

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева**

**ДІАГНОСТИЧНІ КОМПЛЕКСИ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форми навчання  
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2019**

**Єсаулов С. М.** Діагностичні комплекси: конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 87 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. С. М. Єсаулов,  
канд. техн. наук, доц. О. Ф. Бабічева

Рецензенти:

**В. П. Шпачук**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і будівельної механіки (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

**А. К. Бабіченко**, кандидат технічних наук, професор (Харківський національний технічний університет «ХПІ»)

Конспект лекцій призначений для вивчення технічних засобів, що розробляються для діагностики обладнання і пошуку несправностей в ланцюгах керування електромеханічних пристроїв транспортних засобів муніципального господарства

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол № 3 від 04.09.2018.*

© С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева 2019

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ І ВИМІРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН</b> .....	8
1.1 Діагностика технологічних об'єктів.....	8
1.2 Види і призначення технічного контролю .....	9
1.3 Виміри параметрів при діагностиці .....	11
1.4 Вимірjувальні перетворювачі технологічних величин .....	13
1.5 Основні характеристики процесу виміру .....	16
1.6 Класифікація видів і методів вимірів.....	20
1.7 Оцінка похибок виміру .....	22
<b>2 ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ</b> .....	23
2.1 Методи і системи діагностики .....	23
2.2 Комп'ютерні методи діагностики.....	25
2.3 Особливості діагностичних комплексів .....	27
2.4 Мехатронні системи на транспорті.....	30
<b>3 ЦИФРОВИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН І ПАРАМЕТРІВ</b> .....	32
3.1 Цифрова обробка інформації безперервного процесу .....	32
3.2 Основні властивості частотних вимірів.....	33
3.3 Вимір напруги .....	35
3.4 Вимір сили струму .....	37
<b>4 ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ</b> .....	39
4.1 Основні структури ВІС.....	40
<b>5 ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ</b> .....	42
5.1 Електромеханічні датчики-перетворювачі .....	42
5.2 Акустичні датчики .....	42
5.3 Гальваноманітні перетворювачі Холу і Гауса .....	44
5.4 Перетворювачі на основі ефекту Баркгаузена.....	45
5.5 Вихрові, індуктивні перетворювачі .....	46
5.6 Магнітопружні перетворювачі.....	47
5.7 Індукційні перетворювачі (віброзаходи) .....	48
<b>6 МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННІ</b> .....	49
6.1 Контроль контактно-релейних схем .....	50
6.2 Контроль аналогових схем .....	52
6.3 Контроль гібридних пристроїв.....	54
<b>7 МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ</b> .....	59
7.1 Аналіз кодових комбінацій.....	59
7.2 Коди з перевіркою парності (непарності).....	61

7.3 Алгоритмічні методи діагностування.....	62
7.4 Класифікація і характеристика методів діагностування.....	65
7.5 Уніфікація методів діагностики.....	66
8 РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ .....	70
8.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування.....	70
8.2 Вибір етапів діагностування електрообладнання .....	70
8.3 Складання блок-схеми алгоритму діагностування .....	71
9 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ...	73
9.1 Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики.....	73
9.2 Розробка локальних систем діагностики .....	74
9.3 Розробка кодів несправностей .....	78
10 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНИХ БЛОКІВ.....	79
10.1 Реалізація сховодової логіки діагностики .....	79
10.2 Діагностика гібридних електричних схем.....	80
11 ТЕХНІЧНИЙ ДИЗАЙН ДІАГНОСТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ.....	82
12 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ .....	85
12.1 Визначення економічної ефективності пристрою.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	87

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EOBD – Європейська система бортової діагностики  
АЦП – аналого-цифрове перетворення  
АД – амплітудний дискримінатор  
БЗД – бінарні засоби діагностики  
БП – багатошарові плати  
ВЕТ – вироби електронної техніки  
ВІС – великі інтегральні схеми  
ВК – вбудований контроль  
ВКТ – вбудований контроль технологічний  
ВКФ – вбудований контроль функціональний  
ВОК – вимірювально-обчислювальний комплекс  
ВС – вимірювальні системи  
ГЗЧ – генератор зразкової частоти  
ГХ – градувальна характеристика  
ДОН – джерело опорної напруги  
ДК – діагностичний комплекс  
ЕО – електрообладнання  
ЕМО – електромеханічне обладнання  
ЕП – електронний пристрій  
ЕСП – електроприводи спеціального призначення  
ЕХ – ефект Холу  
ЗВІ – засоби відображення інформації  
ЗККС – засобів контролю, керування й сигналізації  
ЗП – запам'ятовуючі пристрої  
ІС – інтегральна схема  
ІП – індукційні перетворювачі  
КП – керувальний пристрій  
КРС – контактно-релейні схеми  
ЛДУ – локальних діагностичних пристроїв  
МКВ – мінімальна кодова відстань  
НС – несправності  
НЕ – нормальний елемент  
НП – напівпровідників  
НТД – нормативно-технічна документація  
ОП – операційний підсилювач  
ПВП – первинний вимірювальний перетворювач  
ПНЧ – перетворювач напруги в частоту

ПХ – перетворювач Холу  
СА – сигнатурний аналіз  
САК – системи автоматичного контролю  
СДМ – система аналізу діагностичних модулів  
СФ – смуговий фільтр  
ТД – технічна діагностика  
ТК – технічний контроль  
ТО – технологічний об'єкт  
ТП – технологічні процеси  
ФТ – функціональному тестуванні

## ВСТУП

Технічна діагностика займає усе більш важливе місце в сучасному електромеханічному обладнанні, в якому використовують нові технології. Стосовно об'єктів комунального призначення впровадження засобів діагностики диктується необхідністю продовження терміну служби або інтервалу часу безаварійної роботи електромеханічного обладнання. Нині галузь не має в розпорядженні можливостей в найкоротші терміни замінити обладнання, яке вичерпало свій нормативний ресурс. Щорічний приріст парку електромеханічного обладнання з наднормативним терміном служби значно перевищує обладнання, що знову вводиться, тому підтримка необхідної експлуатаційної готовності обладнання стає усе більш важкою. Перехід до ремонту залежно від фактичного стану обладнання підштовхує бурхливий розвиток засобів, методів і систем технічної діагностики.

Необхідність підвищення експлуатаційної безвідмовності працюючого електромеханічного обладнання за рахунок виявлення дефектів, прогнозування їх розвитку, представляється актуальним завданням, для рішення якої потрібно фахівців в області діагностичного виявлення несправностей електромеханічного обладнання.

Як фундамент для побудови ефективних систем діагностування є засоби і методи діагностики, які мають досить високу інформативність, технічне і нормативне забезпечення, а також мають гнучку методологічну базу ухвалення рішень. Разом з традиційними методами контролю, знайшли застосування сучасні високоефективні способи діагностики, що забезпечують виявлення дефектів технологічного обладнання на ранній стадії їх розвитку, дозволяють контролювати досить широкий перелік параметрів, що обґрунтували реалізацію діагностичних комплексів для обслуговування техніки з безперервним циклом експлуатації, до яких відноситься міський електричний транспорт із системою енергопостачання.

Найпривабливіші діагностичні комплекси дозволяють успішно визначати місця наявних дефектів з високою мірою достовірності на діючому електромеханічному обладнанні, встановлюють однозначний зв'язок між мірою розвитку дефекту і отриманою діагностичною інформацією. Діагностичні комплекси відрізняються високою ефективністю при вирішенні завдань раннього виявлення дефектів обладнання, оцінці їх небезпеки, визначенні об'єму ремонтно-відновних робіт і оптимізації ремонтно-технічного обслуговування обладнання.

# 1 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ І ВИМІРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН

## 1.1 Діагностика технологічних об'єктів

Розширення областей автоматизованого керування виробничими і інтелектуальними сферами діяльності сучасного суспільства супроводжується бурхливим розвитком електронних систем й істотним ускладненням цих систем, що широко впроваджуються в технологічні процеси (далі – ТП) на самих різних технологічних об'єктах (далі – ТО), включаючи комунальне господарство. В той же час безперервно зростають вимоги до надійності дії складних систем, від правильної роботи яких залежать якість виконуваних технологічних операцій, а також здоров'я і життя людей і стан довкілля.

*Діагностика* у буквальному розумінні – це розпізнавання, визначення суттєвості і особливостей на основі всебічного дослідження, здатність розпізнавати, вчення про методи і принципи розпізнавання властивостей об'єкту.

Будь-який об'єкт, створений руками людини, не може мати абсолютної (стовідсоткової) надійності. Щоб наблизитися до неї, людська думка розвивається в самих різних напрямках шляхом підвищення цієї надійності. Одним із способів підвищення надійності дії технічних систем є технічна діагностика, зокрема діагностика електронних засобів.

*Технічна діагностика* (далі – ТД) – це галузь науково-технічних знань, суть якої складають теорія, методи і засоби виявлення і пошуку дефектів об'єктів технічної природи. Технічна діагностика є різновидом *технічного контролю*. Під *дефектом* слід розуміти будь-яку невідповідність властивостей об'єкту заданим, потрібним або очікуваним при функціонуванні. Використання технічної діагностики розширюється і удосконалюється, оскільки вона все відчутніше стає гарантією якості і надійності будь-яких технічних рішень, включаючи електронні системи контролю, керування, сигналізації та ін.

Основне завдання ТД електромеханічних і електронних пристроїв полягає в організації контролю справності, працездатності і правильності функціонування електрообладнання (далі – ЕО) і виробів електронної техніки (далі – ВЕТ). ТД дозволяє визначати неякісні або потенційно непридатні пристрої. Результатом ТД є укладення про технічний стан електротехнічних блоків, вузлів і елементів – технічний діагноз.



## 1.2 Види і призначення технічного контролю

*Технічний контроль* (далі – ТК) – це перевірка відповідності технічних характеристик виробів або процесів вимогам нормативно-технічної документації (НТД), здійснювана в ході виробничого процесу [1]. ТК може бути суцільним і вибіркоvim. Залежно від стадії виробництва розрізняють вхідний операційний і вихідний контроль.

*Операційний контроль* здійснюється в ході виконання або після завершення будь-якої технологічної операції. Операційний контроль дозволяє своєчасно виявити брак у виробі або порушення технології, встановити причину порушення, вилучити браковані вироби з ТП, своєчасно робити перевірку, підналадку і налаштування обладнання і технологічного оснащення.

*Вихідний контроль* ЕО і ВЕТ проводиться після виконання останньої операції технологічного процесу для виявлення некондиційної або потенційно непридатної продукції. До вихідного контролю часто відносять різні випробування виробів на надійність, випробування для визначення допустимих меж зміни умов і режимів експлуатації обладнання, для віднесення виробів до тієї або іншої групи за точністю, ідентичністю параметрів і т.п.

*Вбудований контроль* (далі – ВК), особливо електронних засобів (на прикладі великих інтегральних схем (далі – ІС) – це перевірка працездатності електронних пристроїв (далі – ЕП), що виконується за допомогою спеціальних засобів контролю і виявлення несправностей (далі – НС), наприклад, схем порівняння, генераторів сигналів, що входять до складу цього пристрою і конструктивно об'єднаних з ним в єдине ціле. ВК використовується в мікро-ЕОМ, мікроконтролерах платах, виконаних з великими інтегральними схемами (далі – ВІС).

Розрізняють вбудований контроль технологічний (далі – ВКТ) і функціональний (далі – ВКФ). Перший використовують при створенні, а другий – при приймально-здавальних випробуваннях і в процесі експлуатації обладнання або пристрою.

За повнотою перевірки функціонування ВЕТ розрізняють ВК *повний* і *локальний*. У першому виді перевіряються усі функціональні можливості, а в другому робота тільки окремих елементів пристрою. Крім того, розрізняють ВК: тест-орієнтований, процедурно-орієнтований і проблемно-орієнтований.

При *тест-орієнтованому вбудованому контролі* використовується певна група тестів.

*Процедурно-орієнтований ВК* – це перевірка роботи пристрою за результатами рішення заданого набору завдань.

*Проблемно-орієнтований* контроль полягає в перевірці внутрішнього фізичного або логічного стану компонентів пристрою при виготовленні, випробуваннях або експлуатації.

*Достоїнства* ВК полягають в тому, що він:

- забезпечує перевірку функціонування ЕО в реальному масштабі часу;
- підвищує якість контролю.

ВКТ на ТО мають зазвичай один-два виведення для подання опитних сигналів і отримання контрольної інформації. Такі системи або пристрої дозволяють створювати досить просту контрольну-діагностичну систему без складної вимірювальної апаратури.

*Неруйнівний контроль* (далі – ПК) – це сукупність методів виміру контролю показників якості пристрою без зміни його властивостей, параметрів і характеристик. ПК дозволяє:

- отримувати додаткову інформацію, що характеризує прямо або побічно поведінку пристрою у часі;
- відбракувати на стадії виготовлення потенційно ненадійні вироби з прихованими дефектами;
- відбирати найбільш стійкі вироби для роботи в особливо складних умовах;
- визначати причини виникнення прихованих дефектів.

За допомогою ПК вирішують такі завдання, як перевірка якості з'єднань елементів, перевірка оптимальності схемно-топологічних вирішень технічних структур, оцінка якості складання і герметизації електронних пристроїв, плат; визначення електричних параметрів випробовуваної електронної техніки.

Склад і призначення технічних засобів ПК визначаються завданнями в системі контролю якості функціонування ТО. Наприклад, для відбору електронних приладів (комп'ютерів з системними блоками) і пристроїв зі зниженим рівнем шуму застосовують вимірники шумів, вимірники нелінійних викривлень, аналізатори вольт-амперних характеристик.

Між звичайним і неруйнівним контролем немає чіткої межі, за винятком випадків контролю механічної міцності (випробування на розрив), розчинності, термостійкості і т.п.

*Візуальний контроль* – метод виявлення і аналізу зовнішніх дефектів ЕО і ВЕТ, що виникають на різних етапах виробництва, здійснюваний оператором з використанням оптичних засобів. Це один з видів контролю якості електроприладів. Найбільш трудомістким вважається візуальний контроль монолітних і гібридних пристроїв, що включають електромеханічні і електронні пристрої.

При визначенні дефектів користуються еталонними зразками, кресленнями, фотографіями, операційними картами технологічного процесу, застосовуючи метод порівняння. Основний технічний засіб візуального контролю – мікроскоп. Розроблені автоматизовані установки візуального контролю, оснащені мікропроцесорною системою з екраном і з автоматизованим поданням контрольованого об'єкту під окуляр мікроскопа.

### 1.3 Виміри параметрів при діагностиці

Один з етапів діагностики – вивчення (дослідження) об'єкту, а вивчення неможливе без виміру.

У електроніці використовуються різні види вимірів: електричні, магнітні, радіовиміри.

*Вимір* – це знаходження значень фізичних величин досвідченим шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

*Значення фізичної величини* – це кількісна характеристика властивостей фізичного об'єкту, його стану і процесів, що відбуваються в нім.

Фізичні величини матеріалізуються в спеціальних засобах вимірювання – еталонах і заходах. Вибрані наступні основні одиниці фізичних величин: маса – кілограм (кг); довжина – метр (м); час – секунда (с); сила струму – ампер (А); термодинамічна температура – кельвін (К); сила світла – кандела (кд); кількість речовини – моль (моль).

*Засоби вимірів* – це технічні засоби, що використовують при вимірах і мають нормовані метрологічні властивості.

Розрізняють наступні види засобів вимірів :

- заходи;
- вимірювальні прилади;
- вимірювальні установки;
- вимірювальні системи.

*Міра* – засіб виміру, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Міра може бути однозначною, багатозначною і у вигляді набору. Наприклад, конденсатор постійної місткості, нормальний елемент (НЕ), гиря – це *однозначні заходи*.

Нормальний елемент – це спеціальний гальванічний елемент, ЕРС якого точно відома. Є два види НЕ:

– насичений НЕ, що має чотири класи точності: 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005. Значення ЕРС насиченого елемента, наприклад, класу 0,0005 при

температурі 20 °С повинно бути в межах (1,0185 – 1,0187) В (допустима зміна за рік 5 мкВ, струм – не більше 1 мкА);

– ненасичений НЕ (клас точності – не більше 0,002, ЕДС – в межах (1,0186 – 1,0196) В при допустимій зміні за рік 20 мкВ).

Ненасичений НЕ має менший внутрішній опір, чим насичений (близько 300 Ом).

НЕ – це зразкова міра. Його не можна перевертати, трясти, нагрівати, опромінювати світлом. Як робоча міра часто використовується прецизійний стабілізатор постійної напруги. Він може забезпечити постійність вихідної напруги до тисячних доль відсотка при температурному коефіцієнті напруги близько 0,001 %/°С і значних струмах навантаження.

Лінійка з міліметровими діленнями, конденсатор змінної місткості, варіометр індуктивності є багатозначними заходами.

*Набір заходів* – набір гирь, магазин опорів, місткостей та ін.

*Вимірювальний прилад* – засіб виміру, призначений для вироблення сигналів вимірювальної інформації, тобто інформації про значення вимірюваної величини у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігача. Вимірювальні прилади можуть бути:

- аналогові;
- цифрові;
- що показують;
- що реєструють;
- самописні;
- що друкують.

Для отримання результату виміру фізичної величини в процесі виміру обов'язково повинна брати участь міра. У вимірювальних приладах прямої дії вхідна величина перетворюється від входу до покажчика, а роль міри виконує спеціальний пристрій, відкалібрований за допомогою міри при виготовленні приладу. У приладах порівняння проводиться безпосереднє порівняння вхідної величини з мірою.

*За різновидом* вимірюваної електричної величини вимірювальні прилади підрозділяють на амперметри, вольтметри, омметри, особлива група – мультиметри.

*За особливостями* застосування розрізняють вимірювальні прилади стаціонарні (щитові) і переносні, а по виконанню – звичайні, пило-, водо-, бризкозахищені, герметичні й так далі.

## 1.4 Вимірювальні перетворювачі технологічних величин

*Вимірювальні перетворювачі* – це засоби вимірювання, призначені для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (чи) зберігання, але невіддатливою безпосередньому сприйняттю спостерігача. Вимірювальний перетворювач має вхід, на який подається перетворювана вхідна величина, і вихід, на якому утворюється вихідна величина перетворювача.

Вихідна величина пов'язана з вхідною залежністю вигляді  $y = \Phi(x)$ , що називається *функцією перетворення*.

Існують також перетворювачі з декількома входами, що реалізують залежність вихідної величини або від усіх вхідних, або від однієї будь-якої вхідної величини при незмінних інших.

Функція перетворення відображає зв'язок між вхідною і вихідною величинами якісно. Для відображення кількісного зв'язку між ними вводять градувальну характеристику (далі – ГХ), яка є залежністю між вхідною і вихідною величинами вимірювального перетворювача, складену у вигляді таблиці, графіка або розрахункової формули.

*Вимірювальний ланцюг* може мати декілька перетворювачів, включених послідовно. В цьому випадку перший вимірювальний перетворювач, до якого безпосередньо підводиться вимірювана величина, називають *первинним вимірювальним перетворювачем* (далі – ПВП).

Електричні вимірювальні перетворювачі можна розрізнити за характером перетворюваних величин:

- електричних в електричні;
- неелектричних в електричні (датчики);
- магнітних в електричні;
- електричних в неелектричні.

За призначенням виділяють:

- масштабні вимірювальні перетворювачі: шунти, дільники напруги, вимірювальні підсилювачі й трансформатори;
- перетворювачі роду величини.

До вимірювальних перетворювачів електричних величин в електричні відносяться:

- електрична величина - цифровий код;
- напруга - частота;
- напруга - період електричних коливань;
- активна потужність-напруга і так далі.

Прикладами перетворювачів неелектричних величин в електричні можуть бути:

- термоелектричні перетворювачі;
- термістори;
- тензорезистори;
- індуктивні й ємнісні перетворювачі та ін.

За їх допомогою електричний сигнал перетворюється в такі неелектричні величини, як температура, деформація, тиск, швидкість і тому подібне.

Прикладом перетворення електричної величини в неелектричну служить вимірювальний механізм будь-якого стрілочного електромеханічного приладу.

Для перетворення магнітних величин в електричні використовують індукційні, квантові, гальваномагнітні перетворювачі, побудовані на ефекті Холу (відкритий в 1879 р.).

*Ефект Холу* (далі – ЕХ) є явищем виникнення в провіднику із струмом, поміщеному в магнітне поле, електричного поля з вектором напруженості, перпендикулярним до напрямку струму і напрямку вектору магнітної індукції (рис. 1.1).

Напруга, що створюється на гранях елемента Холу:

$$U_y = \frac{R \cdot B_z \cdot I_x}{L_z}, \quad (1.1)$$

де  $R$  – постійна Холу (для металів  $R \sim 10^{-3}$  см<sup>3</sup>/Кл, для напівпровідників  $R \sim 10^5$  см<sup>3</sup>/Кл, в слабких магнітних полях  $R = \mu/\delta$ , де  $\mu$  – рухливість носіїв заряду,  $\delta$  – питома електропровідність);

$B_z$  – вектор магнітної індукції зовнішнього магнітного поля;

$I_x$  – струм в провіднику, що створюється джерелом ЕРС,  $E$ ;

$L_z$  – розмір пластини по осі  $z$ .

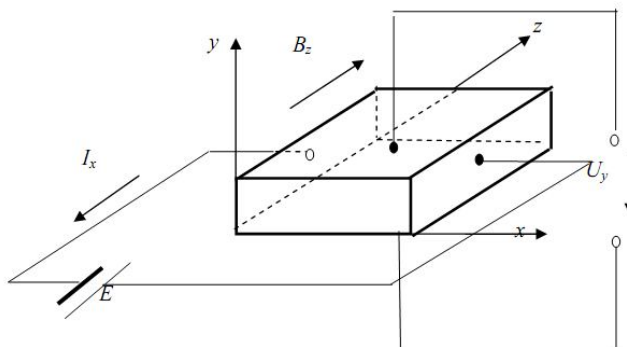


Рисунок 1.1 – Ілюстрація до принципу перетворення на ефекті Холу

Властивості перетворювача Холу (далі – ПХ) – датчика Холу. ПХ перетворить індукцію магнітного поля в електричну напругу. Він є плівкою з напівпровідника (Se, Ge, GaAs, InSb), напиленою на міцну підкладку з діелектрика (слюда, кераміка, ферит) з чотирма електродами. Перетворювачі Холу можуть бути вимірювальні й індикаторні. Застосовуються вони як первинні перетворювачі в магнітометрах, установках для контролю параметрів магнітних матеріалів, безконтактних амперметрів, аналогових перемножуючих пристроях, вимірниках лінійних і кутових переміщень, безконтактних перетворювачах постійного струму в змінний та ін. Індикаторні ПХ служать для встановлення факту наявності або відсутності магнітного поля в цій точці простору.

Основними характеристиками ПХ є наступні:

1. Чутливість:  $K^c = R_x / B$ , де  $R_x$  – «холовський» опір;  $B$  – магнітна індукція.
2. Залишкова напруга при  $B = 0$ .
3. Температурні коефіцієнти чутливості і залишкової напруги.
4. Коефіцієнт нелінійності.
5. Коефіцієнт розбіжності (зміна чутливості при зміні вектору магнітної індукції).

Окрім ЕХ, в техніці вимірів знаходять застосування та інші ефекти: Керр, Фарадея – магніторезистивний, Баркгаузена, Гауса та ін. досить повно викладені в технічній літературі.

За різновидом вихідної величини вимірювальні перетворювачі неелектричних величин в електричні підрозділяються:

- на генераторні – вхідна величина перетворюється в ЕРС або струм;
- параметричні – вхідна величина перетворюється в один з параметрів електричного ланцюга  $R$ ,  $L$ ,  $C$  або  $M$ .

Генераторні перетворювачі не вимагають стороннього джерела енергії, окрім дії перетворюваної величини, а параметричні – потребують стороннього джерела енергії.

Наприклад, термоелектричний перетворювач виконує свою функцію без стороннього джерела енергії, а термоанемометр (дріт, що нагрівається) перетворить швидкість контрольованого середовища в приріст опору тільки за допомогою стороннього джерела струму.

## 1.5 Основні характеристики процесу виміру

До загальних характеристик процесу вимірювання відносяться:

- похибки;
- варіації свідчень;
- чутливість до вхідної величини;
- потужність, споживана від об'єкту виміру;
- швидкодія;
- час встановлення свідчень;
- діапазон виміру;
- надійність.

Перші сім характеристик є ще і метрологічними характеристиками, які впливають на результати виміру.

*Похибка* – це характеристика, пов'язана з поняттям про істинне значення фізичної величини  $X_i$ , під яким мається на увазі таке значення фізичної величини, яке ідеальним чином відбивається в якісному і кількісному стосунках відповідній властивості об'єкту. Похибка виміру – це відхилення результату виміру від істинного значення вхідної величини. Розрізняють дві складові похибки виміру:

- інструментальну (вона залежить від похибки засобів вимірів);
- методичну, яка залежить від методики виміру.

Ці складові використовують для вимірювального перетворювача.

Крім того, розрізняють абсолютну, відносну і приведену похибки.

Абсолютна похибка ( $\Delta$ ) виражається в одиницях вхідної величини. Для приладу  $\Delta = X - X_i$ , де  $X$  – свідчення приладу.

Для вимірювального перетворювача абсолютна похибка по входу - це різниця між значенням величини на вході, визначуваним за істинним значенням на його виході за допомогою градуювальної характеристики перетворювача, і істинним значенням величини на вході перетворювача. Абсолютна похибка, узята із зворотним знаком, називається поправкою.

Відносна похибка визначається вираженням

$$\delta = \frac{\Delta}{X_i} \cdot 100\%. \quad (1.2)$$

Для приладів і перетворювачів на практиці допустимо відносити абсолютну похибку до значення вхідної величини, знайденої за допомогою цього засобу виміру.



Істинне значення  $X_i$  залишається невідомим, тому на практиці користуються «дійсним» значенням величини, яке може бути визначене експериментально за допомогою зразкових засобів виміру.

Для приладів і перетворювачів використовують поняття приведеної погрішності  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де  $X_N$  – нормуюче значення вимірюваної величини, яке приймається дорівнюючим:

1) для засобів виміру з квазірівномірною шкалою:

– кінцевому значенню шкали, якщо нульова відмітка на краю або поза шкалою;

– арифметичній сумі кінцевих значень діапазону вимірів, якщо нульова відмітка знаходиться усередині діапазону вимірів;

2) для засобів виміру зі встановленим номінальним значенням – цьому номінальному значенню. Наприклад, частотомір з діапазоном 45 – 55 Гц має номінальне значення 50 Гц, тоді  $X_N = 50$  Гц;

3) для засобів виміру з істотно нерівномірною шкалою – усій довжині шкали (чи її частині, що відповідає діапазону вимірів). В цьому випадку абсолютну похибку, як і довжину шкали, виражають в одиницях довжини.

Залежно від зміни в часі вхідної величини розрізняють наступні похибки засобів вимірів :

– статичну похибку при вимірі постійної за часом величини;

– динамічну похибку – різниця між похибкою при вимірі змінної в часі величини і статичною похибкою в даний момент часу.

Залежно від характеру зміни похибки розрізняють:

– систематичні похибки – складові похибки, що залишаються постійними або закономірно змінюються при повторному вимірі однієї й тієї ж величини;

– випадкові похибки – складові похибки, що змінюються випадковим чином при повторних вимірах.

За умовами виникнення розрізняють:

– основну похибку – похибка засобу вимірювання за нормальними умовами;

– додаткову похибку – похибка засобу вимірювання, викликану відхиленням однієї або більше впливаючих величин від нормального значення або виходом за межі областей нормальних значень.

Залежність абсолютної похибки  $\Delta$  від вхідної величини характеризується адитивною і мультиплікативною похибками (рис. 1.2):

$$|\Delta_{MAX}| = |a| + |\epsilon X|, \quad (1.4)$$

де  $a$  – граничне значення адитивної похибки;

$\epsilon X$  – граничне значення мультиплікативної похибки.

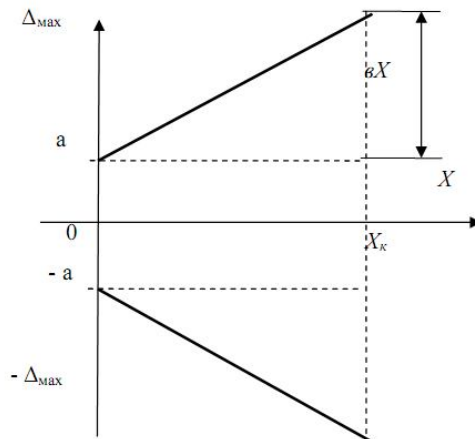


Рисунок 1.2 – Залежності похибок від вхідної величини

Адитивні похибки не залежать від значень вимірюваної величини  $X$ , а мультиплікативні – пропорційні значенню  $X$ . Джерела адитивної похибки – тертя в опорах стрілочних приладів, неточність відліку за шкалою, дрейф, наведення, вібрації тощо.

Адитивна похибка по суті визначає те найменше значення величини, яке можна виміряти.

Джерела мультиплікативної похибки – дії впливаючих величин на параметри вузлів і елементів засобів виміру.

Граничне значення відносної похибки засобу вимірювання  $\delta'_{max}$  (у відсотках) пов'язане з граничним значенням абсолютної похибки  $\Delta_{max}$  залежністю

$$\delta'_{max} = \frac{|\Delta_{max}|}{X} \cdot 100\% = \left( \frac{a}{X} + |\epsilon| \right) \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Усім засобам виміру привласнюються певні класи точності. *Клас точності* – це узагальнена характеристика, що визначається допустимими межами основної похибки та похибок, що викликані зміною значень

упливаючих величин. У пристроїв адитивна складова переважає над мультиплікативною, тому абсолютна і приведена похибки виявляються постійними у будь-якій точці шкали. У таких пристроїв клас точності виражається одним числом, що вибирається з ряду:  $1 - 10^n$ ;  $1,5 - 10^n$ ;  $2 - 10^n$ ;  $2,5 - 10^n$ ;  $4 - 10^n$ ;  $5 - 10^n$ ;  $6 - 10^n$ , де  $n = 1; 0; -1; -2$  тощо.

Основна приведена похибка, виражена у відсотках, не повинна перевищувати значення класу точності (до таких пристроїв відносяться реєструвальні й аналогові показуючі прилади). Для тих пристроїв, у яких адитивна і мультиплікативна похибки сумірні, клас точності позначається двома цифрами через косу риску, наприклад: 0,1/0,05. Похибка при цьому визначається за формулою

$$\delta_{\max} = \pm [C + d(|X_k/X| - 1)], \quad (1.6)$$

де  $C$  і  $d$  – числа, що розділяються косою рисою (клас точності засобу виміру);

$X_k$  – більший (за модулем) з меж вимірів (кінцеве значення діапазону вимірів).

Позначення класу точності  $C/d$  має бути більше одиниці.

Це характерно для цифрових показуючих пристроїв і приладів порівняння з ручним або автоматичним урівноваженням.

*Варіація свідчень* – це найбільша різниця показань пристрою при одному і тому ж значенні вимірюваної величини, і незмінних зовнішніх умов. Причина варіації в стрілочних пристроях – тертя в опорах рухливої частини.

Чутливість пристрою і перетворювача – це похідна вихідної величини за вхідною:

$$S = \phi(X) = dl/dX, \quad (1.7)$$

де  $l$  – переміщення покажчика;

$X$  – вимірювана величина.

$S = 1/X$ , якщо  $S$  не залежить від вимірюваної величини і шкала пристрою рівномірна.

Величина  $C = 1/S$  називається *постійною пристрою*.

Наприклад, якщо  $S = 10/B$ , то  $C = 0,1B$  / ділення.

Параметр, еквівалентний чутливості, називають *крутизною*:

$$S(x) = dF(x)/dx. \quad (1.8)$$

Використовують також терміни: чутливість вимірювального перетворювача, коефіцієнт перетворення, коефіцієнт передачі, коефіцієнт посилення, під якими мають на увазі відношення значення сигналу на виході вимірника перетворювача до значення викликаного його сигналу на вході перетворювача.

*Поріг чутливості* – ця зміна вимірюваної величини, що викликає найменшу зміну свідчень, виявлювану спостерігачем (при нормальному для цього пристрою способі відліку).

*Споживана потужність* – потужність, що споживається при включенні пристрою в ланцюг, в якому робиться вимір.

*Швидкодія* – число вимірів (перетворень) в одиницю часу. Параметр важливий у тому випадку, коли одним приладом за допомогою комутуючого пристрою треба виміряти величини, що дещо повільно міняються.

*Час установки свідчень (час заспокоєння)* – проміжок часу, який проходить з моменту зміни вимірюваної величини до моменту, коли показчик займе положення, що відповідає новому значенню вимірюваної величини, а відхилення показчика від встановленого значення не перевищує 1% довжини шкали (звичайний час заспокоєння – не більше 4 с).

*Діапазон вимірів* – область значень між нижнім і верхнім межами вимірів. *Межі вимірів* – це найбільше і найменше значення величин, які можуть бути виміряні з нормованою похибкою. У діапазоні вимірів слід відмічати *діапазон свідчень* – область значень вхідної величини, обмежену кінцевим і початковим значеннями шкали пристрою.

## 1.6 Класифікація видів і методів вимірів

Наочно класифікацію видів і методів вимірів можна представити у вигляді схем рисунків 1.3 і 1.4 відповідно.

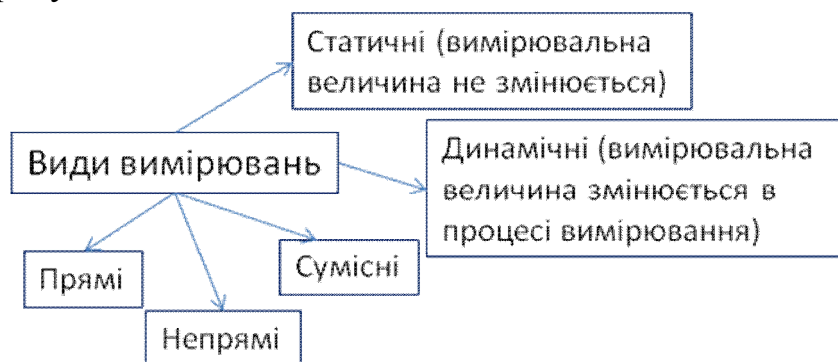


Рисунок 1.3 – Класифікація видів вимірів

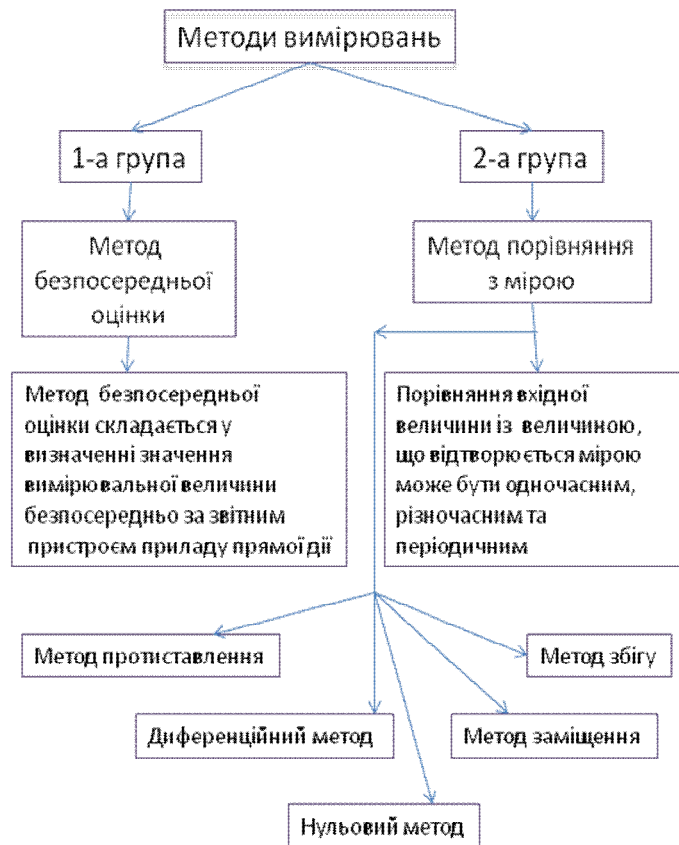


Рисунок 1.4 – Класифікація методів вимірів

Методи вимірів дуже численні. Основні з них можна умовно розбити на дві великі групи: метод безпосередньої оцінки і метод порівняння з мірою. У діаграмі на рисунку 1.4, що визначає класифікацію, пояснюється сенс цих методів.

Метод порівняння з мірою, що дозволяє автоматизувати процеси виміру і контролю, має безліч різновидів:

- метод протиставлення – метод, при якому вхідна величина, відтворна мірою, одночасно впливає на облаштування порівняння;

- диференціальний метод – метод порівняння з мірою, в якому прилад показує різницю між вимірюваною величиною і відомою величиною, відтворною мірою;

- нульовий метод – метод одночасного або періодичного порівняння вимірюваної величини з мірою, при якій результуючий ефект дії величини на індикатор рівноваги доводиться до нуля;

- метод збігу – метод одночасного або періодичного порівняння, при якому різниця між вимірюваною величиною і мірою вимірюють, використовуючи збіг відміток шкал або періодичних сигналів (наприклад, штангенциркуль, стробоскопічний метод виміру частоти обертання механізму);

– метод заміщення – метод різночасного і періодичного порівняння з мірою, в якому вимірювана величина заміщається відомою величиною, відтворною мірою.

Процес виміру здійснюється в два етапи. Наприклад, при вимірі електричного опору за допомогою зразкового магазину опорів (регульована міра) і моста постійного струму (прилад електровимірювання). На першому етапі на вхід приладу електровимірювання подається сигнал  $x_i$  і запам'ятовується значення  $y_i$ . На другому етапі сигнал  $x_j$  подається на прилад від регульованої міри, яка змінюється до тих пір, поки на виході встановиться значення  $y_j$ . При цьому виявиться, що  $y_i \sim x_i$ .

### 1.7 Оцінка похибок виміру

Будь-який вимір переслідує дві мети:

1) отримати результат виміру, тобто значення фізичної величини у вигляді деякого числа прийнятого для цієї величини одиниць;

2) визначити міру достовірності результату виміру.

Результат виміру – випадкова величина. Для доказу досить виміряти одну і ту ж фізичну величину за допомогою приладу з високою чутливістю.

Кількісно оцінити міру достовірності – означає ввести кількісну міру близькості між випадковим результатом виміру  $X$  і невідомим істинним значенням  $X_0$  вимірюваної величини. Якщо задані значення  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$ , істотно менші, ніж  $X$ , то інтервал  $[(X - \Delta_2), (X + \Delta_1)]$  називають довірчим інтервалом (рис. 1.5).

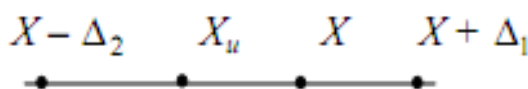


Рисунок 1.5 – Довірчий інтервал виміру

Іншою характеристикою випадкової величини  $\Delta$  (часто цим символом означають випадкову величину похибки і можливе значення, яке може приймати випадкова величина (похибка)) є так звані числові характеристики закону розподілу. Найбільш важливими з них вважаються систематична похибка і середньоквадратичне відхилення похибки.

## 2 ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Сучасні засоби захисту електрообладнання (далі – ЕО) від перевантажень та коротких замикань дозволяють в окремих випадках зберегти обладнання від відмов, але не забезпечують надійний захист його від дефектів в окремих компонентах електромеханічного обладнання (далі – ЕМО). Тому виникає потреба діагностики стану ЕМО в процесі його роботи, тобто функціональної діагностики. Виявлення дефектів в працюючому ЕМО на ранній стадії їх розвитку не лише попередить раптову зупинку виробництва в результаті аварії, але і значно понизить витрати на ремонт і збільшить термін служби ЕМО. Окрім цього, нині досить актуально застосування адаптивних облаштувань захисту і діагностики, що дозволяють виконувати пристрої діагностування ЕМО незалежно від потужності і конструкції силового обладнання.

### 2.1 Методи і системи діагностики

*Методи діагностики* електрообладнання можна розділити на дві групи:

– до першої групи відносяться методи *тестової* діагностики, що вимагають формування штучних збурень, які впливають на досліджувальний об'єкт: вимір опору ізоляції, струмів виток, внутрішнього опору обмоток, тангенса кута діелектричних витрат обмоток, метод високовольтного імпульсу та інше;

– друга група включає метод *оперативної* або *функціональної* діагностики, використовуваний в першу чергу для електрообладнання, що є джерелом природного збурення в процесі роботи.

Окрім цього кожна група поділяється на два інших – методи, що дозволяють виявити несправність електрообладнання в цілому і методи, що виявляють і локалізують конкретну несправність або дефект в електрообладнанні. Нині *тестове діагностування* – основний вид виявлення дефектів електрообладнання. Воно визначило структуру технічного обслуговування і ремонту, що склалася, за регламентом. Така діагностика сприяє не лише попередженню розвитку різних дефектів, але й їх появі. Наприклад, при проведенні планових ремонтів електричних машин. Після повного складання двигун піддається високовольтним випробуванням, які роблять на ізоляцію машини згубний вплив, викликаючи появу в обмотці мікродефектів, що розвиваються в процесі роботи електромашини під впливом несприятливих чинників: неякісної електроенергії, перевантажень, частих пусків і зупинок. З кожним високовольтним випробуванням при планово-

запобіжних ремонтах число дефектів збільшується, що зрештою призводить до аварійного виходу з ладу електричного двигуна. Крім того, кожне розбирання і складання електродвигуна збільшує ці мікродефекти.

Існують багатофункціональні системи діагностики ЕМО, ізоляції електричних машин за допомогою високовольтного імпульсного випробування, що включають діагностику, і ряд інших методи. При цьому виконується неруйнівний тест ізоляції, компонентів механічної і електричної частин машини.

Для переходу з обслуговування і ремонту за регламентом на ремонт і обслуговування по фактичному стану потрібна ретельна діагностика електрообладнання, причому, щоб підготуватися до ремонту, бажано виявити усі дефекти, що впливають на ресурс, задовго до відмови. З цих причин потрібне застосування методів діагностики що не лише належать до категорії функціональних, але і дозволяють виявити дефект конкретної частини електрообладнання. До того ж методи функціональної діагностики економічно найбільш прийнятні, оскільки не вимагають навіть тимчасового виведення електрообладнання із експлуатації. Для діагностики ЕМО в оперативному режимі нині використовуються декілька способів діагностики, серед яких найбільш поширений, наприклад, метод *віброакустичної діагностики*. Гідність цього методу – можливість контролю стану як механічних, так і електричних частин електродвигунів за електричним параметром, а зокрема, за сигналом споживаного струму, що значно спрощує установку схеми для діагностики і позбавляє від необхідності введення спеціальних датчиків.

Суть цього методу полягає в аналізі спектру гармонік струму, споживаного електродвигуном, шляхом виявлення змін сигналу на графіку, що періодично повторюються, відповідають конкретному виду пошкодження електродвигуна. Проте через появи помилкових гармонік сигналу при різних перешкодах електричної мережі, з підключеною до неї електродвигуном, можливі невірні результати діагностики. Головним недоліком такого методу є необхідність використання спеціальних віброакустичних датчиків, складність їх установки і необхідність спеціальних засобів обробки інформаційних повідомлень. Очевидно, що для вирішення аналогічних завдань створюються спеціальні діагностичні комплекси обладнання на базі програмованих електронних засобів.



## 2.2 Комп'ютерні методи діагностики

Сучасні діагностичні засоби базуються на використанні програмованих мікроконтролерів і дозволяють найгнучкіше реалізувати захист і функціональну діагностику ЕМО, за їх електричними параметрами.

Найбільш вдалим методом є використання програмно-апаратного комплексу, який зображений на рисунку 2.1, що складається з комп'ютера і цифрового пристрою-посередника, що виробляє необхідні виміри і передає їх у комп'ютер. В якості вимірюваних електричних величин можуть бути оперативний струм, споживана потужність тощо. Програма, що виконується на комп'ютері, повинна, у свою чергу, певним чином обробити вхідну інформацію і визначити найбільш вірогідний вид пошкодження в працюючому ЕМО або зробити укладення про його справність. Цей метод найбільш ефективний, оскільки дозволяє зберігати на комп'ютері великі бази даних з інформацією про відстежувану динаміку пошкоджень і несправностей в ЕМО з подальшим прогнозуванням виходу з ладу компонентів технологічної установки.

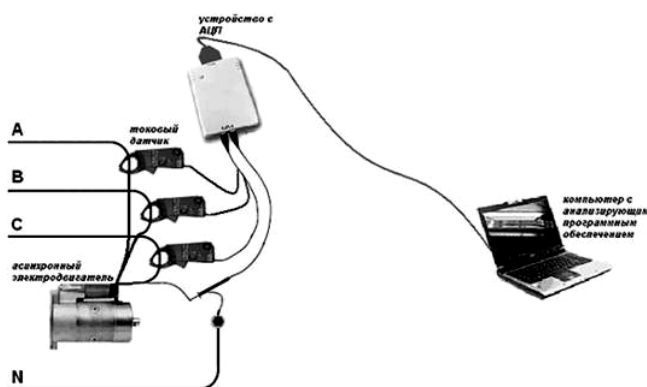


Рисунок 2.1 – Діагностичний програмно-апаратний комплекс

Використання комп'ютера, як потужніший засіб обробки інформації, ніж мікроконтролер, дозволяє використати сучасні технології, у тому числі й технології *штучного інтелекту*, такі як використання штучних *нейронних мереж*, нечіткої логіки і експертних систем. Наприклад, стосовно електромашин, відомо, що магнітне поле обертового ротора працюючого електродвигуна, впливає на магнітне поле його обмотки статора, що призводить до періодичних коливань електричних величин електродвигуна, таких як споживаний струм, потужність або напруга обмотки статора. Період цих коливань пропорційний, частоті обертання ротора. Таким чином, аналізуючи форму графіку сигналу будь-якої з електричних величин на цьому періоді можна виявити пошкодження в електромеханічній частині електродвигуна і

розпізнати його вид. Для вирішення цієї проблеми можна використати багато різних підходів. Наприклад, побудувати функцію *апроксимації* за декількома вихідними точками сигналу, що відповідає конкретному виду пошкодження і в процесі діагностики порівнювати поточні вимірювані значення зі значеннями цієї функції з певною долею похибки. Нажаль, апроксимація складних нелінійних сигналів призводить до великих похибок, які посилюються додатковими перешкодами електричної мережі з підключеним електродвигуном. Нині широке поширення отримало використання штучних нейронних мереж для побудови математичних моделей складних нелінійних процесів, розпізнавання образів і прогнозування. При цьому використовуються математичні моделі нейронних мереж, серед яких найчастіше використовуються рекурентні мережі Хопфілда і мережі Кохонена, що самоорганізуються (рис. 2.2).

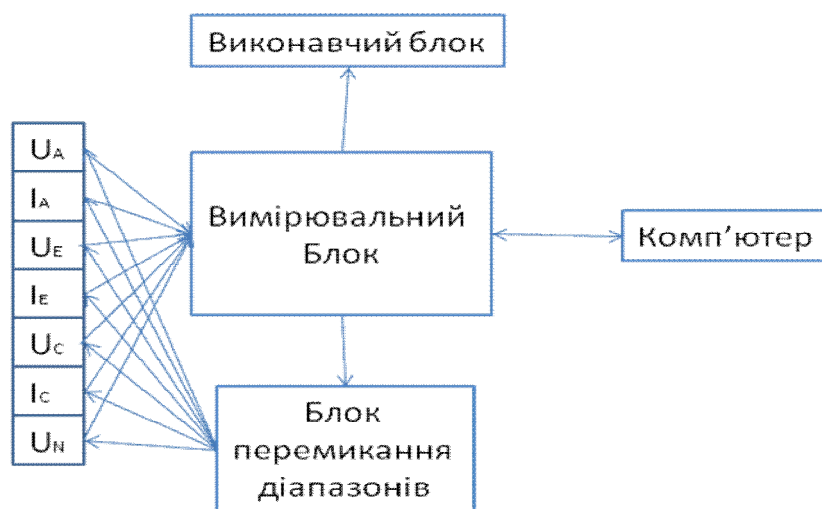


Рисунок 2.2 – Структура апаратної частини діагностичного комплексу

Нейронні мережі дають можливість ефективно визначати причину і види пошкодження ЕМО, працювати із зашумленими даними, позбавляючись від необхідності застосування проміжних електронних фільтрів від перешкод або фільтрації математичними методами, а також адаптуватися до конкретного типу електрообладнання. Окрім цього, штучні нейронні мережі широко використовуються в завданнях прогнозування. Вибір алгоритмів обробки сигналу і визначення способу діагностики ЕМО дозволяє створювати оригінальну апаратну частину програмно-апаратного діагностичного комплексу. У більшості варіантів компонентна база для реалізації таких комплексів за вартістю не перевищує 10% самого ЕМО.

При навчанні нейронної мережі (рис. 2.2) на виході використовується певне значення  $Y_{\text{ет}}$ , що відповідає конкретному виду несправності ЕМО і еталонні експериментальні значення, наприклад, сигналу повної споживаної потужності досвідченого електродвигуна, отримані за допомогою вимірювального облаштування цього діагностичного комплексу (ДК). Після цього, при ідентифікації сигналу, вже навченою мережею, робиться перевірка відповідності значення  $Y$  на виході мережі значенню  $Y_{\text{ет}}$ , яке задавалося при навчанні. Якщо  $Y = Y_{\text{ет}}$ , то це означає, що в електродвигуні на 100 % є несправність, для якої навчалася ця нейронна мережа. Як виявлена несправність вибирається та міра відповідності, яка найбільша. За мірою відповідності для інших несправностей електродвигуна можна судити про вірогідність їх присутності. У найбільш складних випадках, можливо, в ДК доведеться використати експертну систему з набором правил нечіткої логіки, які визначатимуться в ході експериментальних досліджень.

### 2.3 Особливості діагностичних комплексів

Головний блок діагностичного комплексу – вимірювальний. Він виконує функції виміру вхідного сигналу, керування блоком перемикання діапазонів і виконавчим блоком, а також обмін інформацією між комп'ютером і пристроєм. Вхідні блоки служать для масштабування вхідного вимірюваного рівня напруги для його зміни в межах від 0 до 5 В. Кожен вхідний блок підтримує роботу в трьох діапазонах напруги (від 0 до 100 В з точністю 0,1 В, від 10 до 1000 В з точністю 1 В і від 100 до 10000 В з точністю 10 В). Для автоматичного вибору поточного вимірюваного діапазону напруги використовується блок перемикання діапазонів, який управляє вхідними блоками, отримуючи команди на перемикання від вимірювального блоку. Виконавчий блок служить для керування роботою електроприводу, для сигналізації несправностей та інших цілей.

При швидкоплинних процесів, що діагностуються, в ЕМО АЦП з низькою швидкістю, якими оснащуються контролери, на жаль, не справляються з обробкою інформаційних повідомлень, внаслідок чого виходять занадто мало експериментальні значення вимірюваної величини на аналізованому періоді сигналу електродвигуна. Застосування потужніших і швидких багатоканальних АЦП або декількох одноканальних АЦП, працюючими паралельно, значно підвищують собівартість апаратної частини комплексу. Тому вирішенням цієї проблеми став програмний метод з візуалізацією результатів, за допомогою якого відбувається отримання

детальнішого графіку сигналу на одному періоді шляхом аналізу відразу декількох періодів сигналу. Ідея методу зображена на рисунку 2.3. На координатній площині рисунка є радіус-вектори, що обертаються з кутовою швидкістю  $w_i$ . Довжина радіус-вектора дорівнює поточному значенню повної споживаної потужності  $P_i$ . Таким чином, поточний стан сигналу зручно представити у вигляді

$$\vec{x}_i = P_i (\cos w_i + i \sin w_i), \quad (2.1)$$

де  $i$  – точка поточного стану сигналу повної споживаної потужності;  
 $P_i$  – поточне значення повної споживаної потужності;  
 $w_i$  – поточний кут повороту ротора відносно початкового положення.

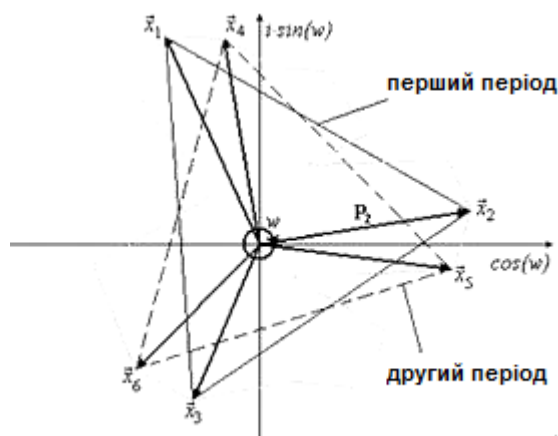


Рисунок 2.3 – Деталізація графіку сигналу діагностичного комплексу

У ДК спочатку відбувається вимір трьох значень сигналу на першому періоді 1, 2 і 3, потім через деяке зміщення кута відносно  $w_1$ , що відповідає значенню, відбувається набуття наступних трьох значень сигналу 4, 5 і 6 на другому періоді. Аналогічним чином виходять точки для наступних періодів залежно від необхідної кількості точок сигналу. З'єднавши отримані точки в порядку, визначуваному кутом обертання  $w_i$ , суцільною лінією, отримують детальніший графік сигналу, що містить необхідне число експериментальних точок. Так само відбувається отримання графіку одного періоду повної споживаної потужності електродвигуна. Чим вище швидкість обертання ротора електродвигуна, тим більше періодів аналізується, до того, як буде зроблена спроба визначення несправності в електродвигуні. Природно така обробка

сигналу знижує загальну швидкодію діагностичного комплексу. Можна навіть не виконувати ідентифікацію отриманого періоду, а звести це завдання до завдання розпізнавання образу замкнутої фігури, зображеної на рисунку 2.3, і за формою цієї фігури судити про присутність будь-якої несправності в електродвигуні. В цьому випадку спосіб діагностики виходить наочнішим, але складнішим в реалізації. Аналогічне рішення ілюструє навчальна програма «SinSys». Приклади візуалізації результатів вимірів у вигляді деформації геометричної фігури тісно пов'язані з несправностями ЕО, ідентифікація яких може виконуватися оператором низької кваліфікації (рис. 2.4).

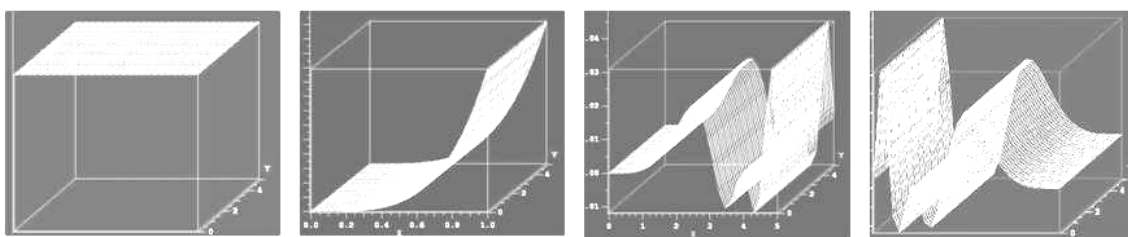


Рисунок 2.4 – Діагностична 3d-фігура, що деформується залежно від несправностей в ЕМО

Для збору інформаційних повідомлень вимагається синтезувати спеціальні приймальні елементи, установка яких вимагає виконання певного об'єму монтажних робіт на реальному ЕМО (рис. 2.5).

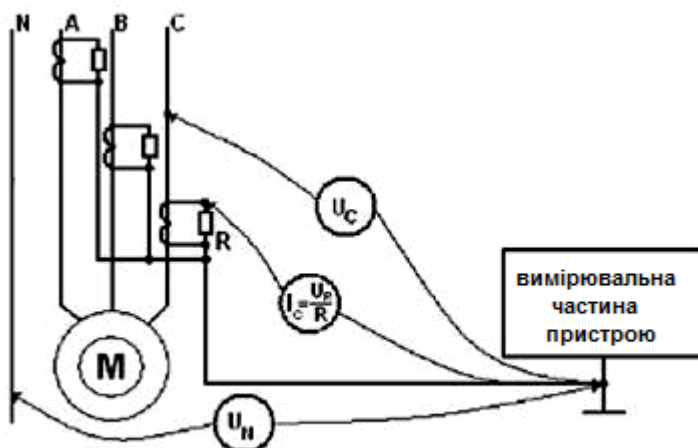


Рисунок 2.5 – Схема підключення вимірювальної частини комплексу до ланцюга електропостачання електродвигуна

Напряга із струмових датчиків або з фаз електродвигуна подається на вимірювальний вхід вхідного блоку, зображеного на рисунку 2.6. У схемі передбачаються масштабні засоби вимірюваних величин на базі трьох дільників, що враховують поточні діапазони варіювання (зміни) напруги.

Кожен дільник підключається за допомогою герконових (електромагнітні реле з контактами у вакуумі) реле, після отримання відповідного сигналу на базу одного з трьох транзисторів від блоку перемикання діапазонів. Поточний вхідний дільник вибирається блоком перемикання діапазонів так, щоб на виході дільника рівень напруги був в межах від  $-1,25$  до  $+1,25$  В.

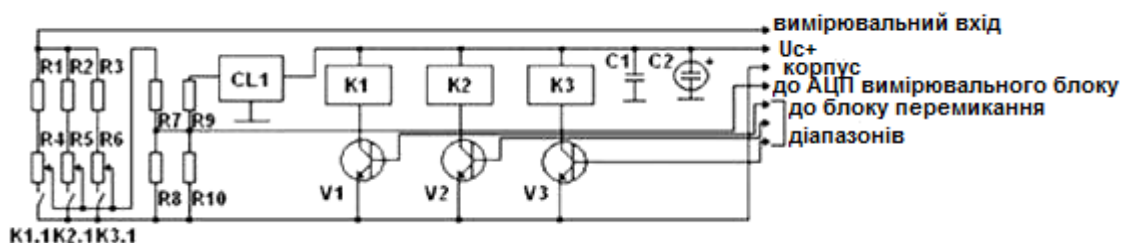


Рисунок 2.6 – Принципова схема вхідного блоку ДК

Враховуючи, що аналого-цифровий перетворювач мікроконтроллера виконує вимір тільки ненегативних сигналів від 0 до 2,5 В, додатково на вихідний сигнал подається постійна напруга зміщення з інтегрального стабілізатора CL1 через дільника R9 і R10, на виході якого утворюється рівень  $+1,25$  В.

Розглянуті особливості синтезу ДК зайвий раз свідчать про їх складність, пов'язаними з рішенням багатьох завдань при зборі й обробці інформаційних повідомлень на реальному ЕМО.

## 2.4 Мехатронні системи на транспорті

*Мехатроніка* – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню й експлуатації машин та систем з комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях в області механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного керування рухом машин та агрегатів.

*Мехатронні пристрої* – сукупність механічних і електронних пристроїв, виконаних у вигляді моноблока або багатофункціонального електромеханічного пристрою.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний

стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з наступною первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування (далі –ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контроллери керування рухом.

Мехатронні пристрої акумулюють в собі найунікальніші приймальні елементи, мініатюрні датчики і сенсори, гібридні перетворювачі різних фізичних величин, мініатюрні виконавчі електричні приводи різної потужності. Такі пристрої в першу чергу знаходять застосування при аваріях, пожежах, катастрофах в службах порятунку і ліквідацій аварій, що входять в муніципальні структури. Більшість мехатронних роботів створюються на базі надійних транспортних засобів.

Сукупність механічних і електронних елементів (локальні пристрої контролю), перші з яких є виконавчими пристроями, а другі – формувачами сигналів керування в сучасних технічних рішеннях представляються багатофункціональними блоками, синхронна робота яких досягається тільки за допомогою обчислювальних модулів на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Діагностичний прилад з візуалізацією результатів контролю

У мехатронних пристроях найбільш поширено використання електронних засобів *самодіагностики* (вбудовані діагностичні компоненти електромеханічних систем), реалізація яких стала можлива в результаті інтенсивного розвитку цифрової вимірювальної техніки.

## 3 ЦИФРОВИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН І ПАРАМЕТРІВ

### 3.1 Цифрова обробка інформації безперервного процесу

Оскільки діагностичні системи отримали розвиток в результаті використання досягнень вимірювальної цифрової техніки, очевидно, що в основі їх лежить принцип кодування дискретної і аналогової інформації на ТО, що отримується за допомогою спеціального електронного обладнання.

Для вхідного сигналу  $f(t)$ , який є функцією безперервного параметра  $t$ , що змінюється, вихід амплітудно-імпульсного модулятора або квантувача, позначений як  $f_p^*(t)$ , представляє послідовність імпульсів кінцевої тривалості, амплітуда яких промодульована вхідним сигналом  $f(t)$ . На рисунку 3.1 квантувач представлений як еквівалентний амплітудно-імпульсний модулятор.

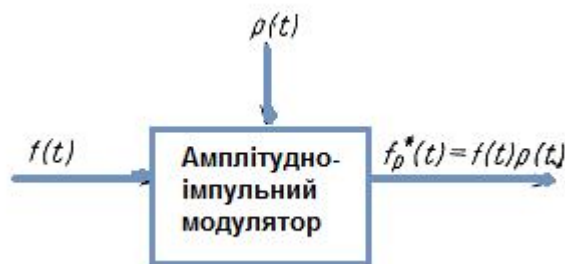


Рисунок 3.1 – Амплітудно-імпульсний модулятор:  $p(t)$  – сигнал, що несе

В цьому випадку вхідний сигнал  $f(t)$  має бути помножений на сигнал  $p(t)$ , що несе, який є послідовністю періодичних імпульсів одиничної ваги. Рисунок 3.2 ілюструє типові форми вхідного сигналу  $f(t)$ , сигналу  $p(t)$  і вихідного сигналу, що несе  $f_p^*(t)$ .

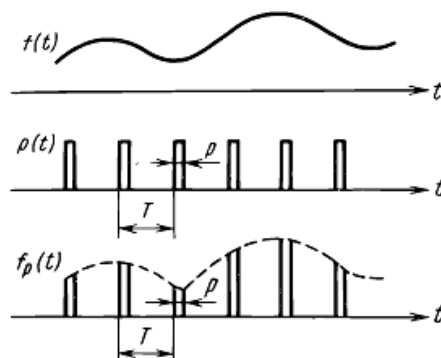


Рисунок 3.2 – Вхідний і вихідний сигнали квантувача з постійним періодом



Якщо квантувач працює за схемою широко-імпульсної модуляції (ШІМ), то вихідний сигнал є послідовністю імпульсів, тривалість яких є функцією амплітуди вхідного сигналу в моменти вибірки. Типові ШІМ показані на рисунку 3.3.

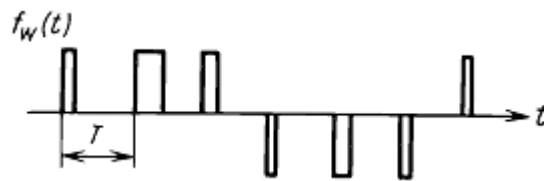


Рисунок 3.3 – Вхідний і вихідний сигнали широко-імпульсного модулятора

Існують і складніші схеми перетворення, коли відповідно до вхідного сигналу в моменти замикання змінюються і амплітуда, і тривалість вихідних імпульсів. Такий тип квантувача відомий як широтноімпульсний амплітудний модулятор. В деяких випадках застосування подібних складних квантувачів дозволяє поліпшити характеристики цифрових систем керування.

Вихідний сигнал квантувача з постійним періодом (рис. 3.2) і кінцевою шириною імпульсів (рис. 3.3), отримуваний при вхідному сигналі  $f(t)$ , може бути розглянутий як твір вхідного сигналу  $f(t)$  і сигналу  $p(t)$ , що несе, який є послідовністю, одиничних імпульсів з періодом  $T$ .

При аналізі цифрових систем дискретизація безперервних процесів є важливим завданням, з яким тісно пов'язані такі важливі питання, як моделювання і відновлення безперервної функції інформаційного повідомлення.

### 3.2 Основні властивості частотних вимірів

В облаштуваннях контролю і діагностики цифрових пристроїв практично завжди доводиться працювати з частотними сигналами того або іншого виду. Вимір і контроль частотних сигналів представляють певну проблему зі збільшенням частоти і розширенням діапазону її зміни. У техніці виміру частотних сигналів використовуються два основні поняття: частота  $f$  – кількість коливань в одиницю часу і період  $T$  – найменший інтервал часу, що задовольняє рівнянню

$$u(t + iT) = u(t), \quad (3.1)$$

де  $i$  – будь-яке ціле число;

$iT$  – довільно вибране миттєве значення величини, що змінюється в часі  $t$ .

Співвідношення між значеннями частоти і періоду визначається формулою

$$f = 1/T. \quad (3.2)$$

Відношення числа періодів  $nT$  періодичного сигналу до інтервалу часу  $\Delta t$ , за який злічене це число, дає середнє (за інтервал  $\Delta t$ ) значення частоти, що називається середньою частотою періодичного сигналу (на відміну від частоти):

$$\frac{nT}{\Delta t} = f_{cp}. \quad (3.3)$$

Методи виміру частоти різноманітні. Нині найбільш поширений метод дискретного рахунку, на основі якого будують цифрові частотоміри. Цей метод дозволяє:

- мати широкий діапазон виміру одним приладом (від 10 Гц до 32 ГГц);
- гарантувати високу точність виміру;
- забезпечити можливість обробки результатів спостережень за допомогою мікропроцесорних систем;
- відносно просто включати прилад до складу вимірювально обчислювального комплексу;
- будувати багатфункціональні і багаторежимні програмовані прилади, використовувані в автоматизованих системах контролю і діагностики.

На основі методу дискретного рахунку отримали розвиток частотно-часові перетворювачі інформаційних сигналів.

Виміри частоти і періоду послідовності імпульсів ілюструє структурна схема вимірника частоти (рис. 3.4).

Рахункові імпульси, що безперервно поступають на один вхід часового селектора, можуть проходити в лічильник тільки тоді, коли на другому вході селектора діє прямокутний (селекторний) імпульс, що утворює «часові ворота». Він формується з досліджуваного сигналу за допомогою спеціальної схеми (наприклад, тригера Шмитта), що міститься у блоці формування імпульсів.



Рисунок 3.4 – Спрощена структурна схема вимірника частоти

### 3.3 Вимір напруги

Вимір напруги  $U$ , сили струму  $I$ , місткості конденсатора  $C$  і опори резистора  $R$  зводиться до перетворення цих величин в послідовність імпульсів, тривалість або частоту яких вимірюють частотоміром. При вимірі постійної напруги часто використовують *перетворювачі напруги в частоту* (далі –ПНЧ). Основна ідея перетворення напруги в частоту пояснюється діаграмами сигналів (рис. 3.5). На діаграмах показаний процес утворення частотного сигналу, що характеризує чисельне значення вимірюваної постійної напруги.

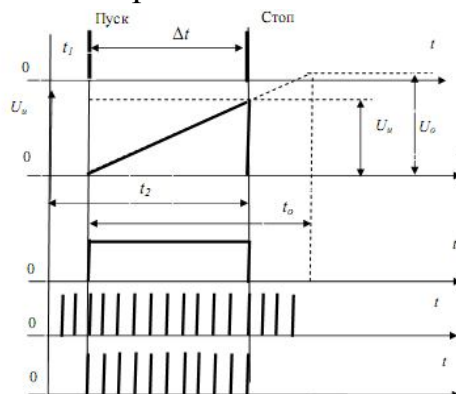


Рисунок 3.5 – Діаграма процесу виміру напруги частотним способом

У момент часу  $t_1$  ПНЧ скидається в нуль: показання лічильника цифрового вимірника; запускаються компаратор і генератор напруги, що лінійно змінюється. Вимірювана напруга  $U_u$ , що підводиться до одного входу

компаратора, порівнюється з напругою  $U_o$ , що лінійно змінюється (опорною), подається на другий вхід компаратора від генератора лінійно змінювальної напруги (далі – ГЛЗН). На виході компаратора формується прямокутний імпульс тривалістю 1–2 мс  $\Delta t = t_2 - t_1$ , що формує «часові ворота» для пропуску рахункових імпульсів на лічильник. В цьому випадку виміряна напруга визначатиметься за свідченнями лічильника, що запам'ятовує число каліброваних імпульсів (лічильних), що потрапили у «часові ворота»:

$$U_u = m \cdot v \cdot T_k, \quad (3.4)$$

де  $m$  – число підрахованих імпульсів;  
 $v$  – швидкість наростання лінійної напруги:

$$v = U_o / t_o, \quad (3.5)$$

де  $U_o$  – опорна напруга генератора ГЛЗН;  
 $t_o$  – час наростання опорної напруги;  
 $T_k$  – період лічильних імпульсів.

Структурна схема перетворювача напруги в частоту представлена на рисунку 3.6.

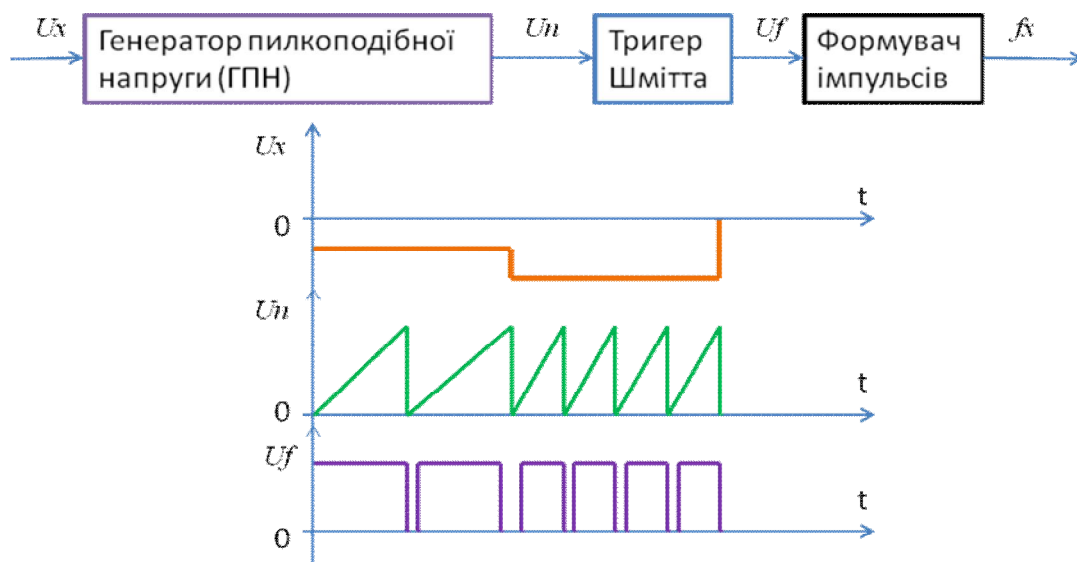


Рисунок 3.6 – Структурна схема перетворювача напруги в частоту і діаграми сигналів в ньому

Функціональна схема розглянутого вимірника показана на рисунку 3.7.

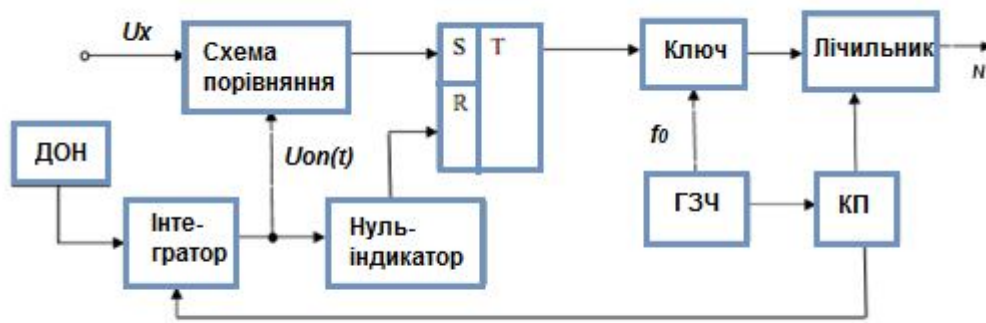


Рисунок 3.7 – Функціональна схема частотного вимірника напруги :  
 ДОН – джерело опорної напруги; ГЗЧ – генератор зразкової частоти;  
 КП – керувальний пристрій

### 3.4 Вимір сили струму

Частотний вимір сили струму ґрунтований на вимірі падіння напруги на зразковому резисторі  $R_0$ , по якому протікає вимірюваний струм  $I_x$ , з подальшим перетворенням падіння напруги в частоту. Дуже малі за величиною струми вимірюють за допомогою *операційних підсилювачів* (далі – ОП) (рис. 3.8).

Використовуючи принцип виміру сили струму, можна виміряти значення опору резистора  $R_x$ , якщо застосувати генератор стабільного струму. В якості останнього часто використовують схему на польовому транзисторі

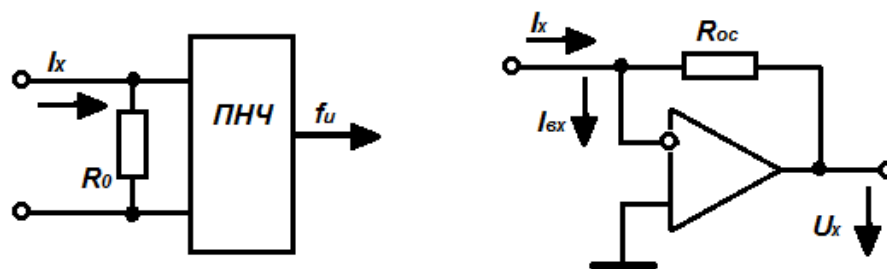


Рисунок 3.8 – Структурні схеми перетворювачів вимірюваного струму в частоту і в напругу

Включивши вимірюваний резистор на вхід операційного підсилювача, на його виході отримаємо напругу, пропорційну величині опору цього резистора (рис. 3.9).

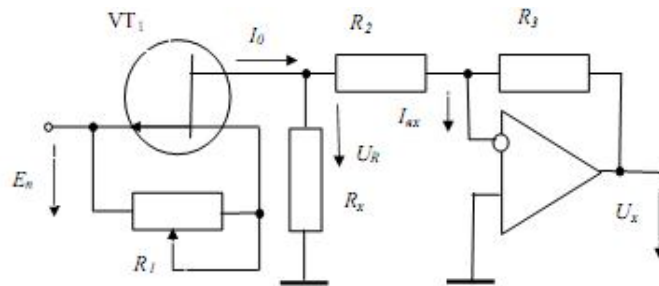


Рисунок 3.9 – Схема перетворення опору резистора в напругу

Підстроювальний резистор  $R_1$  служить для установки струму  $I_0$ , а посилення напруги відбувається на ОП. На резисторі  $R_x$  стабільним струмом  $I_0$  створюється падіння напруги  $U_R = I_0 \cdot R_x$ . На виході ОП утворюється напруга, величина якої пропорційна опору резистора  $R_x$ :

$$U_x = I_0 \cdot R_3 \cdot R_x / R_2. \quad (3.6)$$

Умови високої точності виміру:

- 1)  $R_x \ll R_2, R_3$ ;
- 2)  $I_0 \gg I_{ex}$  (у декілька десятків разів) (рис. 3.9);
- 3)  $U_R \leq 0,1E_n$ , де  $E_n$  – напруга джерела живлення.

Наприклад, при  $I_0 = 1 \text{ мА}$  і  $E_n = 10 \text{ В}$   $R_x \leq 1000 \text{ Ом}$ .

При використанні польового транзистора

$$R_1 = U_{omc} / I_0, \quad (3.7)$$

де  $U_{omc}$  – напруга відсічення транзистора  $VT_1$ .

## 4 ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

*Вимірювальні системи* (далі – ВС) – це сукупність засобів вимірів і допоміжних пристроїв, сполучених між собою каналами зв'язку. При великому об'ємі отримуваної інформації безліч вимірювальних приладів може виявитися даремною через фізично-психологічні обмеження спостерігача або при необхідності математичної обробки ряду попередніх даних.

У цих випадках використовують вимірювальні системи. Вимірювальні системи призначені для автоматичного отримання вимірювальній інформації від ряду джерел та її передачі, обробки і представлення в тій або іншій формі. Якщо ВС обслуговує об'єкт, що знаходиться від неї на значній відстані, її називають *телевимірювальною*. У подібних системах інформація передається або по дротах, або по радіоканалах.

Вимірювальна система, в якій передбачена можливість представлення інформації операторові, називають *інформаційно-вимірювальною* або *вимірювальною інформаційною*.

Система, забезпечена ЕОМ, називається *вимірювально-обчислювальним комплексом* (далі – ВОК).

Інформаційно-вимірювальні системи використовуються в тих випадках, коли в системі потрібно організацію великого масиву вимірів різних фізичних величин. Наприклад, на тяговій підстанції з генератором або випрямним агрегатом і різним обладнанням контроль за станом ТО і роботою агрегатів здійснювався за допомогою сотень первинних вимірювальних перетворювачів. У цих умовах неможливо операторові відстежувати свідчення безпосередньо. Крім того, якщо процеси швидко протікають і перетворювачів трохи, оперативний контроль теж практично неможливий.

Для збору, обробки і представлення інформації операторові в зручній формі використовуються спеціальні види засобів вимірювання – *вимірювально-інформаційні системи* (далі – ВІС).

ВІС підрозділяються:

1) на системи збору вимірювальної інформації, їх називають *вимірювальними системами*;

2) системи автоматичного контролю, призначеної для контролю за роботою різного роду машин, агрегатів або технологічних процесів;

3) системи технічної діагностики, що служить для виявлення технічної несправності різних виробів;

4) телевимірювальних системи, призначеної для збору вимірювальної інформації з видалених на великі відстані об'єктів.

## 4.1 Основні структури ВІС

Одна з ознак класифікації структур – спосіб обміну сигналами взаємодії (погоджене перетворення інформації усіма функціональними вузлами системи).

Структура ВІС залежить від способу керування – децентралізованого або централізованого, а також визначається способом з'єднання вузлів між собою і з пристроєм, що керує. Розрізняють три основні види з'єднань: ланцюгове, радіальне, магістральне з'єднання (рис. 4.1–4.4).

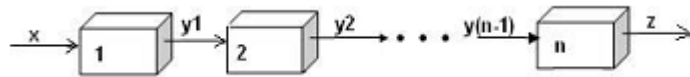


Рисунок 4.1 – Ланцюгове з'єднання функціональних вузлів в системі

Можуть бути комбінації розглянутих структур: радіально-ланцюгові, радіально-магістральні (рис. 4.2, 4.3).

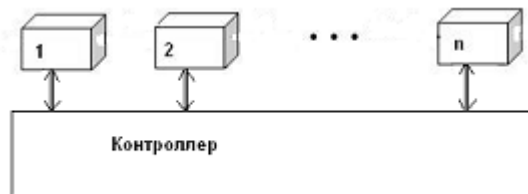


Рисунок 4.2 – Радіальна структура системи контролю і керування

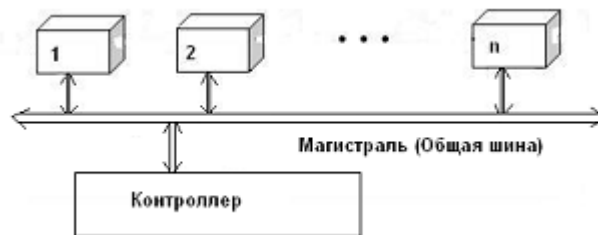


Рисунок 4.3 – Магістральна структура системи контролю і керування

У схемі узагальненої структури ВІС (рис. 4.4) використовуються:

- 1 – засоби виміру і перетворення інформації;
- 2 – засоби обробки і зберігання інформації;
- 3 – засоби відображення, індикації або реєстрації інформації;
- 4 – облаштування керування потоками інформації;
- 5 – облаштування формування дій, що керують;
- 6 – виконавчі пристрої;
- 7 – керований об'єкт;
- 8 – первинні вимірювальні перетворювачі.



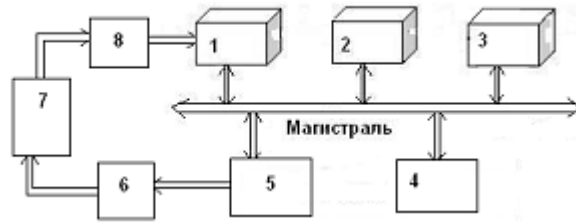


Рисунок 4.4 – Узагальнена структура ВЕС

Інформація про стан об'єкту 7 за допомогою первинних вимірювальних перетворювачів 8 потрапляє в засоби виміру і перетворення 1, де вихідні сигнали первинних перетворювачів піддаються таким операціям, як: фільтрація, масштабування, лінеаризація, аналого-цифрове перетворення (далі – АЦП).

Потім сигнали в цифровій формі передаються через магістраль на цифрові засоби обробки і зберігання інформації для обробки за певними програмами або накопичення, а також на засоби відображення інформації (далі – ЗВІ) для індикації і реєстрації.

Облаштування формування дій, що керують, 5 через виконавчі пристрої 6 впливає на об'єкт 7 для регулювання, контролю, тестування тощо.

Як засіб виміру і перетворення інформації у ВЕС застосовуються різні пристрої: спеціалізовані обчислювальні пристрої, мікропроцесори, мікроконтролери, універсальні ЕОМ.

У останньому випадку на ЕОМ покладаються і функції облаштування керування.

Приклад програмованого пристрою, що забезпечує обробку даних від декількох датчиків, можна спостерігати на стенді ПрЭ-БЛ (пакет програм SinSys) (рис. 4.5).

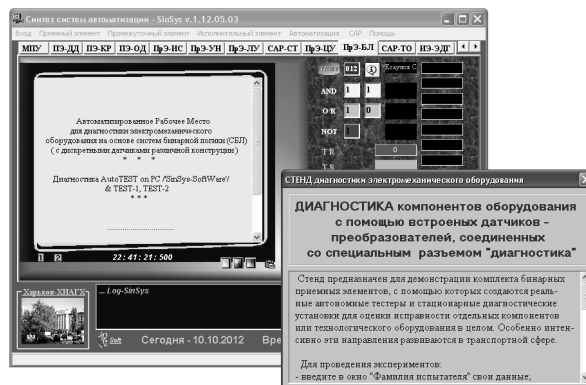


Рисунок 4.5 – Стенд програмної обробки початкових даних від декількох приймалень елементів

## 5 ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Різноманітність електромеханічного обладнання, вживаного на транспортних засобах, стала причиною розробки безлічі вимірювальних перетворювачів, що є єдиними технічними засобами для практичної побудови будь-яких вимірювальних пристроїв.

*Вимірювальний перетворювач* – технічний пристрій, побудований на певному фізичному принципі дії, виконуючий певне вимірювальне перетворення тільки однієї технологічної величини.

*Функція вимірювального перетворювача* – залежність вихідної величини (внутрішній опір, місткість, індуктивність та ін.) від вхідної (температури, тиски, рівня та ін.), що описується аналітичним вираженням або графіком.

### 5.1 Електромеханічні датчики-перетворювачі

Принцип роботи електромеханічних перетворювачів заснований на перетворенні подовжніх або перестановочних переміщень окремих елементів механізмів або середовищ в електричний сигнал.

Роль таких датчиків можуть виконувати передатні механізми із змінними резисторами для контролю рівнів рідини в закритих місткостях і посудинах, поплавцеві пристрої, механічні кінцеві вимикачі та інші засоби електричного блокування, що знайшли поширення в самих різних механічних пристроях і пристосуваннях.

В якості розглянутих перетворювачах застосовують також оптичні напівпровідникові елементи, фіксувальні світлові потоки, що перериваються механічним обладнанням, що виконує відповідні перестановочні дії.

### 5.2 Акустичні датчики

Акустичні датчики реалізують ефект Доплера, початок застосування яких відноситься до 1842 р. Ефект Доплера пов'язаний із зрушенням частоти сигналу залежно від відношення його передачі й повернення від рухомого предмета або технологічного об'єкту (далі – ТО).

Схему акустичного вимірювального перетворювача ілюструє рисунок 5.1.

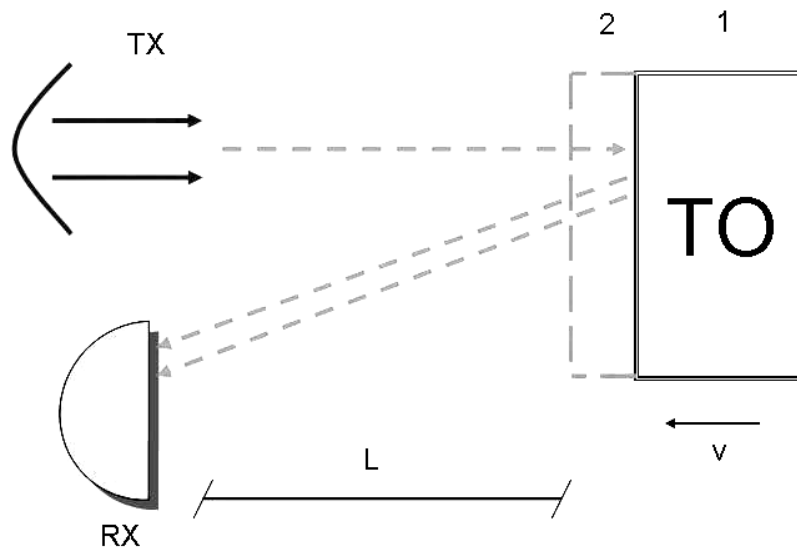


Рисунок 5.1 – Принцип створення акустичного перетворювача:  
 1 – початковий стан ТО; 2 – переміщення ТО в просторі;  
 TX – випромінювач (передавач); RX – приймач

Початкова відстань  $L$  між передавачем  $TX$  і  $TO$  в точці 1.  $RX$  приймає відбитий сигнал на  $TO$ . При швидкості руху  $TO$  з величиною  $u$  через певний час  $t$  об'єкт переміститься в точку 2:

$$t = \frac{L}{u}, \quad (5.1)$$

$$L_1 = L - ut. \quad (5.2)$$

Зменшення (збільшення) відстані між  $TO$  і відповідно  $TX$  і впливатиме на результат виміру.

В цьому випадку час  $t_1$  визначиться залежністю:

$$t_1 = \frac{T + (L - vT)}{u}, \quad (5.3)$$

де  $T$  – період імпульсу від випромінювача  $TX$ , досягаючий приймач  $RX$ ;

$T_{рег}$  – період реєстрації запишеться вираженням:

$$T_{рег} = t_1 - t = T \left( 1 - \frac{v}{u} \right), \quad (5.4)$$

де  $u$  – швидкість руху об'єкту.

Таким чином, функція Доплера пов'язує швидкість хвилі випромінювача  $v$  із швидкістю руху об'єкту  $u$ :

$$f_{\text{дон}} = f \left( 1 + \frac{v}{u} \right). \quad (5.5)$$

Датчики на ефекті Доплера безконтактні, найчастіше виконані у вигляді автономних пристроїв, прості у використанні і залежно від вибраної частоти випромінювача ( $v$ ) ефективно працюють в умовах великого числа перешкод.

На транспорті для контролю лінійної швидкості руху оснащуються автономними реєстраторами, що реалізують функцію залежності (5.5).

### 5.3 Гальваномагнітні перетворювачі Холу і Гауса

Принцип дії гальваномагнітних перетворювачів (далі – ГМП) заснований на фізичних ефектах, що виникають в твердих тілах, які знаходяться в магнітному полі. Ефект Холу полягає у виникненні поперечної різниці потенціалів (ЕРС Холу) на бічних гранях пластини, а ефект Гауса або магніторезистивний ефект проявляється в зміні електричного опору пластини. Обидва ефекти обумовлено зміною траєкторії руху заряджених часток в магнітному полі, виникають одночасно, пов'язані між собою так, що кожен з них приводить до послаблення іншого.

Пластина датчика – чотириполюсник (рис. 5.2), оснащується електродами 1, 2 і 3, 4, розміщувани на гранях. Якщо на пластину діє сила Лоренца  $F = e\mathbf{v}B$  магнітної індукції, то на гранях перетворювача можна виявити різницю потенціалів.

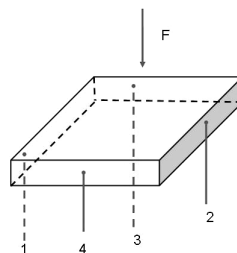


Рисунок 5.2 – Принцип створення гальваномагнітних датчиків

Причиною такого явища є перерозподіл носіїв зарядів в пластині під дією сили  $F$ . В датчику до торців пластини 1, 2 – струмовим електродам, підключають джерело ЕРС (різниця потенціалів), а друга група електродів 3, 4 – в центральній частині подовжніх граней, служить для

виявлення змінювальної провідності пластини. У таких датчиках ефект пов'язаний з властивостями вживаного матеріалу, яким використовуються напівпровідники або матеріали з феромагнітними властивостями (ферити) та іншими чинниками. Габаритні розміри датчиків змінюються від 0,1 до 0,001 мм. При цьому допустимий струм в таких матеріалах, як ситал та індій може бути від 5 до 50 мА. Такі значні струми нескладно контролювати досить простими засобами виміру.

Датчики Холу і Гауса відрізняються лише вибором матеріалу і формою самої пластини, служать на транспорті як ідеальні засоби контролю швидкості обертання валів, подовжнє переміщення виконавчих елементів і роботи елементів обладнання з кутовим і подовжнім переміщенням їх старанних частин.

#### 5.4 Перетворювачі на основі ефекту Баркгаузена

Неоднорідність структури феромагнітного зразка може бути обумовлена його руйнуванням, локальними немагнітними включеннями, що може служити параметром контролю дефектів обладнання, яке містить такі компоненти.

Феромагнітні зразки можна штучно створювати, наносячи на виріб обладнання шар матеріалу з магнітними властивостями, стан якого надалі контролювати на основі перемагнічування його за допомогою магнітів різного виконання.

На рисунку 5.3 зображений комплект перетворювача для контролю зразка деталі машини.

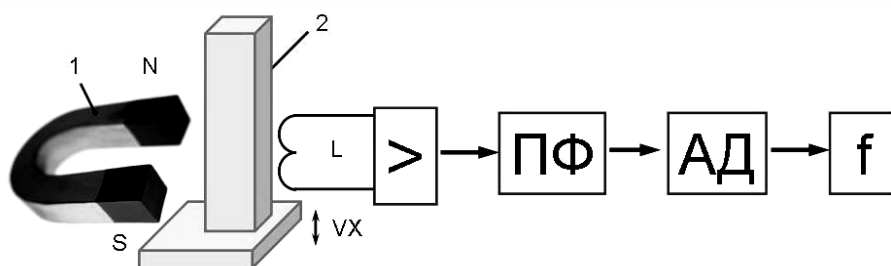


Рисунок 5.3 – Принцип реалізації перемагнічування ефекту Баркгаузена

Зразок 2 з феромагнітними властивостями знаходиться в полі дії постійного магніту 1. Силкові магнітні лінії замикаються через зразок. При переміщенні намагніченого зразка 2 з швидкістю  $v_x$  на ній порушуються межі намагніченої ділянки. У прохідній котушці  $L$  при цьому індукуються імпульси ЕРС. Далі ЕРС посилюється, подається на смуговий фільтр (далі – СФ) і на амплітудний дискримінатор (далі – АД). Оскільки реєстрація ведеться в

певному спектрі частот за допомогою СФ, то АД реєструє сигнали певної частоти. Якщо властивості об'єкту 2 міняються – частота дотримання імпульсів  $f$  також зазнає зміни.

Стационарні випадкові процеси, що виникають в комплекті перетворювача з елементами 1, 2 і котушкою індуктивності  $L$ , і є інформативними параметрами технічного стану контрольованого об'єкту.

На рисунку 5.4 представлений запис амплітуди сигналів певної частоти  $f(t)$ , які тісно пов'язані з феромагнітними властивостями контрольованого зразка 2.

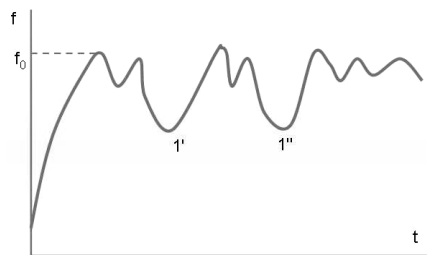


Рисунок 5.4 – Реєстрація амплітуди імпульсів при перемагнічуванні зразка

Пікові значення говорять про високу провідність, а западини – про порушення цих властивостей. Якщо контролюється гальванічне покриття, наприклад, валів виконавчих механізмів, то величина варіювання параметра  $f_0$  (точок  $1'$  і  $1''$ ) говорить про неякісний стан їх робочої поверхні, пов'язаних із зносом при експлуатації, дефектами при виготовленні, ремонті і т. п.

Результати вимірів, отримані такими засобами контролю, вимагають спеціальних прийомів ідентифікації їх, без чого «розшифрувати» записи амплітудних значень не представиться можливим.

### 5.5 Вихрові, індуктивні перетворювачі

Вихрові, індуктивні перетворювачі є сукупністю індуктивних котушок, що створюють магнітні поля, еквівалентні постійному магніту з полюсами  $N-S$ . При вільному розміщенні котушки індуктивне поле зазнає деформації і легко контролюється в експерименті звичайним компасом.

Якщо на шляху магнітно-силових ліній розмістити магнітопровідячий матеріал – поле деформується і може впливати на аналогічні властивості елементів, що знаходяться в зоні його дії (рис. 5.5).

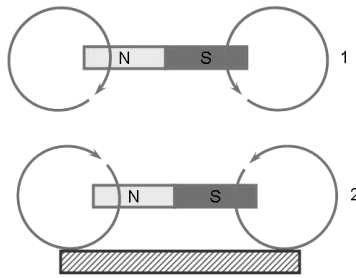


Рисунок 5.5 – Індуктивні перетворювачі магнітних полів

Електромагнітне поле може створюватися джерелами низьких частот до 100 кГц. У таких випадках у відмінності від джерел магнітного поля постійного рівня спостерігатиметься проникнення магнітного поля в середу контролю. Як параметр контролю в таких випадках використовується величина, яка залежить від частоти генерації, магнітних властивостей  $\mu$  і  $\gamma$  – витрат на виході зразка.

При високочастотних коливаннях (починаючи з 500 кГц), будь-який зразок (металева пластина, пруть) активно починають проявляти власні індуктивні і місткісті властивості.

Такий принцип закладений у ряді приладів, які дозволяють безконтактно контролювати: розміри металевих виробів, якість і товщину покриттів металу іншим металом, дефекти поверхонь у вигляді подряпин, тріщин, сколов, раковин.

До недоліків таких методів відносять залежність результатів вимірів від температури, стабілізація якої не завжди представляється можливою.

## 5.6 Магнітопружні перетворювачі

Принцип перетворення магнітопружних перетворювачів заснований на зміні магнітної проникності феромагнітних тіл залежно від механічної напруги (магнітопружний ефект), що виникає в них, обумовленої дією на феромагнітні тіла механічних сил (що розтягують, стискають, скручують).

На рисунку 5.6, а зображений принцип створення датчиків з магнітопружним ефектом. На котушку  $E1$  подається напруга змінної частоти, а з котушки  $E2$  знімається ЕРС, що наводиться магнітним полем. Якщо під дією сили  $P$  зразок деформується, то відбувається зміна траєкторії магнітних силових ліній (рис. 5.6, б), які і будуть причиною зміни параметра  $E2$ .

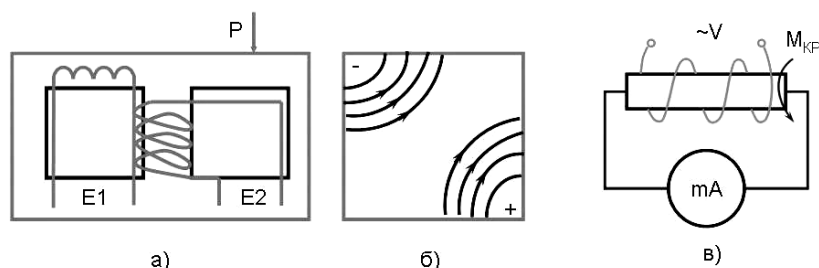


Рисунок 5.6 – Принцип створення датчиків з магнітопружним ефектом

Датчики Видемана стали найпопулярнішими, які використовуються для контролю технічного стану валів різних конструкцій, що деформуються під впливом крутного моменту згідно (рис. 5.6, в). Датчик в такому пристрої забезпечує отримання необхідних даних без спеціальних пристроїв, оскільки його роль виконує сам об'єкт контролю. Величина струму, контрольована міліамперметром, що сполучається з торцевими поверхнями подовжнього зразка, при частоті в полі збудження від 1 до 10 кГц і навантаженнях  $10^{-2} \text{ Н / м}$  досягає 30 мкА (20 мВ). Такі пристрої відносяться до засобів неруйнівного контролю зразків, але при реалізації вимагають джерела змінного магнітного поля.

### 5.7 Індукційні перетворювачі (віброзаходи)

*Індукційні перетворювачі* (далі – ІП) засновані на використанні явища електромагнітної індукції. У загальному випадку вони є котушкою з осердям (рис. 5.7), яка характеризується деяким узагальненим параметром, залежним від площі поперечного перерізу, магнітної проникності середовища й інших чинників, і ЕРС.

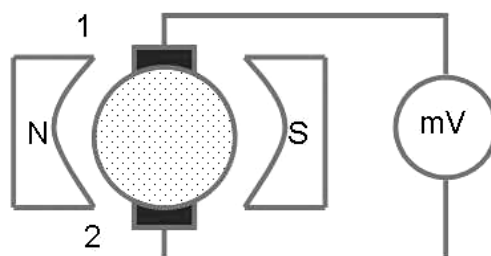


Рисунок 5.7 – Принцип пристрою віброміра:

1 – магніт; 2 – полюсний наконечник;

mV – вимірювальний прилад, сполучений до вимірювальної обмотки



ІІІ влаштовані таким чином, що, знаходячись в зоні зовнішніх магнітних силових ліній (1 – магніт, 2 – полюсний наконечник) своїм полем створюють опір зовнішньому магнітному потоку. При зустрічній дії полів вимірюються віброприскорення або вібропереміщення контрольованих об'єктів.

Контроль амплітудних параметрів ведеться чутливим мілівольтметром. При цьому самі віброзаходи потребують спеціальних засобів захисту від зовнішніх полів, для чого розробляються спеціальні екрануючі корпуси.

Якщо зразок індукційного перетворювача замінити рідиною, то такий перетворювач дозволить вимірювати витрати рідин і газів.

Головним достоїнством таких пристроїв є відсутність прямого контакту датчика з контрольованим середовищем. Такі умови дозволяють надійно експлуатувати віброміри багато років без обслуговування.

## **6 МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННІ**

*Помилка* – це прояв *несправності*. Несправність призводить до помилки у тому випадку, якщо змінює значення сигналу на протилежне. До тих пір, поки це не станеться, несправність залишається прихованою.

Несправності по джерелу походження діляться на *внутрішні* – це несправності компонентів електрообладнання і *зовнішні* – виникають від наведення, перешкоди, електромагнітної радіації.

*Локальні* (поодинокі) несправності зачіпають одну змінну, а *поширені* (кратні) – декілька ланцюгів або компонентів.

*Випадкові* несправності виникають при короткочасній зміні параметрів через коливання температури, магнітної радіації, зміни затримок, перешкоди по живленню, дії  $\alpha$ -частиц на напівпровідникові елементи.

По рівню детерменованості несправності поділяються на *детерменовані* (відповідають рівню 0 і 1) і *недетерменовані* (можуть сприйматися як 0 і 1).

По тривалості несправності, що перемежаються, є наслідком постійних несправностей, наприклад: порушення контактів в роз'ємах, критична (по затримках) тимчасова діаграма і тому подібне.

Несправності, що перемежаються, характеризуються періодами активності і пасивності. Очевидно, що існують несправності *постійні* і *випадкові*.

Інтервал часу між моментами виникнення несправності і появи помилки називають *періодом прихованої несправності*.

Завдання будь-якої системи автоматичного контролю (далі – САК) полягає у виявленні помилки з мінімальною затримкою в часі й мінімальною «відстанню» до місця її виникнення.

Очевидно, що для визначення помилок і несправностей потрібно засоби контролю параметрів експлуатованого електрообладнання.

### 6.1 Контроль контактно-релейних схем

Найчастіше до дискретних пристроїв відносяться контактно-релейні схеми (далі – КРС) включення електроприводів, які містять: керуючі пристрої з кнопками, тумблерами, засобами блокування, контролю, сигналізації.

Для КРС на рисунку 6.1 можливі несправності можуть бути пов'язані з електродвигуном  $M$ , проміжними реле  $K1$ ,  $K2$  і елементами комутації. У кожному окремому випадку пошук несправностей припускає реалізацію свого оригінального алгоритму. Очевидно, що вся програма пошуку можливих несправностей може включати декілька самостійних взаємопов'язаних операцій.

У цифрових діагностичних пристроях для контролю роботи КРС часто використовують рівняння, що описують логіку їх функціонування.

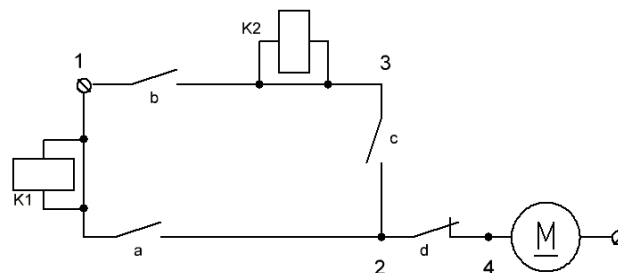


Рисунок 6.1 – Фрагмент контактно-релейної схеми

На рисунку 6.1 контактних елементів позначені  $a, b, c, d$  служать для керування електродвигуном  $M$  тільки при виконанні певних умов. Для випадку з несправним електродвигуном  $M$  виконаємо моделювання такої ситуації, скориставшись квадратичною матрицею такого стану схеми.

Квадратична матриця матиме рівну кількість рядків і стовпців відповідних числу вузлів в схемі (відмічені цифрами 1 – 4). При цьому справні елементи в схемі позначаються в стверджуючому виді, а несправні – інверторами.

При складанні загального рівняння – математичного опису несправності, користуються традиційними прийомами.

З'єднання елементів на схемі відзначається буквою і вноситься до матриці (з'єднання між точками 1 і 2 позначені елементом  $a$ ).

Оскільки між точками 3 і 4 немає електричного з'єднання, то в матриці ця умова фіксується у вигляді «0». Для даної схеми стан елементу  $d$  відмічений інверсією  $\bar{d}$ , що відрізняється від стверджуючих станів  $a, b, c$ .

Визначник між вузлами 1 і 4 запишемо, викресливши з матриці 1-й рядок і 4 стовпець. Для вирішення поставленого завдання скористаємося правилом рішення матриці.

Головний визначник матриці для ланцюга 1 – 4 матиме вигляд:

$$\Delta_{14} = \begin{vmatrix} a & 1 & c \\ b & c & 1 \\ 0 & \bar{d} & 0 \end{vmatrix} = a \begin{vmatrix} c & 1 \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix} + b \begin{vmatrix} 1 & c \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix}. \quad (6.1)$$

Логічне рівняння запишеться у вигляді:

$$f_M = a\bar{d} \vee b\bar{d}c = \bar{d}(a \vee bc). \quad (6.2)$$

Загальне рівняння (6.2) є математичним описом конкретного пристрою несправності, що допускається. Користуючись законами і аксіомами алгебри, представимо функціональну схему, що реалізовує логічний пристрій, який визначає несправність в розглянутій схемі:

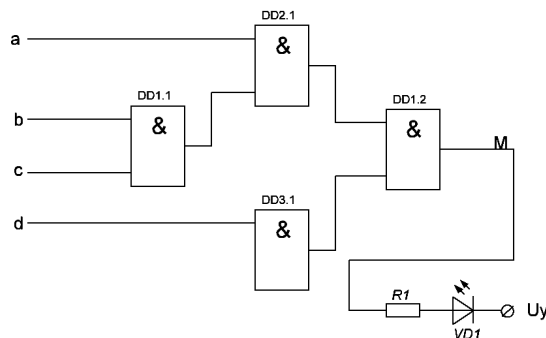


Рисунок 6.2 – Логічний діагностуючий пристрій

Схема на рисунку 6.2 реалізована на логічних елементах (логічні мікросхеми). Такий компактний пристрій з індикатором VD1 дозволяє оповіщати користувача про виниклу несправність, пов'язану тільки з електричним двигуном.

Для проектування аналогічного пристрою, що забезпечує контроль справності будь-якого іншого елемента схеми, необхідно розробити додатковий

математичний опис, реалізація якого дозволить створити аналогічний сигналізатор справності чергового компонента схеми.

Аналогічні моделі можна отримати за допомогою таблиць істинності, але їх застосування часто обмежене громіздкістю таблиць, що реалізуються у вигляді:

$$u_{эл} \rightarrow 2^u > 2^5 = 32 > 2^8 = 256. \quad (6.3)$$

*Переваги автономних логічних схем діагностики:*

– економічні, займають мало місця, не порушують логіку роботи основного електротехнічного обладнання, не вимагають додаткового відходу і обслуговування, безпомилково ідентифікують виниклі несправності, не потребують кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

*Недоліки:*

– для реалізації вимагають додаткових матеріальних витрат.

## 6.2 Контроль аналогових схем

У семах автоматики застосовується багато компонентів, що формують аналогові сигнали, серед яких *короткочасні сигнали* – імпульси певної форми займають особливе місце. Спотворення і невідповідність параметрів таких сигналів приводить до збоїв в роботі електронного обладнання. Найбільш поширеним засобом контролю таких сигналів залишається електронний і комп'ютерний осцилограф. *Електронний або цифровий осцилограф* – це прилад для візуального спостереження і реєстрації різноманітних електричних сигналів, а також для виміру різних параметрів сигналу, що визначають їх форму, значення, часові і частотнофазові співвідношення (рис. 6.3).

Осцилограф характеризується великим входним опором, високою чутливістю, малою інерційністю і широким частотним діапазоном. Відповідно до стандартів осцилографи розрізняють таким чином:

1) за шириною смуги пропускання:

- низькочастотні (смуга пропускання до одиниць МГц);
- широкосмугові (смуга пропускання до тисяч – півтора тисяч МГц);
- надшвидкісні (смуга пропускання до десятків ГГц);

2) за кількістю одночасно досліджуваних сигналів: однопроменеві; двопробеневі; багатопроменеві; двоканальні; багатоканальні;

3) за характером досліджуваного сигналу (для спостереження безперервних, імпульсних, універсальних і спеціальних сигналів);

- 4) за точністю відтворення форми сигналу, точності виміру часових інтервалів і амплітуд: першого, другого, третього, четвертого класу точності;
- 5) за масштабом часу, в якому досліджується процес: в реальному часі; у зміненому масштабі часу;
- б) за умовами експлуатації відповідно до вимог ГОСТ чи технічною документацією, затвердженою в установленому порядку.

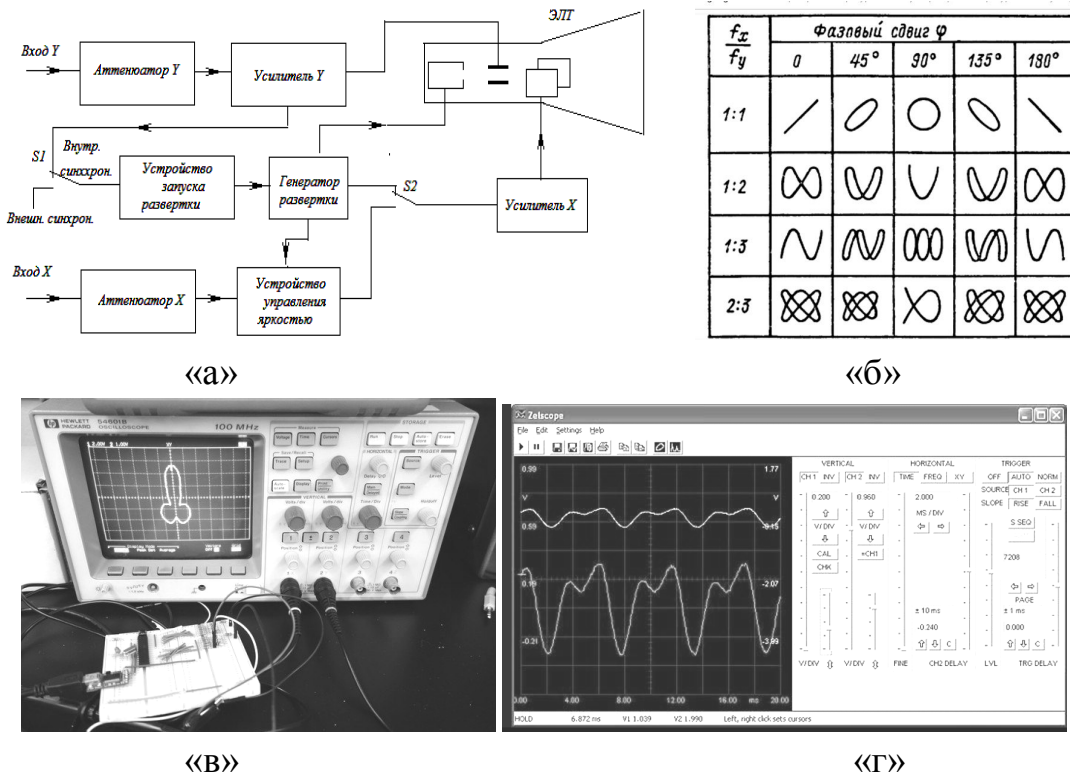


Рисунок 6.3 – Осцилограф: а – структурна схема однопроменевого осцилографа; б – фігури Лісажу; в – електронний; г – комп’ютерний

Будь-який осцилограф обов’язково містить компоненти, призначення яких обумовлене необхідністю використання цього приладу для різних досліджень і вимірів (рис. 6.3, а). *Аттенюатор-ослаблювач сигналу* у тому випадку, якщо він перевищує задані межі. Підсилювач  $Y$  посилює досліджуваний сигнал відповідно до положення перемикача або автоматично. Облаштування запуску розгортки служить для того, щоб розгортка починалася разом із сигналом. *Пристрій запуску* може працювати за сигналом з підсилювача  $Y$  (такий сигнал формуватиметься, коли сигнал  $Y$  починає змінюватися, – внутрішня синхронізація), але може працювати за зовнішнім сигналом, для чого передбачається перемикач  $S1$ . *Генератор розгортки* створює пилкоподібний імпульс напруги, яка при прямому ході рівномірно (лінійно) росте, і стрибком (швидко) убиває при зворотному ході. Напруга імпульсу відповідає рівномірному плину часу впродовж розгортки. При

зворотному ході яскравість променя повинна гаситися з допомогою пристрою керування яскравістю. Також є система формування вузького променя, вертикального і горизонтального відхилення візуальної інформації, що відображається, на моніторі.

Прикладом ідентифікації несправностей в електроустаткуванні можуть бути фігури Лісажу, спостереження яких можна спостерігати за допомогою осцилографа при різниці фаз досліджуваних сигналів  $0, 45, 90^\circ$  тощо (рис. 6.3, б).

### 6.3 Контроль гібридних пристроїв

Спеціальна техніка часто є комбінацією електричного і механічного обладнання. Для діагностування справності такого обладнання часто користуються електронними засобами, в яких реалізуються математичні моделі електромеханічних пристроїв.

При математичному моделюванні комбінованих пристроїв завжди розглядаються певні умови експлуатації (умови обмеження). Існує безліч математичних методів моделювання статички і динаміки аналогових пристроїв. У кожному конкретному випадку розробники переслідують певну мету отримати: статичні залежності – для контролю і оптимізації умов експлуатації об'єкту; динамічні – оцінити поведінку об'єкту в умовах дії на них різних зовнішніх чинників.

Загальний принцип застосування електронних моделей для діагностування електрообладнання полягає в тому, що діагностичний пристрій контролює технологічний об'єкт (далі – ТО) і його математичну модель (далі – МТО), а за результатами вимірів ідентифікується можлива несправність в електроустаткуванні (рис. 6.4).

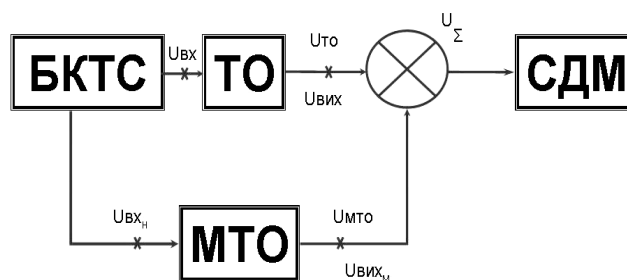


Рисунок 6.4 – Пошук несправностей обладнання із застосуванням її моделі

Засоби діагностики з математичними описами аналогових об'єктів в більшості випадків результати вимірів ідентифікують з декількома можливими несправностями, які поділяються на: нормовані або допустимі; неприпустимі,

вимагаючи термінової зупинки об'єкту; випадкові, якими можна нехтувати, але врахувати і проаналізувати причину виникнення при повторенні.

$$\Delta\Sigma = U_{TO} - U_{MTO}, \text{ при } \Delta\Sigma \left\{ \begin{array}{l} > 0 - \text{неприпустимі (STOP)} \\ > 0 - \text{припустимі (очікувані)} \\ < 0 - \text{випадкові, виправлюючі} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

У аналогових логічних пристроях від блоку керуючих тест-сигналів БКТС, випробувальні сигнали поступають на об'єкт ТО і його модель МТО. Вихідні сигнали  $U_{TO}$  і  $U_{MTO}$  порівнюють в обчислювальному блоці, а результат обробки початкових даних поступає на систему аналізу діагностичних модулів (СДМ) – блок аналогових або цифрових логічних експертів. За допомогою СДМ виконується аналіз і ідентифікація результатів вимірів, але висновки електронного експерта формується тільки для переважаючої умови  $0 < \Delta\Sigma = 0 > 0$ , відповідного тільки одній причині несправності. При цьому передбачається, що реальний об'єкт і його модель адекватні (виконуються нормовані умови експлуатації ТО).

Якщо реалізується ненормований режим експлуатації ТО, то в МТО передбачено декілька параметрів, коригування яких дозволяє отримати нову модель, що адекватно описує процеси в ТО.

Таким чином, перебудована електронна МТО може забезпечувати комплексне діагностування і електричної і механічної частин обладнання, хоча ідентифікація причин для  $\Delta\Sigma > 0$  і  $< 0$  потребуватиме додаткової обробки отриманих результатів вимірів. У будь-якому випадку такий пристрій істотно скорочує час пошуку несправностей, попереджає експлуатацію об'єкту в ненормованих умовах, не допускає поломки його.

Найбільш прийнятним варіантом реалізації таких засобів діагностики з моделюванням об'єктів є розробка спеціалізованих стендів, в яких статичними і динамічними математичними описами для певного типу електромеханічного обладнання є системи рівнянь для різних умов експлуатації аналогічних пристроїв.

Найбільший інтерес викликають засоби діагностики, які забезпечують апроксимацію експериментальних даних і отримання математичних описів.

У такому діагностичному устаткуванні статичні і динамічні характеристики ТО задаються за допомогою КТС, що моделює нормований і інші режими експлуатації ТО. Після внесення тест-сигналів реєструють вихідні величини  $U_{вих}$ ,  $U_{вих.м}$ , часові інтервали, виконують графічну інтерпретацію

залежностей (рис. 6.5), визначають необхідні параметри і отримують математичні описи ТО:

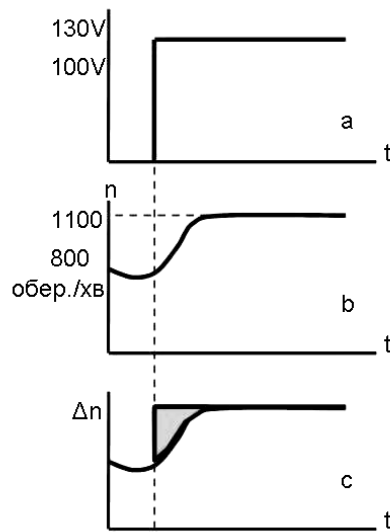


Рисунок 6.5 – Графічний інтерпретація тестування ТО

Залежність  $n$  від  $t$  на рисунку 6.5, а є результатом ступінчастого збурення на вході ТО, яке, наприклад, для двигуна було отримано стрибкоподібною зміною напруги живлення на його керуючій обмотці від 100 до 130 В.

Вигляд характеристики на рисунку 6.5, b відбиває початок перехідного процесу в момент  $t_1$  при внесенні збурення, коли число обертів дорівнює 800. Сталий режим в  $t_2$  (далі зміна числа обертів не спостерігається), характеризується новим рівнем  $n = 1100$  обер./хв. Аналогічним чином реєструються і  $U_{вих.м}$ . На рисунку 6.5, c  $\Delta n$  від  $t$  відбивають динамічні властивості ТО (одночасно реєструються на ТО і МТО). Невідповідність виражається різницею:

$$\Delta n = n_{ТО} - n_{МТО}. \quad (6.5)$$

Для обробки отриманих даних в динаміці зручно користуватися передавальними функціями виду

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} \quad (6.6)$$

для аперіодичної ланки або комбінацією таких виразів для складних ТО.



Вид перехідної характеристики відповідає перехідному процесу в аперіодичній ланці.

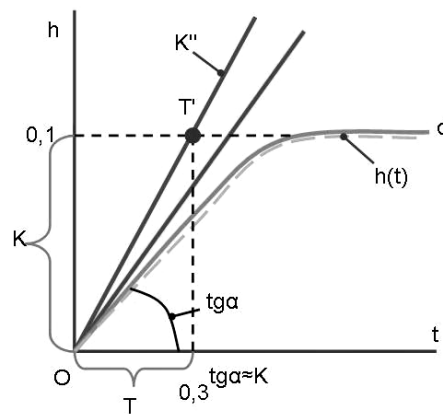


Рисунок 6.6 – Визначення параметрів графічним способом

На рисунку 6.6 показані прийоми графічного визначення динамічних параметрів (6.6) ТО за його часовою характеристикою ( $tg\alpha$  – величина пропорційна коефіцієнту посилення об’єкта діагностування). Так, якщо з початку перехідного процесу  $O$  до кривої перехідного процесу провести дотичну  $K''$ , а сталий режим  $U_H$  продовжити на вісь ординат – отримаємо коефіцієнт посиленні ТО  $K = 0,1$ , а спроектувавши на вісь абсцис (вісь часу) – отримаємо постійну часу ТО  $T = 0,3$ . Для нашого прикладу (6.6) матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{0,1}{0,3p + 1}. \quad (6.7)$$

Формула (6.7) – передавальна функція ТО, де  $p$  – оператор диференціювання. Теоретичну часову характеристику можна побудувати, скориставшись залежністю:

$$h(t) = K \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (6.8)$$

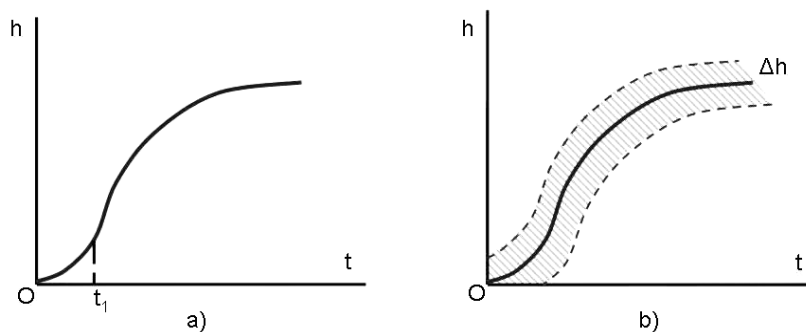


Рисунок 6.7 – Часова характеристика:

а – експериментальна; б – теоретична з областю варіативної (помилки)

На рисунку 6.7, в часова характеристика  $h(t)$  – перехідна характеристика отримана за допомогою математичної моделі ТО може використовуватися як «перебудована модель» з динамічними властивостями, що змінюються.

У ряді випадків використовують перехідну характеристику вигляду:

$$W(p) = \frac{K \exp(-p \cdot \tau)}{Tp + 1}, \quad (6.9)$$

для якої додатково визначають час запізнювання  $\tau$  – «запізнювання» реакції ТО на тест-сигнал збурення.

Теоретичну часову характеристику для такого об'єкту отримують за формулою:

$$h(t) = K \cdot \exp\left(\frac{t - \tau}{T}\right). \quad (6.10)$$

Розглянуті приклади моделювання динамічних ланок ТО і отримання адекватного математичного опису ТО, які потрібні на діючих стендах діагностики електрообладнання, що виконуються за допомогою обчислювальної техніки.

*Достоїнства:* доступність коригування параметрів математичних описів, можливість застосування їх до ТО з різними технічними характеристиками (потужність, габарити, навантаження та ін.).

*Недолік:* складно врахувати зовнішні дії на ТО, знос компонентів, стохастичний характер умов експлуатації та ін.

## 7 МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

### 7.1 Аналіз кодових комбінацій

У цифрових пристроях переважають цифрові сигнали у вигляді високого «1» і низького «0» рівнів. На жаль, навіть за допомогою осцилографів двійкову інформацію неможливо контролювати. Контроль передачі двійкової інформації здійснюється переважно на основі кодів з інформаційною надмірністю. Найчастіше використовуються коди з виявленням і корекцією помилок. Якщо довжина коду –  $n$  розрядів, то таким кодом можна представити  $2n$  різних слів. У випадку якщо усі розряди слова використовуються для представлення інформації, код називається простим (не надмірним). Якщо для представлення інформації використовується тільки частина кодового слова, код називається надмірним. Частина слів в надмірних кодах можна умовно вважати забороненими, і якщо вони з'являються у приймача при передачі інформації, то це свідчить про наявність помилки передачі. Належність слова до дозволених або заборонених кодів визначається правилами кодування, і ці правила різні для різних кодів.

Здатність коду виявляти або виправляти помилки оцінюється мінімальною кодовою відстанню (далі – МКВ). Ця мінімальна відстань між двома будь-якими словами в цьому коді (цій кодовій сукупності). Якщо є хоч би одна пара слів, що відрізняються один від одного тільки в одному розряді, то  $МКВ = 1$ . Для роздільних надмірних кодів  $МКВ > 1$ . Наприклад, якщо  $МКВ \geq 2$ , то будь-які два слова в цьому коді розрізняються не менше чим в двох розрядах.

В цьому випадку поява поодинокі помилки приведе до появи забороненого слова, і це може бути виявлено, якщо дозволеними рахувати слова, що мають  $МКВ \geq 2$ .

У загальному випадку, щоб надмірний код дозволяв виявляти помилки кратності  $r$ , повинна виконуватися умова  $МКВ \geq (r + 1)$ .

Дійсно, помилка в  $r$  розрядах слова створює нове слово, віддалене від першого на відстані  $r$ . Щоб воно не співпало з будь-яким іншим дозволеним словом, мінімальна відстань між двома будь-якими дозволеними словами має бути хоч би на одиницю більше, ніж  $r$ . Отже, від правильного слова нове знаходиться на відстані  $r$ . Від будь-якого іншого дозволеного слова воно повинне знаходитися не менше чим на  $(r+1)$ , а мінімальна кодова відстань має бути не менше суми цих величин. Для виправлення  $r$ -кратної помилки необхідно щоб

$$МКВ \geq 2r + 1. \quad (7.1)$$

Кодова відстань між двома комбінаціями двійкового коду визначається дуже просто: підсумовуються ці комбінації по модулю 2, і підраховується число одиниць в отриманій комбінації.

Кодова відстань добре визначається при побудові геометричної моделі кодів. У вершинах  $n$ -косинців ( $n$  – значність коду) розташовані кодові комбінації, а кількість ребер  $n$ -косинця, що відділяють одну комбінацію від іншої, дорівнюють кодовій відстані.

*Приклад.* Необхідно визначити кодову відстань між комбінаціями:

$$\begin{array}{r} \oplus \quad 0001 \\ \quad \underline{0001} \\ \quad \quad 0000 \end{array} \qquad \oplus \quad \begin{array}{r} 11000111001 \\ \underline{10000011101} \\ 01000100100 \end{array}$$

У першому прикладі кодова відстань  $d = 0$ , в другому –  $d = 3$ . Знак «+» означає логічну операцію «ВИЛУЧАЛЬНЕ АБО».

Для ілюстрації методу визначення кодової відстані треба побудувати геометричну модель трьохелементного коду (рис. 7.1).

Принцип привласнення кодової комбінації: якщо проекція на вісь дорівнює нулю, то ставиться нуль, і навпаки. Порядок проекції має бути одним для усіх: спочатку на вісь 1, потім на вісь 2, потім на вісь 3.

Слід позначити кути і розташувати грані так, щоб сусідні коди розрізнялися тільки в одній позиції.

Геометричне представлення коду дозволяє дуже просто визначати такі коди, за якими виявляються і надалі виправляються помилки. Для цього використовується правило, згідно з яким коди, що виявляють помилку, повинні мати кодову відстань, дорівнюючою двом, тобто відрізняються один від одного в двох символах. Наприклад, комбінації, що виявляють помилку в комбінації 011, виглядатимуть так: 101, 100, 000, 110 (рис. 7.1).

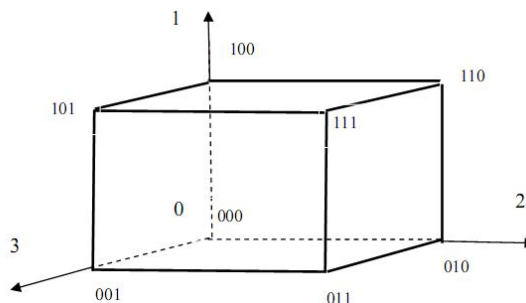


Рисунок 7.1 – Геометричне представлення трьохелементного коду

Виправляти помилку можуть тільки ті комбінації, які мають кодову відстань не менше три, тобто віддалені один від одного на відстані трьох ребер (рис. 7.1), тому вони розташовані на протилежних вершинах куба: це коди-супутники  $000 \rightarrow 111$ ,  $010 \rightarrow 101$ ,  $001 \rightarrow 110$ ,  $011 \rightarrow 100$ .

Аналогічним чином реалізується контроль кодів з перевіркою парності (непарності) та інші прийоми.

## 7.2 Коди з перевіркою парності (непарності)

Коди з *перевіркою парності* утворюються шляхом додавання до групи інформаційних розрядів, що є простим (не надмірний) кодом, одного надмірного (контрольного) розряду. При цьому в контрольний розряд записується 0 або 1 так, щоб сума одиниць в слові, включаючи надмірний розряд, була парною (при контролі по парності) або непарною (при контролі по непарності). Надалі при усіх передачах (включаючи запис в пам'ять і прочитування) слово передається разом зі своїм контрольним розрядом або словом. Приймач (приймальний пристрій) при прийомі контролює відповідність парності суми одиниць слова значенню контрольного розряду. Невідповідність інтерпретується як наявність помилки при передачі.

Мінімальна відстань коду  $MKP \geq 2$ , тому код з перевіркою парності виявляє усі поодинокі помилки і випадки непарного числа помилок (3, 5 і т. д.). При виникненні одночасно двох або парного числа помилок код їх не виявляє.

При контролі по непарності перевіряється повна пропажа інформації, оскільки кодове слово, що складається з нулів, відноситься до заборонених.

Код з перевіркою парності має малу надмірність – не вимагає великих апаратних витрат. Він застосовується в цифрових пристроях для контролю передач інформації між регістрами і для контролю прочитуваної інформації в ОЗУ та ін. Цікавий зв'язок кодування при контролі по парності і логічній операції «ВИЛУЧАЛЬНЕ АБО» (складання по модулю 2). Якщо число одиниць в слові, сформованому для передачі, має бути парним, то в контрольний розряд записується прямий код суми по модулю 2 усіх інформаційних розрядів слова. При контролі на непарність в контрольний розряд заноситься зворотний код суми по модулю 2.

Наприклад, кодоване слово має шість розрядів: 011010. Для контролю по парності воно має бути представлене у вигляді 0110101, а для контролю по непарності – у вигляді 0110100.

### 7.3 Алгоритмічні методи діагностування

Тестування лежить в основі процесів діагностування і профілактичних випробувань. Тестування робиться під час випробувань, які можуть бути статичними і динамічними. *Статичні* – це випробування, при яких частота тестових дій значно менше частот реальних дій при роботі пристрою. При динамічних випробуваннях обидві частоти відповідають один одному.

Більшість несправностей, що виникають при експлуатації електронних засобів, є замиканням ліній на землю або на лінію напруги живлення, коротке замикання між сигнальними лініями, обриви, відсутність резисторів, пробої транзисторів, низький коефіцієнт посилення, надмірне збільшення затримок. Несправності можуть бути поодинокими або кратними.

Для розробки і обчислення тестів фізичні несправності можуть бути представлені їх логічними моделями на рівні логічних схем.

Використовуються наступні моделі несправностей :

1) константні несправності. Для них моделюють постійні 0 або 1 на входах або виходах логічних схем, означаючи відповідно К0 (константа 0) і К1 (константа 1). Наприклад, в лінії «а» несправності К0 і К1 означають таким чином: а/0, а/1;

2) короткі замикання (далі – КЗ). Зазвичай моделюють КЗ між сигнальними провідниками схем. При цьому доводиться в моделі вводити додаткову схему.

Наприклад, початкова схема містить два логічні елементи з трьома вхідними лініями кожний (рис. 7.2). Складемо моделюючу схему, що дозволяє однозначно визначити замикання вхідних ліній.

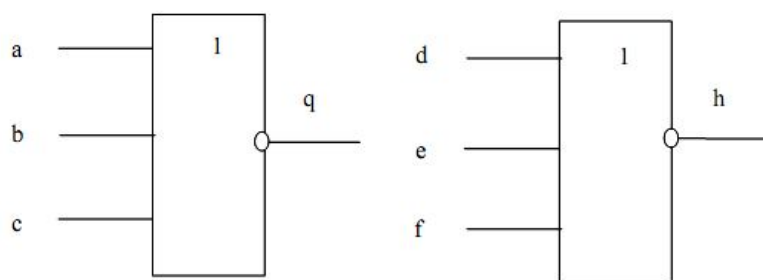


Рисунок 7.2 – Початкова схема для моделювання замикання ліній

Якщо замикають між собою, наприклад,  $c$  і  $d$ , то схему моделювання можна представити в іншому вигляді (рис. 7.3).

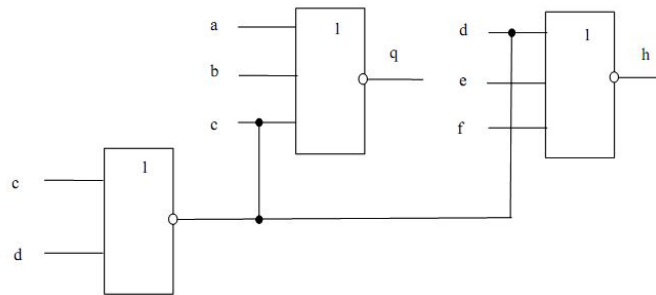


Рисунок 7.3 – Моделювання замикання введенням додаткової схеми

Рівні сигналів для даного випадку у фрагменті схеми цифрового пристрою матимуть наступний вигляд:

	Входи						Виходи	
	a	b	c	d	e	f	q	h
Справна система	0	0	1	0	0	0	0	1
Несправна система	0	0	0	0	0	0	1	1

Порівняння таблиць показує, що несправність виду КЗ виявляється за допомогою моделюючої схеми.

Константні несправності і короткі замикання називають *статичними*, вони виявляються при статичному тестуванні.

Для рівня логічних схем найчастіше використовують прості моделі (КЗ, К0, К1).

Опис схем на рівні логічних вентилів часто виявляється складним і громіздким. У міру зростання міри інтеграції різко збільшується машинний час для обчислення тестів і моделювання несправностей. Машинний час  $t = kn^3$ , де  $n$  – число логічних елементів або вентилів.

Для складних схем застосовують сигнатурний аналіз (далі – СА). СА відноситься до компактного тестування ЦУ, коли результати стискаються і порівнюються із стислим еталоном. Сигнатура відноситься до основних видів стислих еталонів (використовують також: функції рахунку, контрольні суми, синдром).

*Сигнатура*, як один з видів стислих еталонів, використовується при діагностиці складних пристроїв в процесі контролю за допомогою сигнатурного аналізу.

Сигнатурний аналіз припускає використання циклічних надмірних кодів для стискування довгих двійкових кодів (реакцій цифрових пристроїв (далі – ЦП) на тестові послідовності) в короткий (4 – 5) розрядний шістнадцятирічний код, який відображається і порівнюється з вказаним в документації контрольним кодом для кожної контрольованої точки. Цей контрольний код і називають *сигнатурою*.

Приклад алгоритм при діагностиці пристроїв за допомогою сигнатури може мати наступний вигляд (рис. 7.4). При сигнатурному аналізі застосовується принцип стискування інформації з використанням характеристичних поліномів.

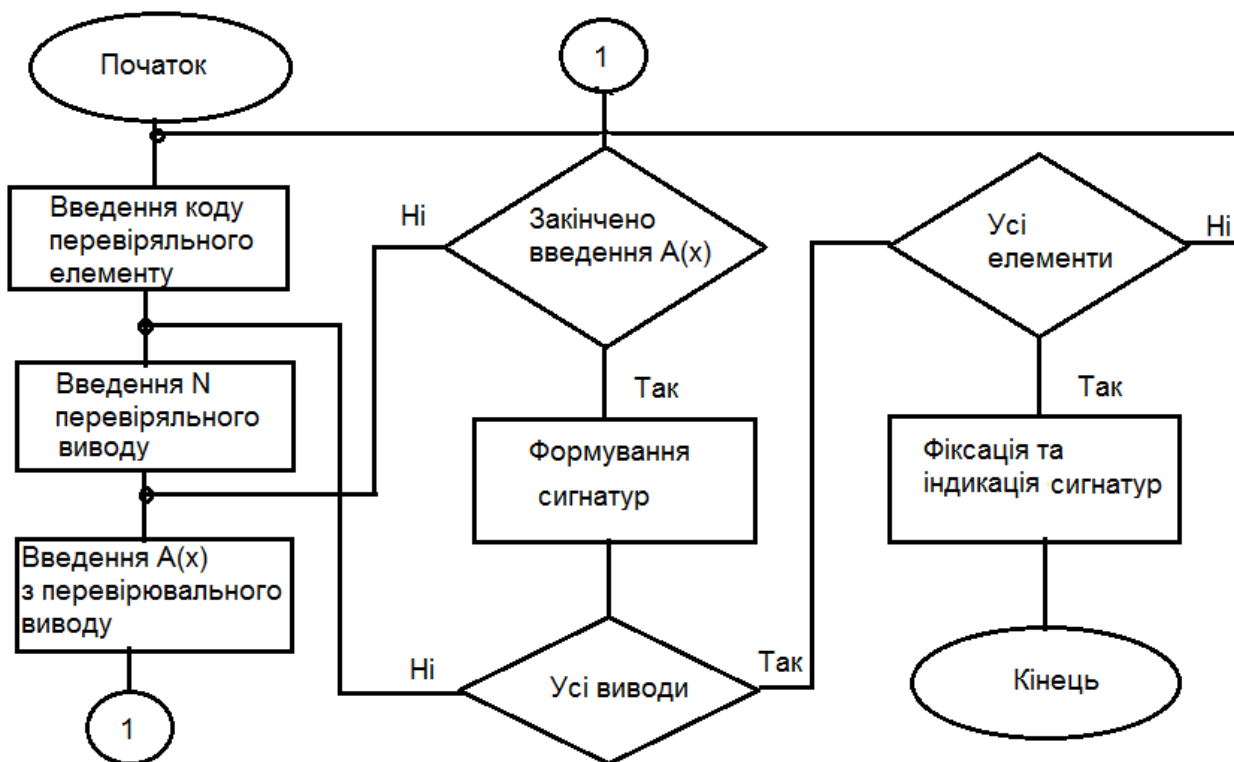


Рисунок 7.4 – Алгоритм процесу утворення сигнатур при діагностиці

Вичерпне тестування ЦП методом сигнатурного аналізу, в основі якого лежить використання циклічних кодів для стискування двійкових довгих кодів (що є реакціями ЦП на тестування) в короткий шістнадцятирічний код, який відображається і порівнюється із заздалегідь заданим кодом (вказують в документації).

Код, вказаний в документації, є еталонним (еталонна сигнатура).

Циклічний код будується таким чином. Інформаційна комбінація  $A(x)$  поділяється на утворювальний поліном  $G(x)$ .



Операція  $A(x)/G(x)$  виконується на зсувному регістрі із зворотними зв'язками. Залишок (вміст регістра зрушення) і є стислий результат тестування, тобто сигнатура. Порівнюючи її з еталонною (розрахунковою), роблять висновок про справність ЦП.

Використання контрольних сум припускає розгляд сукупності результатів тестування як масиву чисел, над яким виконується операція порозрядного або арифметичного підсумовування.

Отримана в результаті тестування сума порівнюється з еталонною, визначеною (вчисленою) заздалегідь для свідомо справної схеми.

Очевидно, що розглянуті методи тестування реалізуються за допомогою спеціальних цифрових тест-пристроїв, виготовлення яких, зазвичай, виконує виробник конкретної цифрової техніки.

#### **7.4 Класифікація і характеристика методів діагностування**

Методи діагностування характеризуються об'єктом елементарної перевірки, способами подання дії і зняття відповідей. Сукупність методів можна класифікувати відповідно до описаних раніше засобів діагностування.

Процес розробки системи діагностування включає наступні етапи:

- а) вибір методу діагностування;
- б) визначення способів інтерпретації результатів діагностування;
- в) вибір апаратурних засобів діагностування;
- г) розробка діагностичних тестів;
- д) складання діагностичних довідників;
- е) перевірка якості системи діагностування.

*Контролепридатність* – ця властивість пристрою, обумовлена пристосованістю до проведення контролю його технічного стану в процесі експлуатації. Контролепридатність визначається можливістю генерації тестових сигналів, їх обробки і видачі результатів контролю, об'ємом тестів, методикою тестування (діагностування). Таким чином, контролепридатність значною мірою визначається тестувальністю.

*Тестувальність* цифрового пристрою – ця наявність для будь-якої несправності заданого класу вхід-вихідний послідовності бітів кінцевої довжини, що виявляє цю несправність. Умовами тестувальності є керованість і спостерігальність. *Керованість* – це можливість установки ЦП в заданий стан шляхом подання на його входи деяких вхідних кодів; *спостерігальність* – це можливість виявлення того, в якому стані знаходився пристрій по аналізу його вхід-вихідний послідовності за кінцеве число тактів.

## 7.5 Уніфікація методів діагностики

Електронне обладнання систем контролю, керування і сигналізації, використовуване на ТО для автоматизації процесів часто є гібридними технічними рішеннями. Класифікація методів їх діагностування ґрунтована на використанні методів функціонального діагностування обладнання (рис. 7.5).

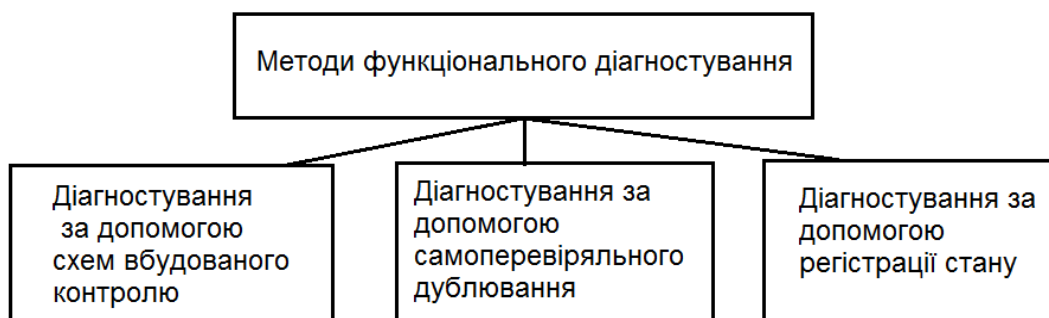


Рисунок 7.5 – Класифікація методів діагностування

Залежно від технічних засобів і діагностичних параметрів, які використовують при проведенні діагностування, можна скласти наступний неповний список методів діагностування: органолептичні методи, вібраційні, акустичні, теплові та ін. Технічна діагностика і неруйнівний контроль дефектів в електрообладнанні, електроніці найтіснішим чином пов'язані з розробкою, виробництвом, тестуванням і відладкою компонентів технологічних систем, пристрою, вузлів і плат, що містять мікросхеми та елементи електричних схем. Кращим сучасним засобом для виконання діагностичного аналізу структурних (не функціональних) дефектів цифрових і частково аналогових пристроїв були і залишаються *технології JTAG*, відомі також під назвою «граничне сканування», що реалізують засоби самодіагностики.

Початкова версія цих технологій в стандарті IEEE 1149.1 ставила перед собою дуже скромні цілі – запропонувати рішення для тестування електроніки з обмеженим доступом у поєднанні з методами контактного доступу типу ІСТ. Проте дуже швидко діапазон застосувань технологій JTAG розширився.

Успішно тривала розробка нових стандартів і технологій JTAG, викликана проблемами тестування напівпровідникових елементів логічних (дискретних), високої інтеграції і багат шарових плат (далі – БП) з багаторівневими, що неухильно ускладнюються ВІС.

Разом з цифровим JTAG-стандартом IEEE 1149.1 і його дуже популярним розширенням на диференціальні LVDS-ланцюги (IEEE 1149.6 [3]) існує його аналогове розширення (IEEE 1149.4), що не отримало доки помітного застосування, а також JTAG-стандарт IEEE 1149.7, що вийшов [4]. Проблеми тестування запам'ятовуючих пристроїв (далі – ЗП) в технології JTAG стимулювали розробку нового стандарту IEEE P1581, а ускладнення систем і необхідність їх тестового JTAG-обслуговування викликали початок розробки системних розширень технології JTAG для тестування сукупностей БП, що об'єднуються системними або кросс-платами.

Далеко не усі проблеми технічної діагностики цифрових пристроїв теперішньому часу вирішені, і не для кожної з них можна навіть обкреслити контури можливих рішень, які внаслідок вибухоподібного розвитку самих цифрових пристроїв постійно зрушуються і розмиваються.

Завдання технічної діагностики цифрових пристроїв, з успіхом вирішувані нині за допомогою JTAG-технологій, можна систематизувати таким чином.

1. Технічна діагностика напівпровідникових (далі – НП) компонентів ВС при їх виробництві і експлуатації :

Верифікація правильності розробки і функціонування НП пристроїв за наявності JTAG-доступу до окремих елементів ВС; забезпечення уніфікованих засобів такого доступу являється, по суті, завданням стандарту P1687.

Структурне тестування зв'язків між вбудованими електронними модулями за допомогою JTAG-оболонки спільно з іншими DFT-структурами, такими як внутрішні ланцюжки сканування і механізми вбудованого тестування; апаратні і алгоритмічні можливості такого тестування визначаються вже існуючим стандартом IEEE 1500.

Емуляція мікропроцесорів для їх функціонального тестування, також керована по JTAG-каналам, коли тестування визначається існуючим стандартом IEEE 5001.

Технічна діагностика окремих НП елементів при їх виробництві і експлуатації включає:

– діагностику несправностей монтажу компонентів, що включає виявлення дефектів монтажу і зв'язків між ними.

– діагностику несправностей монтажу елементів, що включає виявлення дефектів монтажу інших ІС, не підтримувальних JTAG (елементи пам'яті, кластерні структури), і дефектів зв'язків між ними.

Внутрішньосхемне програмування елементів, що конфігуруються, таких як ПЛМ, FPGA, ЭСПЗУ, I2C, а також пропалення флеш-пам'яті.

2. Технічна діагностика *сукупностей* НП і вузлів при їх складанні та експлуатації, в припущенні, що окремі або усі НП забезпечені JTAG-ланцюжками і до кожного з них є або безпосередній доступ, або доступ з об'єднуючої плати за допомогою тієї або іншої схеми комутації:

- діагностика наявності або відсутності в роз'ємі крос-плати за допомогою адресних ідентифікаторів роз'ємів;
- діагностика несправностей з'єднання БП з роз'ємом крос-плати та ін.;
- керування схемами самотестування на окремих НП, зібраних у вузол, тобто запуск програм самотестування і діагностування несправностей за результатами прогону тесту.

Вибір стратегії тестування і діагностики дефектів є непростим завданням при виробництві сучасних плат високої складності. Ефективність стратегії тестування може виявитися ключовим чинником при виборі технічної політики розробника при його природному прагненні до пониження вартості випускальних пристроїв. Наступні проблеми діагностики дефектів монтажу:

- значне обмеження можливостей візуального контролю якості монтажу, зокрема, у зв'язку з широким застосуванням BGA-корпусів;
- майже повна відсутність можливостей фізичного доступу до вузлів і контактів плат, обмежуюче застосування внутрішньосхемного тестування ICT;
- недостатня тестопридатність НП, що звужує рівень тестового покриття в технологіях JTAG навіть за наявності відповідних програмно-апаратних засобів;
- висока вартість ручних робіт кваліфікованих інженерів при неавтоматизованому пошуку дефектів монтажу і відладці БП, а також значні часові витрати;
- висока вартість виробництва голчастих адаптерів для ICT;
- ускладнена діагностика несправностей при внутрішньосхемному (ICT) і *функціональному тестуванні* (далі – ФТ).

Істотним чинником успіху технічної діагностики є максимально повне використання наявних у розпорядженні (чи доступних) засобів тестування і збалансоване поповнення парку цих засобів.

Спектр засобів і методів тестування і діагностики включає, як відомо, *осцилографи і логічні аналізатори, емулятори і аналізатори протоколів, тестери ICT і JTAG-тестери, рентгенівські установки (AXI), автоматичний візуальний контроль (AOI) і тестери з «літальними» щупами (FPT)*.

Крім того, для майже усіх БП традиційно і широко використовується ФТ.

Зовсім непросто сформулювати критерії вибирання тих або інших засобів і стратегій технічної діагностики. Статистика стверджує, що від 80 до 90%

дефектів в складних сучасних БП – це дефекти монтажу, для їх діагностики необхідно проводити структурне тестування.

Тестери АОІ і АХІ цілком ефективні для виявлення деяких, але не усіх, дефектів монтажу до живлення тестованої БП і не вимагають спеціальних адаптерів для їх застосування. Тестери ІСТ виключно ефективні практично в усіх випадках і майже для будь-кого БП, але при обмеженому бюджеті тестування може бути доцільною їх заміна на спільне застосування тестерів АОІ, JTAG і ФТ.

Чинники, які зазвичай беруться до уваги при виборі того або іншого типу тестера, це:

- розміри капітальних вкладень у зв'язку з придбанням тестера;
- вартість розробки і підтримки тестових і діагностичних програм;
- продуктивність тестера (в умовах масового виробництва);
- рівень покриття несправностей;
- діагностичні можливості пошуку дефектів.

Будь-яка діюча стратегія тестування і діагностики поєднує, в тих або інших поєднаннях, структурне тестування (ІСТ, JTAG, АОІ, АХІ, FPT) з функціональним тестуванням. ФТ виявляє несправності плати, якщо вони існують, але витрати на розробку і проведення такого тесту зазвичай значні, а діагностика несправностей монтажу, що забезпечує ФТ, не занадто ефективна, тому без попереднього сортування на тестерах JTAG, АОІ і АХІ функціональне тестування НП далеко не завжди виправдане. Діагностика в структурному тестуванні зазвичай набагато детальніша, а повнота покриття несправностей помітно вище. Бажання отримати майже 100%-е покриття дефектів цілком реальне, хоча на практиці рівень покриття несправностей – це компроміс між рядом чинників, основні з яких – вартість тестопригодного проектування БП, час і вартість розробки тесту, час і витрати на прогін тесту і виконання діагностичних процедур.

Ніяка з технологій структурного тестування не забезпечує 100%-го покриття дефектів монтажу сама по собі й для будь-яких схем, тому ті або інші комбінації різних технологій покликані забезпечити прийнятний рівень діагностики дефектів для тих схем і для тих типів несправностей, в яких вони максимально ефективні. JTAG-тест, наприклад, незамінний для виявлення коротких замикань у внутрішніх ланцюгах БП і покриває ці дуже актуальні несправності монтажу куди краще за інші методи. Ще більшою мірою JTAG-тест придатний для виявлення обривів або «холодної пайки», коли місця цих дефектів, особливо під корпусами BGA, не локалізовані візуально (АОІ), ні рентгенконтролем (АХІ), ні на тестерах ІСТ або FPT.

Характер монтованих БП і несправностей, що виникають при їх монтажі, різний для різних ліній складання і різних виробників БП. Мета оптимізації стратегії тестування і діагностики несправностей для кожної окремої лінії – це отримання максимально ефективного сукупного тесту, що гарантує високу якість складання БП за умови прийнятних витрат. Як і в інших подібних випадках, отримання професійної консультації у експертів, що мають достатній досвід і цілісний погляд на процеси виробництва БП – від розробки їх схем до тестування і діагностики результатів їх монтажу, часто виявляється найбільш виправданою інвестицією.

## **8 РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ**

### **8.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування**

Традиційно алгоритми представляють блок-схемами. *Блок-схема* – упорядкована сукупність різних графічних форм, що символізують певні операції, які поєднані між собою стрілками, що показують напрямок розвитку подій у програмі за певними умовами.

Блоки умовно можна розподілити на:

- 1) блоки початку і кінця алгоритму (овальна форма);
- 2) блоки обробки даних (прямокутна форма);
- 3) блоки перевірки умов (ромбовидна форма з двома точками виходу).

За структурою блок-схеми алгоритмів вирішення завдань діагностування електрообладнання ТО розділяють на *лінійні, гілкові й циклічні*.

*Концептуальна блок-схема* – це перерахування в логічному порядку найважливіших подій процесу діагностування.

*Функціональна блок-схема* – відбиває сукупність процесів або операцій, деталізація яких залежить від технічних засобів, що використовують при діагностуванні електрообладнання.

### **8.2 Вибір етапів діагностування електрообладнання**

При розробці блок-схеми алгоритму діагностування електрообладнання при цьому мається на увазі реалізація декількох етапів:

1. Визначення технічного стану пристрою, що діагностується;
2. Пошук і локалізація обладнання, що має відмови або несправності;
3. Прогнозування залишкового ресурсу пристрою після ремонту.

В автомобілях і електромобілях, використовуваних для механізації ручної праці в муніципальному господарстві, основними компонентами

електрообладнання є: базове електрообладнання транспортного засобу і спеціалізоване електрообладнання, використовуване для механізації виконуваних робіт (електроприводи, блоки керування, допоміжні електротехнічні засоби).

При складанні алгоритму діагностування при щоденному технічному обслуговуванні (далі – ЩТО) необхідно:

1. Розглянути прийоми діагностування базового електрообладнання ТЗ (вузли і блоки, несправність яких забороняє експлуатацію ТЗ: системи запалення, АКБ, генератор, стартер, системи гальм і безпеки, освітлювальні й сигнальні прилади та ін.).

2. Розглянути прийоми діагностування спеціального електрообладнання ТЗ (додаткові АКБ і генератор, блок контролю, керування й сигналізації автономної бортової мережі, пневматичні і гідравлічні пристрої з електроприводами і перетворювачами, та ін.).

3. Вивчити взаємозв'язок діагностичних параметрів в усіх групах електрообладнання (загальні діагностичні параметри, системи блокування, засобу контролю, сигналізації).

4. Вибрати методики аналізу отриманих результатів вимірів придатні для реалізації їх технічними засобами.

### **8.3 Складання блок-схеми алгоритму діагностування**

Для реалізації алгоритмів діагностики технічними засобами часто застосовують математичні описи, що відбивають роботу окремих компонентів електричних схем, які допомагають синтезувати обладнання для виконання пошуку несправностей і діагностики їх технічного стану.

Якщо передбачається автономний принцип пошуку несправностей і діагностування, то в цьому випадку передбачається застосування вбудовуваних датчиків, що розміщуються прямо на електроустаткуванні. Такі компоненти діагностичних пристроїв повинні мати відповідне виконання для надійної довготривалої експлуатації їх під впливом довкілля. За відсутністю датчиків-перетворювачів, що серійно випускаються, доцільно передбачити їх проектування і виготовлення. У тому випадку, якщо автономний варіант діагностики складно реалізувати розглядається варіант виготовлення стаціонарного діагностичного стенду. В цьому випадку компоненти електрообладнання до стенду повинні будуть підключатися за допомогою роз'ємів.

Розглянуті вище чинники необхідно враховувати, оскільки від них залежить можливість реалізації розробленого алгоритму діагностики.

Приклад блок-схеми алгоритму діагностики електрообладнання наведений на рисунку 8.1.

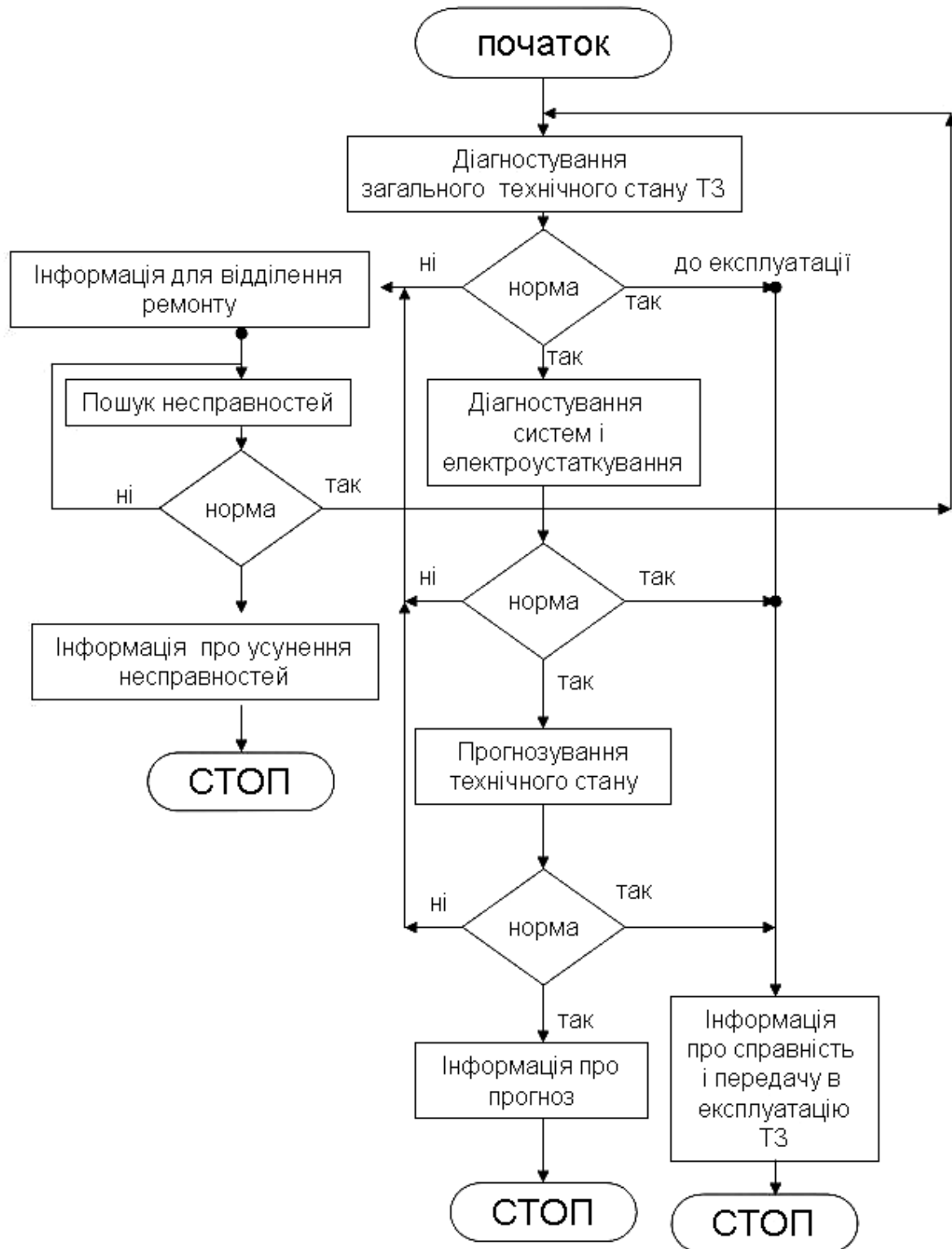


Рисунок 8.1 – Блок-схема алгоритму діагностики гібридного електрообладнання



## 9 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 9.1 Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики

Для підготовки алгоритму пошуку несправностей і діагностики електрообладнання необхідно виконати ранжирування усіх параметрів контролю за мірою їх важливості, об'єднуючи при цьому окремі вузли і блоки у взаємозв'язані групи.

Для ТЗ:

- елементи бортової електричної мережі;
- засобів експлуатації двигуна;
- засобів освітлення і сигналізації;
- електроприводи системи гальм і безпеки.

Для спецобладнання:

- елементи бортової електричної мережі спецобладнання;
- електроприводи спеціального призначення (далі – ЕСП);
- засобів контролю, керування й сигналізації (далі – ЗККС);
- засобів ручного керування електрообладнання м.

Загальну блок-схему пошуку несправностей можна представити в наступному вигляді (рис. 9.1):

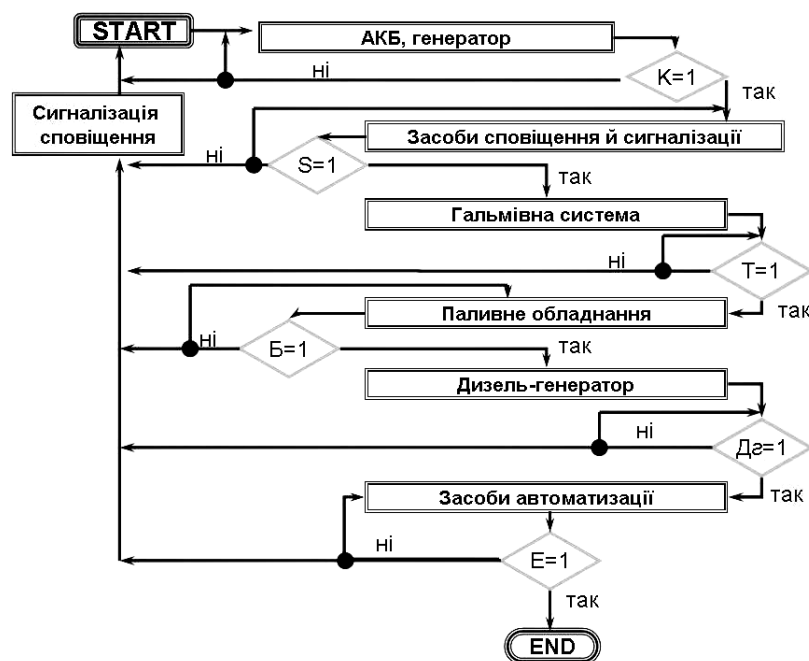


Рисунок 9.1 – Блок-схема алгоритму пошуку несправностей

Розглядаючи кожну окрему групу, представлену в блок-схемі, вивчається можливість контролю параметричних величин технічними засобами і можливість автоматизації спостереження й реєстрації їх. В результаті виконання такої роботи, представляється можливим підготувати ескізний проект розміщення усіх датчиків-перетворювачів на транспортному засобі (рис. 9.2), що ілюструє реалізацію *діагностичного комплексу* за допомогою *локальних діагностичних пристроїв* (далі – ЛДП), що входять до складу ДК.

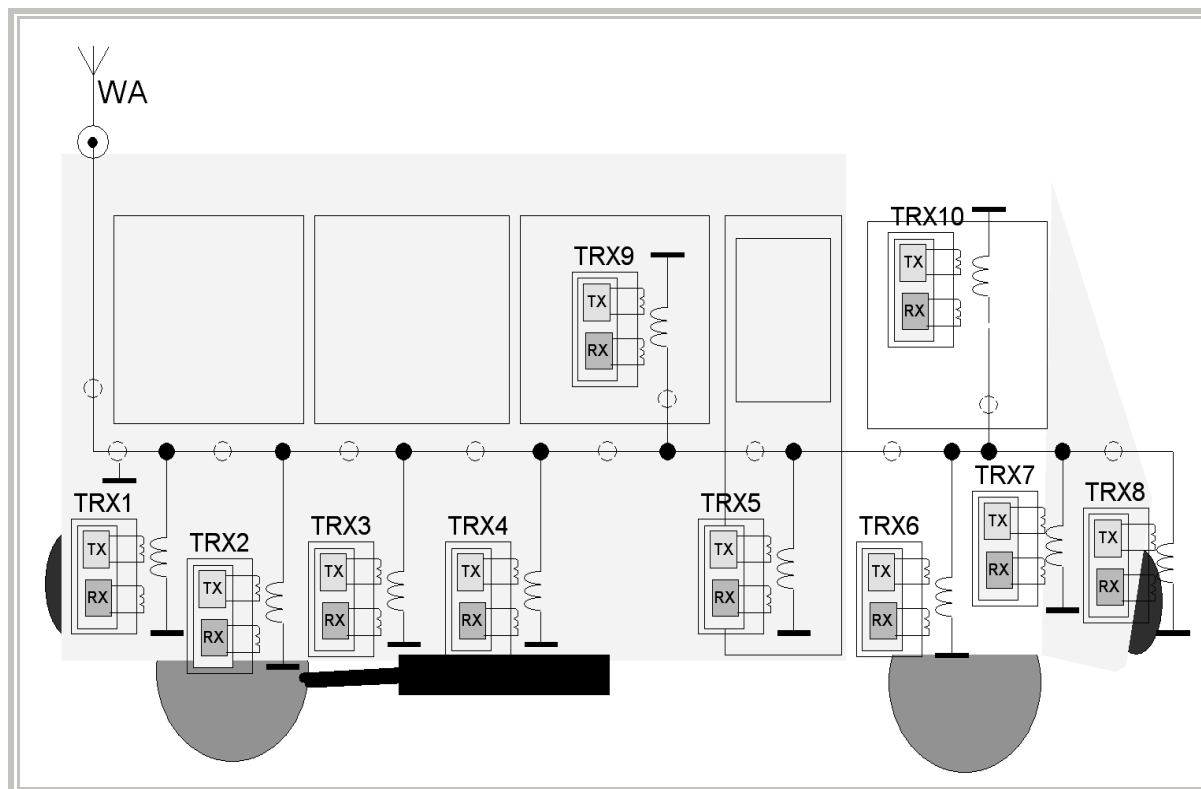


Рисунок 9.2 – Приклад розміщення датчиків в автомобілі:  
TRXi – дискретні датчики-перетворювачі контрольованих параметрів

## 9.2 Розробка локальних систем діагностики

*Бінарні засоби діагностики* (далі – БЗД), як різновид цифрових систем діагностики, знайшли широке застосування при автоматизації методик пошуку несправностей і діагностування електрообладнання. Головним достоїнством БЗД є простота їх конструкції й реалізації. Усі БЗД складаються з датчиків-перетворювачів і аналізаторів інформації, що отримуються з них. У БЗД контролюються області допустимих значень усіх параметрів, вихід за які розцінюються як несправність і служить причиною формування сигналу (коду)

виду «справно – несправно» для обслуговуючого персоналу або використання в системі автоматичного керування обладнання м.

На схемі (рис. 9.3) ілюструється варіант БЗД АКБ і генератора ТЗ.

У різних ділянках бортової мережі  $BC1$ ,  $BC2$  розміщуються дискретні вимірники струму –  $A1$ ,  $A2$  і напруги –  $V1$ ,  $V2$ . Якщо значення напруги в лініях контролю відповідають нормованим значенням датчики  $V1$  і  $V2$  формують сигнали високого рівня. Датчики струму  $A1$  і  $A2$  за відсутності навантаження формують рівні вихідних сигналів прийнятих «нульовими». Такий стан зберігається при усіх режимах навантажень експлуатації електрообладнання, якщо вони не перевищують допустимі величини. Будь-які перевищення струму в контрольованих ділянках супроводжуються сигналами сповіщення, які використовуються в засобах сигналізації, регулювання або запам'ятовуються для їх аналізу електронними експертами або фахівцями.

Таким чином, високі рівні сигналів від  $A1$  і  $A2$  будуть причинами формування сигналів тривоги, що поступають на роз'єми  $X1$  і  $X2$  (роз'єми діагностики) тільки в екстрених випадках.

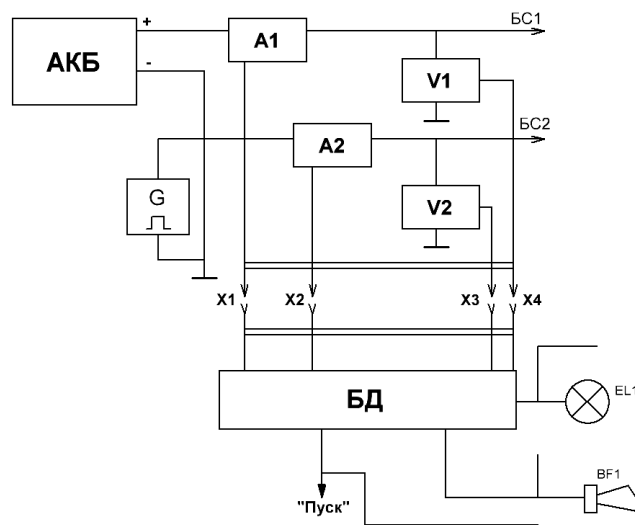


Рисунок 9.3 – Блок-схема бінарного пристрою діагностики: «Пуск» – лінія включення БЗД;  $EL1$  – елементи сигналізації;  $G$  – генератор тактових імпульсів

БЗД є автономними дискретними логічними пристроями з одним або декількома датчиками, засобами сигналізації або роз'ємом для підключення електронного експерта. Розміщення засобів сигналізації на БЗД у ряді випадків переважно технічне рішення, оскільки локальні індикатори не лише служать засобами сповіщення, але і візуально вказують місце несправності, що виявила себе. Такі пристрої часто об'єднуються на транспорті в єдині системи

самодіагностики або системи бортової діагностики (СБД або OBD, Європейська система бортової діагностики – EOBD).

Європейська бортова діагностика – система керування ТЗ, що забезпечує безперервну оцінку сигналів, що отримуються від різних датчиків і виконавчих механізмів, встановлених на різних блоках і вузлах ТЗ.

Сучасні системи самодіагностики можуть згенерувати і зберігати більше 100 кодів несправностей, число яких безперервно збільшується. Слід розуміти, що можливості СБД не безмежні. Несправності, що реєструються деякими датчиками, не обов’язково призводять до позитивного результату – визначення причини несправності. Проте, інформація від СБД у будь-якому випадку підлягає аналізу.

Взаємозв’язок параметрів контролю і сигналів сповіщення зручно представляти таблицями (табл. 9.1), якими зручно користуватися при моделюванні дискретних БЗД.

Таблиця 9.1 – Фрагмент взаємозв’язку параметрів контролю і сигналів сповіщення в БЗД

A1	A2	V1	V2	G	EL1	BF1
0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1

Приклади рівнянь для реалізації БЗД :

– моделювання умов індикації *EL1*

$$Y_{EL1} = \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge \overline{V1} \wedge V2 \vee \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge V1 \wedge \overline{V2}; \quad (9.1)$$

– рівняння, що відбиває умову дозволу експлуатації електрообладнання :

$$Y_{Пуск} = \overline{A1} \wedge \overline{A2} \wedge V1 \wedge V2; \quad (9.2)$$

– рівняння, що описує неприпустимий режим експлуатації електрообладнання :

$$Y_{BF1} = A1 \wedge A2 \wedge V1 \wedge V2. \quad (9.3)$$

щоб через контакти 1, 2 здійснити ручну діагностику мереж, а через контакти 3, 4, 5 та ін. для підключення зовнішнього засобу діагностики – «тестер діагностики».

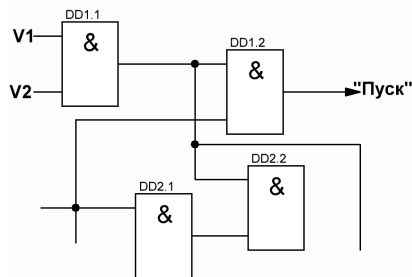


Рисунок 9.3 – Фрагмент функціональної схема для контролю напруги в лініях живлення бортової мережі ТЗ

Функціональна схема реалізується на мікросхемах, є платою, що монтується безпосередньо на ТЗ. Сигнал «Пуск» формується схемою як «дозволяючий», використовуваний в системі блокування електрообладнання .

Системи рівнянь (9.1) – (9.3) для складного електрообладнання зазвичай реалізуються в автономних електронних пристроях (тестерах), якими користується обслуговуючий персонал в стаціонарних засобах діагностування або на лініях експлуатації транспорту. При такому варіанті реалізації БЗД усі датчики-перетворювачі з'єднуються з роз'ємом «Діагностика» на ТЗ, через який вони підключаються до автономного тестера.

У тестерах прийнята умовна система сигналів сповіщення, яка детально описується для користувачів в документації, що додається.

Приклад варіанту формування можливих сигналів в бінарній системі діагностики електрообладнання ТЗ (рис. 9.3) представлений в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Сигнали сповіщення і причини можливих несправностей

Сигнал	Причина несправності
EL1 – безперервний	Несправність в лінії живлення БС1
EL1 – миготливий	Коротке замикання в лінії живлення БС1
BF1 – безперервний	Несправність в лінії живлення БС2
BF1 – переривчастий	Коротке замикання в лінії живлення БС2
EL1 – безперервний + BF1 – безперервний	Розряд АКБ
EL1 – миготливий + BF1 – переривчастий	Заборона на експлуатацію ТЗ
EL1 + BF1 – не відображають	Норма
«Пуск»	Дозвіл експлуатації ТЗ

На підставі «візуальної» інформації, що отримується за допомогою засобів реалізації БЗД, оператори і експлуатаційники мають досить повне уявлення про стан електрообладнання .

Для підвищення достовірності результатів вимірів приймальні пристрої в БЗД є сукупністю датчиків-перетворювачів і обчислювальних пристроїв, що

реалізуються на базі напівпровідникових суматорів, інтеграторів, логарифматоров та ін.

*Переваги БЗД:* простота реалізації автономних засобів діагностики і самодіагностики електрообладнання, їх надійність і економічність.

*Недоліки БЗД:* вимагають ретельного налаштування вимірювальних схем, додаткових вимірювальних коштів при налагодженні, досвіду фахівців, обслуговуючих БЗД.

### 9.3 Розробка кодів несправностей

У розроблених і функціонуючих системах діагностики електронні модулі СБД формують умовні коди несправностей, які визначаються самим виробником.

*«Повільні коди»* виявлених несправностей формуються досить повільно і їх реєстрація здійснюється за допомогою різних засобів індикації (світлодіоди, контрольні лампи, аудіовипромінювачі).

*«Швидкі коди»* – інформаційні повідомлення про несправності, що формуються з великою швидкістю, реєстрація яких здійснюється цифровими прочитуючими пристроями (FCR).

Приклад кодування несправностей за допомогою формувача бінарного коду ілюструється в табл.9.3.

Формат і тип даних, що виводяться, визначається виготівником ТЗ і автономного обладнання для діагностики несправностей. У цифрових пристрої FCR реалізуються тільки можливі для діагностування несправності.

Приклад кодування параметрів транспортного засобу (табл.9.3).

Таблиця 9.3 – Принцип бінарного кодування контрольованих параметрів

Діагностика	BIN-код							
Тиск у шинах заднього мосту	1	0	0	0	0	0	0	0
Тиск у шинах переднього мосту	0	1	0	0	0	0	0	0
Бічна сила	0	0	1	0	0	0	0	0
Рульова тяга	0	0	0	1	0	0	0	0
Паралельність мостів	0	0	0	0	1	0	0	0
Температура шин заднього мосту	0	0	0	0	0	1	0	0
Температура шин переднього мосту	0	0	0	0	0	0	1	0
Освітлювальні прилади	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблиця 9.4 – Відповідність вхідних наборів і несправностей ТО

Вхідний набір	Несправність обладнання ТО
00010000	$Y(I)$ – струм короткого замикання або перевантаження
00001000	$Y(T)$ – критичне значення температури
00000100	$Y(F)$ – несправність освітлювальних приладів
00000010	$Y(P1)$ – несправність приводу перших дверей
00011000	$Y(I, T)$ – критичні експлуатаційні параметри тягового двигуна
00010100	$Y(I, F)$ – несправність компонентів засобів освітлення пасажирського салону
00000011	$Y(P1, P2)$ – несправність приводів двох дверей
00001001	<b>WARNING</b>
00011001	<b>STOP</b>

## 10 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНИХ БЛОКІВ

### 10.1 Реалізація сходової логіки діагностики

Найефективніше реалізується логіка пошуку несправностей на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК), які повторюють релейну дискретну логіку, а сам принцип реалізації носить назву *сходової логіки діагнозу*, що дістав назву від релейної логіки, в якій послідовність дій корегування, складає основу сходового логічного програмування.

Розглядаючи засобів самодіагностики, слід пам'ятати, що вбудовуване обладнання не повинне стати причиною виходу з ладу спеціальних засобів при експлуатації їх і повинно відповідати вимогам що пред'являється до них галузевими стандартами.

Блок-схема компонентів самодіагностики ТЗ може мати вигляд: механічне обладнання (МО) з електроприводом (ЕП); керуючий пристрій (КП) ЕП; засоби самодіагностики із засобами сигналізації (ЗС) і засобу блокування (ЗБл) (рис. 10.1).

Система самодіагностики (СС) реагує на відхилення параметрів від їх нормованих значень, сповіщає про експлуатаційні умови МО, сигналізує режими «небезпечно», «аварія» та ін. або запам'ятовує код виявленої несправності.

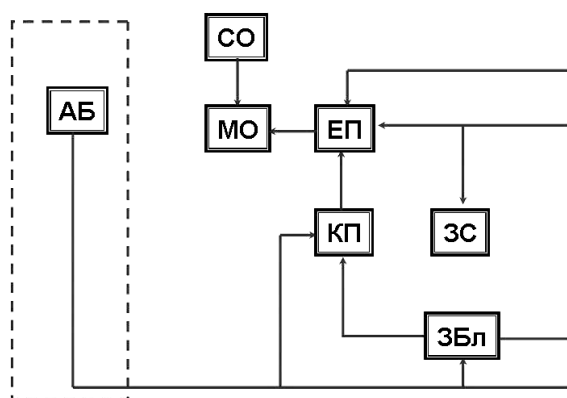


Рисунок 10.1 – Блок-схема електронних засобів самодіагностики ТЗ

*ЗБл* – обов'язковий компонент для усіх спеціалізованих ТЗ. Їх призначення – заборонити експлуатацію ЕП, а через нього і МО, якщо не виконані певні умови.

КП для СО може мати складну структуру залежно від умов експлуатації електромеханічного обладнання ТЗ.

## 10.2 Діагностика гібридних електричних схем

Електрообладнання гібридного виконання містить компоненти, виконані на різній елементній основі. Цей чинник істотним чином впливає на складання і реалізацію блок-схем діагностики таких пристроїв. Прикладом такого пристрою може служити імпульсна система плавного регулювання швидкості провідного валу електродвигуна (рис.10.2).

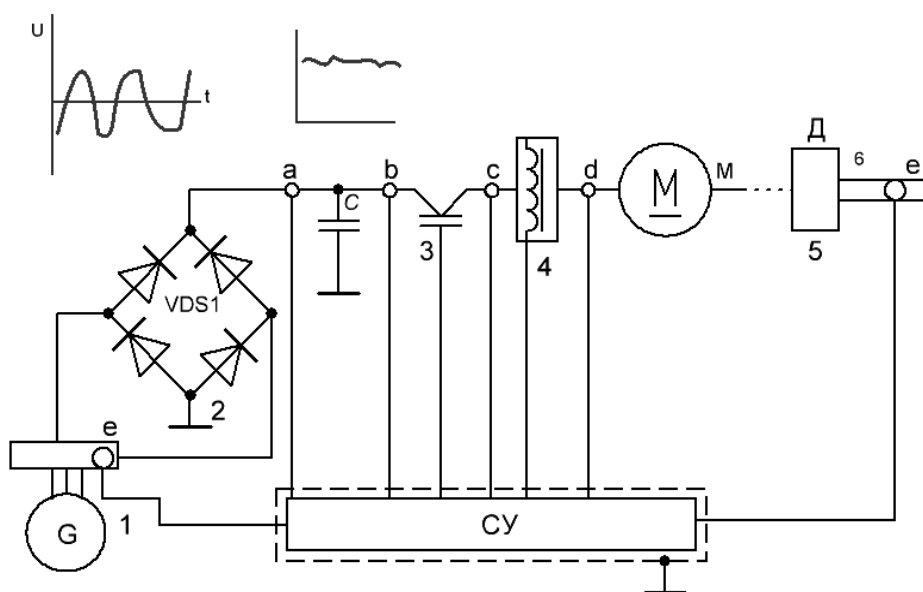


Рисунок 10.2 – Схема частотного керування електроприводом



Гідністю електродвигунів постійного струму і асинхронних з плавним регулюванням швидкості обертання валу є можливість практичного застосування гнучких технічних прийомів для вибору економічно вигідних умов експлуатації таких машин. Широкий асортимент електродвигунів, дозволяє на їх основі створювати самі різні за габаритами електроприводи (ЕП). На жаль, асинхронні електродвигуни потребують спеціальних схем активного керування, основними компонентами яких є: джерело змінного струму – генератор 1, підключений до випрямляча 2, на виході якого пульсує напруга, що згладжується фільтром С. Після фільтру в схемі використовується інвертор 3, на виході якого залежно від керуючих імпульсів системи керування (СК) формуються вихідні імпульси з різною частотою дотримання. Вихід інвертора через високочастотний фільтр 4 підключається до ЕП.

Сам ЕП сполучений механічним виконавчим механізмом 5, взаємопов'язаним з технологічним об'єктом 6. Якщо двигун працює з постійним навантаженням на валу, то таку схему досить настроїти одного разу. Якщо навантаження носять випадковий характер і змінюються стохастичним чином в значних межах, схема керування ЕП потребуватиме систематичної перебудови. Перебудову можна виконувати, заздалегідь збираючи інформацію від датчиків  $D$  на виконавчому пристрої 5 і керуючому електроустаткуванні (електричні параметри живлячої мережі). Повна інформація вимагає аналізу параметрів і в проміжних точках пристрою ( $a, b, c, d$ ).

Розглянутий приклад ілюструє складність реалізації системи керування електроприводом, який полягає в об'ємному характері збираної і обробленої інформації про функціонування усіх компонентів схеми, застосування оригінального розрахунку з допустимою помилкою керуючих величин для інвертора, які постійно оновлюватимуться.

Наведена схема досить повно відбиває складність таких пристроїв і подій, що відбуваються усередині самої схеми. Якщо параметри регулювання керуючого параметра визначатимуться з неприпустимою помилкою, не виключено, що економічні показники при використанні такого пристрою негативно вплинуть на рентабельність (великі витрати енергії на тепло через нагрів випрямляча й інвертора).

Очевидно, що такі засоби автоматики потребують засобів діагностики, без яких взагалі неможливо їх налаштувати.

Створити універсальну систему діагностування для такого обладнання не представляється можливим. Поки реалізація деяких Windows-додатків з програмними осцилографами підтверджує можливість застосування типових алгоритмів з покроковими діагностикою і прийомами налагодження можуть

використовуватися як базові для виконання таких робіт підготовленими фахівцями.

Розглянутий приклад доводить, що нині існують актуальні завдання, вирішення яких може бути досягнуте при умілому використанні нових технологій у вимірвальній техніці і засобах діагностики електрообладнання .

## **11 ТЕХНІЧНИЙ ДИЗАЙН ДІАГНОСТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ**

*Технічна діагностика* – галузь знань, що включає відомості про методи і засоби оцінки технічного стану машин, механізмів, обладнання , конструкцій та інших технічних об'єктів.

Оскільки діагностичне обладнання реалізується на базі напівпровідникових елементів і мікросхем, то такі пристрої завжди відрізняються компактністю і є вбудованими в експлуатоване електрообладнання плати з роз'ємами або малогабаритними корпусними виробами з набором друкованих плат з одно- або двостороннім монтажем елементів, оснащених роз'ємами різної конструкції.

Якщо компоненти схеми при експлуатації електрообладнання можуть нагріватися, то їх забезпечують радіаторами (ребристі металеві кріпильні деталі з великою площею поверхні) і малогабаритними електродвигунами для примусового охолодження. Корпус виконується з металу з елементами для надійного і жорсткого кріплення його безпосередньо на устаткуванні ТЗ.

Для захисту від радіоперешкод в таких пристроях використовуються фільтри різної конструкції й екрануючі елементи. Монтаж компонентів повинен виконуватися з урахуванням можливого демонтажу його, доступу для виконання наладки, ручної діагностики, ремонту і заміни елементів, що вийшли з ладу. Дизайн автономного блоку діагностики наведений на рисунку 11.1.

Важливим компонентом діагностичного обладнання є панель керування, яка може розміщуватися безпосередньо на пристрої (передня панель), на пульті оператора ТЗ, у вигляді виносного блоку і т. п.

При розробці передньої панелі враховуються усі органи керування, якими повинні будуть користуватися оператор, засоби сигналізації, кнопки, перемикачі режимів роботи та ін.

Технічний дизайн панелей керування завжди вимагає особливої уваги при їх проектуванні, оскільки від компонування елементів багато в чому залежить зручність в користуванні, простота освоєння прийомів, що реалізують алгоритм діагностування електрообладнання , швидке звикання до розташування органів управління сигналізації.



Рисунок 11.1 – Дизайн автономного блоку діагностики

Слово дизайн прийшло до нас з англійського і має безліч значень: розробляти; створювати; призначати; проектувати; розраховувати. В принципі технічний дизайн це теж саме, але тільки робиться він з певним наміром. Це деяка суміш мистецтва, творчого підходу, сучасних технологій і маркетингу. Іншими словами, технічний дизайн – це втілення творчих ідей в комерційних цілях, тобто наприклад, з метою збільшення продажів товару.

Важливими чинниками технічного дизайну є: привабливість виробу, визначувана вибором колірної гамми матеріалів, зовнішній вигляд усіх елементів, використання нових технологічних рішень. Ці та інші чинники грають дуже важливу роль при визначенні споживчого попиту на конкретний виріб, конкурентоспроможність пристрою на ринку аналогічних технічних засобів і тому подібне.

Для діагностичного пристрою з переліком компонентів в таблиці 11.1 приклад підготовки ескізу панелі керування ілюструється на рисунку 11.2.

Таблиця 11.1 – Перелік компонентів діагностичного прибудую для розміщення їх на пульті

Призначення компоненту	Виконання	Напис пояснення
1	2	3
Включення пристрою	Кнопковий вимикач	«ВКЛ.»
Перевірка приймальних елементів	Сенсорні вимикачі	«Датчики»
Перевірка виконавчих елементів і обладнання	Кнопкові вимикачі із поверненням	«Оборудование»

Продовження таблиці 11.1

1	2	3
Включення режимів роботи діагностичного обладнання	Кнопкові вимикачі	«Ручной» «Автомат» «Выборочно» «СТОП»
Засоби сигналізації	Світлодіоди кольорові	«Вкл» «Проверка датчиков» «Проверка спецоборудования» «Ручной» «Автомат» «Селективно» «ПРОВЕРИТЬ» «РЕМОНТ» «НОРМА» «ОПАСНО» «СТОП»
Засоби відображення інформації	Мнемосхема чи екран дисплею	Символьна мультиплікація
Пам'ятка оператора	Табличка ламінована	HELP

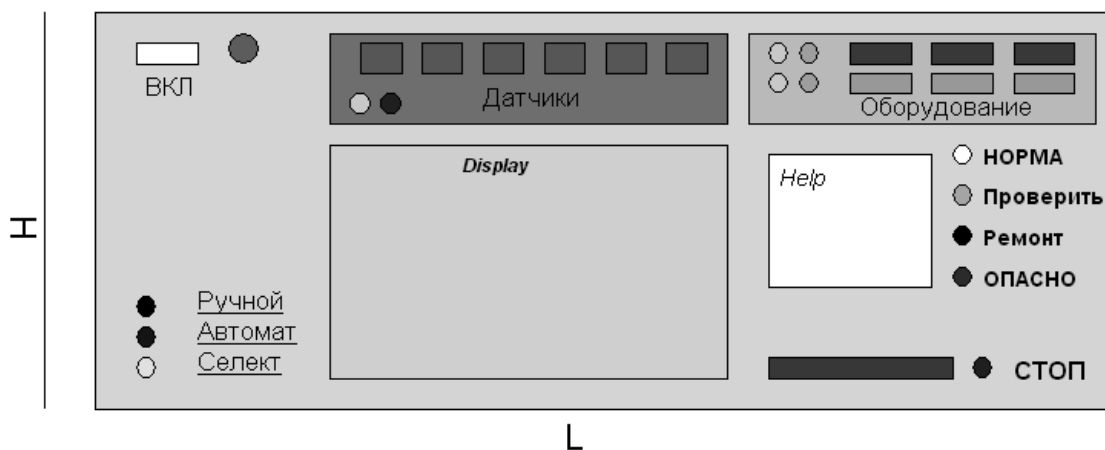


Рисунок 11.2 – Ескізний проект пульта керування автоматичного діагностичного пристрою для спеціального транспортного засобу:

*L, H* – габаритні розміри пульта

## **12 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ**

Роль економічного аналізу полягає в отриманні певних нових характеристик, що дозволяють отримати обґрунтовані досягнення мети в проєктованих або експлуатованих технічних засобах.

### **12.1 Визначення економічної ефективності пристрою**

Технічне обслуговування транспортних засобів і систем – це комплекс робіт, що проводяться обслуговуючим персоналом в цілях підтримки в справному стані і готовності до застосування усього обладнання за призначенням із заданою ефективністю. Основними функціями операторів є підготовка технічних засобів до роботи, контроль за їх роботою і огляд техніка після закінчення роботи.

Істотне ускладнення сучасної техніки висуває великі вимоги до професійних знань і навичок, загальної культури і психологічних якостей операторів. Тому ефективність технічних засобів слід розглядати як єдину систему техніки і людини на усіх етапах розробки і експлуатації обладнання у взаємозв'язку із зовнішнім середовищем.

При очевидній доцільності застосування пристроїв для технічної діагностики електрообладнання, які допускають мінімальні простої ТЗ при обслуговуванні, має бути наукове обґрунтоване рішення про прийняття таких пристроїв для їх експлуатації спільно з ТЗ. При цьому розглядаються три чинники: технічний, економічний і організаційний, серед яких економічний займає важливе місце.

Попередній економічний аналіз визначається обліком основних фінансових витрат, супроводжуючих реалізацію технічних засобів діагностики електрообладнання.

Витрати на впровадження засобів технічної діагностики включають: розробку проєкту; дослідження приймальних компонентів, датчиків, сенсорів; експериментальне проєктування електричних принципів схем; реалізацію алгоритмів діагностики у вигляді програмного забезпечення для мікроконтролера; розробка засобів самодіагностики; монтаж обладнання; налагодження пристрою діагностики; перевірочні випробування ТО із засобами діагностики, пуско-налагоджувальні роботи та ін.

Експлуатаційні витрати розглядають в двох варіантах, визначуваних витратами до і після впровадження засобів діагностики.

Для визначення первинних економічних показників засобів технічної діагностики зручно скористатися програмою SinSys (меню <САУ-ТП>) (рис. 12.1).

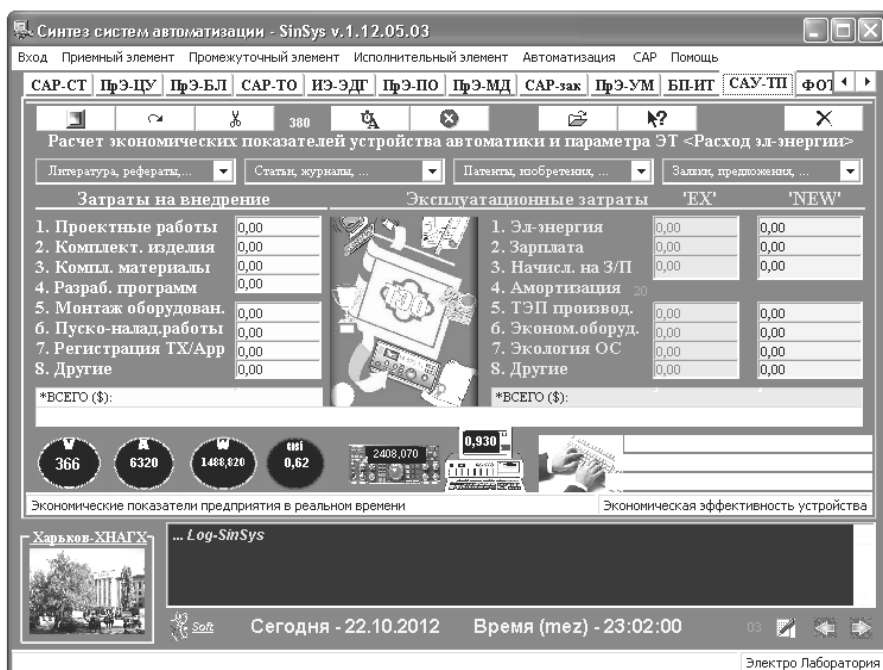


Рисунок 12.1 – Интерфейс програми для розрахунку економічних показників

У сучасних засобах діагностики економічні показники використовуються як початкова інформація для аналізу справності електрообладнання в реальному часі. Один з прикладів такого технічного рішення наведений в програмі SinSys (рис. 12.1). Електронний засіб самодіагностики визначає ненормовані режими експлуатації енергоспоживачів, фіксує економію і перевитрату споживаної електроенергії, перевантаження в мережі, короткі замикання та ін.

Пасивний принцип роботи таких засобів діагностики полягає в представленні усієї інформації тільки на табло і електронних журналах реєстрації подій для користувачів, оскільки активні функції захисту обладнання від коротких замикань та ін. чинників виконують автономні засоби автоматики на лініях електропостачання.

Окрім вказаних функцій засобу самодіагностики контролюють справність датчиків, стежать за виконанням графіків планових ремонтів, реєструють збої в роботі електрообладнання і багато що інше.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технические средства диагностирования : справочник / [В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчик и др.] ; под общей редакцией В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Городецкий А. А. Введение в технологию граничного сканирования [Электронный ресурс] / А. А. Городецкий, Л.А. Курилан. – Режим доступа : [www/jtag-twst.ru/JTAGUniversity/articles/01-PE\\_5\\_2007.php](http://www/jtag-twst.ru/JTAGUniversity/articles/01-PE_5_2007.php)
3. Городецкий А. А. Стандарт граничного сканирования IEEE 1149.6 для дифференциальных цепей [Электронный ресурс] / А. А. Городецкий, Л. А. Курилан. – Режим доступа : [www/jtag-twst.ru/JTAGUniversity/articles/10-PE\\_1\\_2009.php](http://www/jtag-twst.ru/JTAGUniversity/articles/10-PE_1_2009.php)
4. Городецкий А. А. Новый JTAG-стандарт IEEE 1149.7 / А. А. Городецкий // Компоненты и технологии. – 2010. – № 4. С. 14–15

*Навчальне видання*

**ЄСАУЛОВ** Сергій Михайлович,  
**БАБІЧЕВА** Ольга Федорівна

## **ДІАГНОСТИЧНІ КОМПЛЕКСИ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форми навчання  
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 77 Л.

---

Підп. до друку 20.06.2019. Формат 60 × 84/16

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,4

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.