної енергії; теплолічильників тощо (нормовані робочі умови, максимально допустима похибка, допустимий вплив електромагнітних завад, введення в експлуатацію, оцінка відповідності).

8 САМОСТІЙНА РОБОТА «ПРЕДИКТИВНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ»

8.1 Технологія «Predictive Maintenance»

Мастодонти індустрії на кшталт Toyota і Motorola прописують діагностику обладнання в своїх бізнес-стратегіях, адже від цих показників безпосередньо залежить прибуток компанії. На жаль, у Східній Європі такі підходи до діагностики й обслуговування устаткування нерідко залишаються незрозумілими або недооціненими.

На контроль і стан обладнання тут часто дивляться спрощено:

несправність = витрати на нові деталі й запчастини.

Ширше, несправність – це скорочення обсягів виробництва, витрати на реорганізацію процесів, оплату праці та зриви планових поставок. Врешті це ще й можлива шкода репутації, фінансові втрати від якої передбачити неможливо. Керівники, які не бачать описаних вище витрат, часто практикують традиційні підходи:

Реактивний – де йде наробіток до відмови; використовується, коли обладнання легко замінюється або ремонтується без шкоди для виробництва.

Превентивний – аналогічний до системи планово-запобіжних ремонтів (ПЗР); використовується для обладнання, вартість простою якого не критична, а ремонт не займає багато часу.

На сьогодні ці підходи недостатньо ефективні для якісного розв'язання проблем виходу устаткування з ладу. Людський фактор, проблеми з організацією даних і відсутність повної картини на підприємстві завжди будуть джерелами стресу, простоїв і перевитрат.

Зробити виробництво ефективним і надійним можна за допомогою підходів Індустрії 4.0. Прогнозне обслуговування (Predictive Maintenance) і віддалений контроль позитивно позначаються на зростанні компанії. Підтверджують це й очікувані обсяги ринку продуктів Predictive Maintenance, які, за прогнозами, збільшаться до \$10 млрд до 2022 року (тобто в 7 разів).

Технологія Predictive Maintenance ґрунтується на методології обслуговування обладнання за принципом надійності – Reliability-

Centered Maintenance (**RCM**). Правильно впроваджена концепція RCM гарантує, що системи будуть справно працювати в потрібних умовах, а несправності будуть зведені до мінімуму.

Уявіть, що у підприємства є насос, який на початку експлуатації працює справно. Згодом, його показники знижуються через, наприклад, забивання фільтра. Пізніше настає момент, коли насос не качає потрібну кількість води, а продуктивність падає до критичної точки. Обладнання виходить із ладу. Якщо це відбувається в момент контакту устаткування з сировиною, наслідки стають ще більш плачевними.

Що в цих випадках пропонують традиційні підходи до обслуговування обладнання? Періодично замінити насоси, наприклад, за середнім показником роботи вузла. Це непогане рішення, але проблема таких підходів у тому, що вони не враховують специфіку вузлів. Деякі з них можуть вийти з ладу раніше або пізніше терміну, і застосовувати до них один шаблон не варто. У результаті підприємство номінально займається обслуговуванням устаткування, насправді – все ще втрачає в його ефективності.

В основі методології предиктивного обслуговування лежить інший принцип – **регулярне оцінювання стану всього обладнання з індивідуальним підходом до кожного типу пристроїв**. Це означає, що сигналом до ремонту стають не дати середніх термінів служби, а падіння показників. Так не тільки прибираються «сліпі зони» виробництва, а й проводиться ремонт устаткування тоді, коли це найбільш вигідно й ефективно. Плановий підхід, де «календарні» перевірки по суті гасять пожежу на ходу, поступається предиктивному, де обладнання обслуговують на основі актуальних даних і точних прогнозів.

8.2 Впровадження Predictive Maintenance

Інформація – ядро ефективності інтелектуального обслуговування, тому починати слід з обробки даних. Тому *перший етап*:

- збір параметрів;
- моніторинг;
- контроль показників.

Другий етап, це побудова причинно-наслідкових зв'язків між зміною параметрів і роботою устаткування. У результаті:

- виробляється набір граничних значень, за якими система визначає необхідність ремонту;
- запобігаються критичні несправності;
- створюються умови, за яких пристрій працює найбільш ефективно.

Факт: тільки-но показники падають, алгоритм автоматично повідомляє про необхідність підладження. Усі показники об'єднані в єдину мережу, тому керівництво завжди буде знати про ризики й можливі несправності.

Третій етап упровадження Predictive Maintenance – повністю автоматизований контроль обладнання на підприємстві. Система максимально ефективно керує всіма процесами, зокрема:

- моніторинг показників;
- оформлення замовлень;
- створення ремонтних заявок;
- замовлення необхідних комплектуючих.

8.3 Додаткові переваги Predictive Maintenance і RCM

Ефективне використання ресурсів підприємства – головний плюс прогнозного обслуговування, але є й інші переваги. Перша з них: повноцінна картина показників виробництва. Системи, такі як SmartEAM, працюють із великими даними (Big Data) й, аналізуючи їх, моделюють реалістичні сценарії роботи. Наприклад, для прогнозування неочевидних відмов алгоритми Machine Learning досліджують показники минулої роботи, щоб запобігати несправностям. Людині це не під силу.

Це дає змогу керівникам приймати ефективні рішення на основі даних за вчора, за минулий місяць або рік. Планування фінансів і продажів стає більш прозорим, а розрахунки – більш точними.

Друга перевага: практично повне виключення людського фактора. Система керує даними, немов оркестром, миттєво приймаючи потрібні рішення й уникаючи помилок на кшталт дублікатів, некоректного введення або випадкового редагування показників. При цьому рішення предиктивного обслуговування не

обов'язково вимагають сучасного обладнання і сенсорів. Методологія злагоджено працює на будь-якому обладнанні.

Підсумовуючи сказане, предиктивний підхід у своїй універсальності показує хороший **ROI** (Return On Investments – окупність інвестицій), підвищення технічної готовності підприємства і прибирає критичні моменти. Такі системи, як SmartEAM, регулярно покращують роботу алгоритмів платформи, доступні як на ПК, так і на смартфонах або планшетах. Це особливо актуально, враховуючи різноманітність робочого обладнання на виробництвах Східної Європи.

8.4 Prescriptive Maintenance – новий рівень обслуговування обладнання

Методи технічного обслуговування розвиваються одночасно з викликами, що стоять перед індустрією. Наприклад, спочатку виробництву були потрібні ефективні засоби боротьби з аваріями. Так, реактивне обслуговування перетворилося на профілактичне.

Пізніше фокус змістився на моніторинг стану активів. Це дозволило скоротити витрати на обслуговування за рахунок зменшення кількості перевірок. Допомогло автоматизувати процес та розповсюдження рішень на базі Industrial Internet of Things (**IIoT**). Це також повпливало та знизило роль людського чинника у створенні ТО.

Розширений аналіз даних вивів технічне обслуговування на наступний рівень розвитку – Predictive Maintenance (**PdM**). Передиктивне обслуговування націлене на виявлення закономірностей і прогнозування ризиків. Ця стратегія не лише допомогла боротися зі збоями, які ще не відбулися, а й змінила наше уявлення про ефективне використання активів.

Сьогодні перед індустрією стоять нові виклики, пов'язані з дефіцитом ресурсів та енергоносіїв, розбудовою звичних ланцюжків постачання та впровадженням нових бізнес-моделей. Це означає, що і принципи технічного обслуговування знову змінюватимуться.

Еволюція технічного обслуговування

Наступним кроком у вдосконаленні методів керування технічним обслуговуванням експерти називають Prescriptive Maintenance (**RxM**). Ця стратегія заснована на розробці практичних рекомендацій (розпоряджень) для служби ТОiP. Наслідуючи їх, можна

знизити операційні ризики, підвищити ефективність дій або досягти поставлених KPI.

Основою для Prescriptive Maintenance є Predictive Maintenance. Хоча обидва методи націлені на надійність активів і використовують подібні інструменти для збору даних, є різниця у підходах.

Передиктивне обслуговування прогнозує відмови та допомагає розробити план дії для їх попередження.

Приписування дозволяє проаналізувати результативність запропонованих планів, щоб вибрати серед них оптимальний варіант.

У цьому важливо розглядати розвиток методів технічного обслуговування як еволюційний процес, і протиставляти RxM і PdM. Нова стратегія не суперечить принципам предиктивного обслуговування, лише посилює його характерні переваги:

- Ще менше позапланових простоїв;
- Максимальна продуктивність активів;
- Рентабельність обслуговування за рахунок збільшення його ефективності;
- Додаткова віртуалізація завдяки віддаленому доступу до даних;
- Більше інтеграції з інструментами управління бізнес-процесами.

Але Prescriptive Maintenance має і довгострокову мету. У майбутньому IT-системи навчатися не тільки створювати рекомендації, а й самостійно забезпечувати виконання приписів з обслуговування.

8.5 Методи та інструменти

Головне завдання Prescriptive Maintenance – надати службі TOiP оптимальний план обслуговування, що дозволяє вирішити максимальну кількість проблем із мінімальною кількістю дій.

Наприклад, виробник ліфтового обладнання TK Elevator ще в 2017 році впровадив рішення, засноване на принципах Prescriptive Maintenance. Їхня система аналізувала можливі причини збоїв і заздалегідь становила для служби TOiP рекомендації, які допомагали протягом одного виїзду бригади усунути 90% потенційних проблем. Подібні інструменти також є в арсеналі IBM, Airbus та інших компаній, націлених на результативне обслуговування.

Щоб рекомендації виявилися ефективними, потрібні точні прогнози. Щоб підвищити точність прогнозування, використовуються передові методи багатопараметричного аналізу аномалій.

Необхідно не просто виділити серед величезного потоку даних відхилення, які вказували б на потенційну проблему. Виявити аномалію потрібно якомога більш ранній стадії, щоб вчасно створити припис для технічного обслуговування та мінімізувати витрати.

На це здатні когнітивні IT-системи, які вміють аналізувати, інтерпретувати та адаптувати непередбачувану інформацію. Для Prescriptive Maintenance створюються рішення, які поєднують переваги технологій класу Industry 4.0:

- Big Data;
- Artificial intelligence;
- Machine Learning.

Основою для розгортання таких рішень має стати потужна інфраструктура з урахуванням IIoT. І поки когнітивні системи для RxM все ще вважаються чимось фантастичним, інструменти для збору та аналітики даних TOiP вже доступні. SmartEAM пропонує сучасні продукти для цифрової трансформації та впровадження на виробництві актуальних принципів технічного обслуговування. Може скластися враження, що Prescriptive Maintenance забезпечує все те, що Predictive Maintenance, але вимагає набагато більше вкладень в IT-інфраструктуру. Це не так, оскільки дане обслуговування має низку унікальних переваг, які є вкрай важливими для індустрії:

- використання історичних даних про активи для розрахунку сценаріїв та створення шаблонів обслуговування;
- автоматичний запуск дій в рамках плану щодо забезпечення надійності обладнання;
- прогнозування KPI, моделювання та оцінка сценаріїв для широкого спектру завдань;
- оптимізація плану обслуговування з урахуванням реальних матеріально-технічних обмежень.

Ці особливості дозволяють підприємствам скоротити час пошуку оптимальних рішень у сфері технічного обслуговування, поступово знижуючи роль людини та ресурсів у питаннях оптимізації TOiP. А це саме та стратегія, яка відповідає майбутнім викликам промисловості.

9 САМОСТІЙНА РОБОТА «КОЕФІЦІЄНТ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ – ПОКАЗНИК ДОСТУПНОСТІ ОБЛАДНАННЯ»

Коефіцієнт технічної готовності (КТГ) відображає доступність обладнання в заданий проміжок часу.

Низький КТГ може свідчити про неефективний план ТОіР, некомпетентність окремих виконавців чи служб, помилки у створенні робочого процесу й навіть загальний знос виробничих активів. Як вгадати, в чому саме проблема?

Вгадувати не треба. Сучасні технологічні засоби моніторингу допомагають підвищити точність аналітики, забезпечуючи доступ до об'єктивних даних про стан активів та процесів.

Використання таких рішень, як ІоТ (Industrial Internet of Things), забезпечує прозорість розрахунків КТГ, додаючи до формули додаткові змінні:

- Mean Maintenance Time (ММТ) – час, витрачений на профілактичне та реактивне обслуговування;
- Mean Time to Repair (МТТР) – час ремонтних робіт;
- Mean Time Waiting (МТВ) – час простою в очікуванні ТОіР.

З таким підходом підприємство одержує замість поверхневої оцінки доступності, глибоку аналітику з деталізацією до окремих робітничих центрів. А замість абсолютних значень КТГ, що ґрунтуються на календарному часі, об'єктивну інформацію з прив'язкою до КРІ.

Це значно полегшує оцінку якості роботи служб ТОіР та дозволяє виявляти тенденції щодо окремих напрямків:

- КТГф (фізичний коефіцієнт технічної готовності);
- КТГм (механічний коефіцієнт технічної готовності);
- КТГд (досяжний коефіцієнта технічної готовності).

Розглянемо роль кожного з показників оптимізації процесів підприємства.

А. Планування виробництва

Ключ до правильного планування – точна оцінка наявного виробничого ресурсу, зіставленого з технічними потребами до виконання конкретного замовлення.

У розпорядженні служби планування мають бути об'єктивні дані про доступність та завантаження обладнання. На основі цих відомостей проводиться розрахунок коефіцієнта використання обладнання (КІО) – показника часу, коли обладнання випускає продукцію.

Якщо це значення не прив'язане до ефективності активів та реального вироблення, виробничий план буде неточним. Як наслідок – невиправдані очікування клієнтів щодо термінів, ціни та якості.

На допомогу приходить фізичний КТГ. Він дозволяє визначити час, коли обладнання справді працювало для створення економічної цінності, а не простоювало.

КТГ фізичний (КТГ_ф) – це такий самий ресурс підприємства, як сировина чи персонал. Він проявляє виробничий потенціал і має втрачатися у процесі планування.

– Коефіцієнт технічної готовності «фізичний»

Використовується для цілей експлуатації та загальної оцінки тренда сервісу

$$\text{КТГ}_{\text{ф}} = \text{МТТМ} / (\text{МТТМ} + \text{М} + \text{МТВ})$$

(час за графіком – час недоступний до виробництва)/час за графіком



У ручному режимі відстежувати показник кожної одиниці устаткування фізично складно, тому має сенс впроваджувати ІТ-рішення. Система SmartEAM дозволяє автоматизувати процес збору даних про активи для моніторингу, аналізу та оптимізації ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness – загальна ефективність обладнання).

Б. Технічне обслуговування

Процес експлуатації обладнання допомагає службі ТОiP зробити висновки, наскільки реальні показники надійності активів відрізняються від заявлених виробником. Цей показник і відображає

механічний КТГ. При його розрахунку враховується час простою та відновлення обладнання у ситуаціях, не пов'язаних із помилками експлуатації.

КТГ механічної готовності

Такий коефіцієнт технічної готовності часто називають «вродженим», оскільки він безпосередньо пов'язаний з конструкцією та якістю експлуатації обладнання. Збільшити час напрацювання за збереження рентабельності ТОіР допомагають сучасні засоби управління життєвим циклом активів та проактивні методи обслуговування (Predictive Maintenance).

– Коефіцієнт технічної готовності «механічний»

Використовується для оцінки якості обладнання та кваліфікації виконання робіт

$$КТГ_M = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

(напрацювання – час ремонтних робіт) / напрацювання



В. Управління бізнес-процесами

Ще один вид КТГ є досяжним. Він відображає якість сервісу та ефективність обраної стратегії ТОіР у протидії ризикам. При його розрахунку враховується час між простоями та показники напрацювання до відмови.

– Коефіцієнт технічної готовності «досяжний»

Використовується для оцінки якості роботи сервісу

$$КТГ_D = MTBF / (MTBF + MTTR + MTW)$$

(час між відмовами – час простою) / час між відмовами



КТГд може стати відправною точкою розробки планів оптимізації ТОіР під конкретні КРІ. Цей коефіцієнт важливий для координації наскрізних бізнес-процесів, оскільки допомагає порівняти абсолютні показники з динамічними, а планові з реальними.

Що дає розрізнений аналіз усіх трьох типів КТГ?

Значення КТГ важливі для компаній, які хочуть підтримувати доступність активів не на папері, а в цеху. Вони починають уникати стандартизованих методів розрахунку на основі календарних планів і набувають гнучкості в управлінні навіть під час кризових ситуацій.

Додаткові перспективи відкриває використання ІТ-рішень моніторингу в режимі реального часу. Адже той, хто бачить готовність свого виробництва у динаміці, може гарантувати своєчасне виконання замовлень.

10 ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА САМОПЕРЕВІРКИ

- 10.1. Що розуміють під методом вимірювань?
- 10.2. Які Ви знаєте різновиди методу порівняння з мірою?
- 10.3. Як розрізняють методи вимірювань залежно від вимірювальних засобів, використаних у процесі вимірювань?
- 10.4. Як розрізняють види контролю за характером розподілу у часі?
- 10.5. Дайте визначення поняттю «засіб вимірювань».
- 10.6. Як класифікують засоби вимірювань?
- 10.7. Перелічіть різновиди нормативних технічних документів, які регламентують методику виконання вимірювань.
- 10.8. Перелічіть відомі Вам метрологічні показники засобів вимірювань.
- 10.9. Що розуміється під метрологічною надійністю засобів вимірювань?
- 10.10. Які є критерії якості вимірювань?
- 10.11. Охарактеризуйте принцип дії аналогових електромеханічних вимірювальних приладів.
- 10.12. Перелічіть основні види вимірювальних завдань, які можуть бути вирішені за допомогою електронно-променевих осцилографів.
- 10.13. Прилад и якої системи використовують як зразкові для повірки приладів постійного струму та змінного струму?
- 10.14. Яка будова механізму приладів магнітоелектричної системи.
- 10.15. Пояснити принцип роботи приладів магнітоелектричної системи.
- 10.16. У скільки разів повинна відрізнятись похибка зразкового приладу від похибки вивіреного приладу?
- 10.17. Які існують класи точності вимірювальних приладів?
- 10.18. Як встановлюють клас точності електровимірювальних приладів?
- 10.19. Якими стандартами керуються під час проведення повірки вольтметра?
- 10.20. Перелічіть операції повірки вольтметра постійного струму.

- 10.21. Які існують види тиску газу?
- 10.22. Які існують типи деформаційних манометрів? Пояснити будову принцип і дії манометрів.
- 10.23. За допомогою якого обладнання можна проводити повірку у манометрів.
- 10.24. Пояснити призначення і принцип дії вагопоршневого манометра МП 60М.
- 10.25. Які основні технічні і метрологічні характеристики зразкових манометрів.
- 10.26. Основні похибки вимірювання тиску манометрами та методи їх визначення.
- 10.27. Перелічить операції повірки манометрів.
- 10.28. З яких матеріалів виготовляють термометри.
- 10.29. Яка будова і принцип дії термоелектричного перетворювача?
- 10.30. Як конструктивно виконують термоелектричний перетворювач.
- 10.31. В яких межах можна вимірювати температуру за допомогою термоелектричних перетворювачів
- 10.32. Які термометри згідно з ДСТУ можна використовувати для повірки термоелектричного перетворювача?
- 10.33. Які типи штангенциркулів передбачені стандартом?
- 10.34. З яких частин складається штангенциркуль?
- 10.35. Що таке діапазон вимірювань, діапазон показань шкали, ціна поділки шкали?
- 10.36. Що таке похибка вимірювання, границя допустимої похибки?
- 10.37. Що таке повірка, які є види повірок, хто їх виконує?
- 10.38. За яких умов проводиться повірка?
- 10.39. Які операції включає процедура перевірки?
- 10.40. Назвіть засоби повірки штангенциркуля.
- 10.41. Що називають набором кінцевих мір довжини? Які існують класи наборів? Для чого призначені кожен клас набору?

11 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Наведені тести складені на основі тестів, наведених у [5].

11.1. Доповніть відповідь.

Сукупність величин, серед яких одні умовно вважаються незалежними, а інші на основі фізичних законів виражаються через них, має назву ...

1-система величин; 2-основні одиниці; 3-еталони; 4-аналогова фізична величина.

11.2. Чи вірне твердження?

Основною одиницею електрики і магнетизму є ампер, що дорівнює силі незмінного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках викликає би силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н?

1-так; 2-ні.

11.3. Доповніть відповідь. ... – це засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниць фізичної величини, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

1-вимірювальний прилад; 2-вимірювальний перетворювач; 3-еталон; 4-міра

11.4. Що таке аналогова фізична величина?

1-це величина, що поділена на рівні за розміром частини – кванти; 2-це величина, яка на кінцевому часовому інтервалі в заданому діапазоні набуває нескінченної кількості значень; 3-це магнітна величина; 4-це неелектрична величина.

11.5. Що таке вимірювальний прилад?

1-засіб вимірювань, в якому реєструється сигнал вимірювальної інформації; 2-засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації; 3-засіб вимірювань, в якому створюється кодовий сигнал вимірювальної інформації; 4-технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

11.6. Доповніть відповідь. ... – це послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обраним методом.

1-методика виконання вимірювання; 2-принцип вимірювання; 3-процедура вимірювання; 4-алгоритм виконання вимірювань.

11.7. Суб'єкт вимірювання, який може брати безпосередню участь у виконанні вимірювального експерименту – це ...

1-дослідник; 3-виконавець; 2-експериментатор; 4-спостерігач.

11.8. Вимірювання, при яких засіб вимірювань має безпосередній механічний контакт з досліджуваним об'єктом, мають назву ...

1-разові; 2-безконтактні; 3-технічні; 4-контактні.

11.9. Вимірювання однієї величини, в якому її значення одержують безпосередньо за показом відповідного приладу, без необхідних для знаходження значення вимірюваної величини додаткових обчислень – це ...

1-пряме вимірювання; 2-алгоритм вимірювання; 3-метрологічний нагляд; 4-непряме вимірювання.

11.10. Вимірювання, в якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять за результатами обчислень за відомими залежностями від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо – це ...

1-непряме вимірювання; 2-метрологічна атестація; 3-опосередковані вимірювання; 4-сумісні вимірювання.

11.11. Вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини заданого розміру – це ...

1-вимірювальний перетворювач; 2-міра; 3-компаратора; 4-аналоговий вимірювальний прилад.

11.12. Вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення – це ...

1-міра; 2-вимірювальний перетворювач; 3-реєструвальний засіб вимірювання; 4-цифровий вимірювальний прилад.

11.13. Що таке генераторний вимірювальний перетворювач?

1-це перетворювач, в яких зміна вхідного сигналу призводить до зміни їх параметрів – опору, індуктивності, ємності та частоти; 2-це вимірювальний пристрій, що є сукупністю засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення і виконує обчислювальні операції під час вимірювань; 3-це вимірювальний перетворювач, який реалізує масштабне вимірювальне перетворення; 4-це перетворювач, вихідні сигнали яких мають енергетичні властивості – напруга, струму, магніторушійна та електрорушійна сили.

11.14. Визначення похибок засобів вимірювальної техніки та встановлення їх при-датності для застосування за призначенням має назву

1-калібрування; 2-півірка засобів вимірювальної техніки; 3-метрологічна атестація; 4-метрологічний контроль.

11.15. Первинна півірка – це

1-повідка, яка здійснюється при випуску засобів вимірювальної техніки з виробництва або після ремонту та при ввезенні їх із-за кордону партіями; 2-повідка засобів вимірювальної техніки, що знаходяться в експлуатації або на зберіганні, через певні між перевірочні інтервали, які встановлюються, виходячи із забезпечення метрологічної справності засобів на період між повідками; 3-повідка, яка виконується, якщо виникли спірні питання стосовно метро-логічних характеристик, придатності та правильності використання ЗВТ; 4-повідка, яка проводиться під час державного метрологічного нагляду з метою перевірки придатності засобу вимірювальної техніки до застосування.

11.16. Визначити похибку зразкового амперметра, %, класу точності 0,2 з границею вимірювання 5 А при вимірюванні сили струму 4 А.

1-2,5 %; 2-0,25 %; 3-0,01 А; 4-0,01 %.

11.17. Яка повідка здійснюється при виникненні спірних питань щодо метрологічних характеристик, справності та придатності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) до застосування?

1-вибіркова повідка ЗВТ; 2-позачергова повідка ЗВТ; 3-експертна повідка ЗВТ; 4-первинна повідка ЗВТ.

11.18. Яка повідка здійснюється протягом експлуатації ЗВТ через встановлений проміжок часу?

1-первинна повідка ЗВТ; 2-вибіркова повідка ЗВТ; 3-позачергова повідка ЗВТ; 4-періодична повідка ЗВТ.

11.19. Що є основою методу безпосереднього порівняння ЗВТ, що повідється, із зразковим ЗВТ?

1-зміна розміру міри до суміщення покажчика аналогового приладу, що повідється, з позначкою шкали; 2-проміжний елемент – компаратор для опосередкованого порівняння двох фізичних величин; 3-оцінювання результату сумісної дії двох ЗВТ: зразкового та того, що повідється; 4-одночасне вимірювання значення фізичної величини зразковим приладом та приладом, що повідється.

11.20. Яким повинно бути співвідношення між похибками зразкового ЗВТ та ЗВТ, що повідється?

1-1:3; 2-дорівнювати один одному; 3-1:1; 4-1:7.

11.21. Яким повинен бути діапазон вимірювань зразкового ЗВТ та діапазон вимірювань ЗВТ, що повідється?

1-меншим; 2-більшим; 3-інваріантним; 4-великим.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008. (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 124-VIII від 15.01.2015, ВВР, 2015, № 14, ст.96).

2. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-1:2005 (ГОСТ ІСО 5725-1:2003, IDT). - [Чинний від 2005-30-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 29 с. – (Національний стандарт України).

3. Постанова кабінет міністрів України від 24.02.2016 № 163 «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» із змінами (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#n12>.)

4. Величко О. М. Основи стандартизації та сертифікації : підручник / О. М. Величко, В. Ю. Кучерук, Т. Б. Гордієнко, В. М. Севастьянов. – Київ, 2012. – 362 с.

5. Нестерчук Д. М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М. Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

6. Сніжної Г. В. Менеджмент і нормативне забезпечення якості в електронній галузі / Г.В. Сніжної, С.М. Степаненко. Навчальний посібник. – Запоріжжя: Запорізький національний технічний університет, 2010. – 154 с.

7. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник: підручник. / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 522 с.

8. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко: Львів: Вид-во “Бескид Біт”, 2003. – 544 с.

9. Петльований Є. О. Методи та засоби інформаційно-вимірювальної техніки, випробувань і контролю: підручник. Дніпро, 2018. – 191 с.

10. Черноіваненко К. О. Метрологія, забезпечення єдності вимірювань та еталони одиниць фізичних величин : підручник. / К.О. Черноіваненко, А.М. Должанський, Є.О. Петльований, О.А. Бондаренко, І. М. Ломов Дніпро, 2018. – 164 с.

11. Методичні рекомендації для виконання практичних та лабораторних занять для здобувачів вищої освіти СВО «Бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» денної форми навчання. Укладачі: Патрєва Л.С., Стародубець О.О., Каницька І.В. Миколаївський національний аграрний університет, 2021, – 84 с.

12. Шовкун І.Д. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів з дисципліни «Вступ до техніки вимірювань» для студентів напрямів підготовки 6.050801 Мікро- та наноелектроніки 6.070802 Електронні пристрої та системи, освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за спеціальностями «Мікроелектроніка», «Фізична та біомедична електроніка», «Електронні прилади та пристрої», «Електронні системи»/ І.Д. Шовкун, О.В. Семеновська, Т.А. Саурова, – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 55 с.

13. Павлов. Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. - М.: Высш. школа, 1985, С. 4 - 35.

14. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 2. Электричество и магнетизм. М.: Наука. 1998.

15. Метрологія та вимірювальна техніка / Є.С. Поліщук та інш. – Львів: Бескид Бід, 2003. – 544 с.

16. Снежной Г. В. Автоматизированная установка для исследования релаксационных процессов и ВАХ в диэлектриках и полупроводниках / Г. В. Снежной, А. В. Кондратьев // Радиоэлектроника, информатика, управление.-1999. – №2. – С.44-46.

17. Сніжної Г. В. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів / Г. В. Сніжної, Є. Л. Жавжаров // збірник наукових праць «Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування". – 2012. – № 49. – С. 136-141.

18. Сніжної, Г. В. Оптимізація методики проведення спільних вимірювань для визначення параметрів технологічного процесу [Текст] / Г. В. Сніжної / Матеріали X Ювілейної Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 7-9 жовтня 2020 р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С.196-197.